

***МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ***  
***ВОЈНА АКАДЕМИЈА***

**мр Драган Петковић, дипл.инж.**

**УТИЦАЈ СИСТЕМА УПРАВЉАЊА ВАТРОМ НА  
ВЕРОВАТНОЋУ ПОГАЂАЊА ТРОДИМЕНЗИОНАЛНИХ  
ЦИЉЕВА ТЕНКОВСКИМ ТОПОМ 125 mm НА ТЕНКУ М84**

**- докторска дисертација -**

**Ментор:**  
**редовни професор**  
**др Душан Регодић, дипл.инж.**

**Кандидат:**  
**мр Драган Петковић, дипл.инж.**

***У Београду, септембар 2014. године***

*Овај рад посвећујем својој супрузи Силвани, због свега што чини за мене, као и својој кћерки и сину, Јелени и Николи, у нади да ћу бити надахнуће њиховим успесима и светионик у њиховим животима.*

*Такође, желим да искажем поштовање и изразим изузетну захвалност ментору и свим члановима комисије на корисним и добронамерним сугестијама током израде дисертације.*

*Аутор*

## САЖЕТАК

У дисертацији је разматран утицај система за управљање ватром на прецизност и растурање погодака при непосредном гађању поткалибарним пројектилом из тенковског топа на тенку М84. Приказана су доступна решења у концепцији најбољих светских тенкова, а потом су објашњене теоретске основе непосредног гађања, теорија вероватноће и теорија грешака у циљу анализе дејства разних утицајних фактора на растурање погодака.

Објашњена је улога система за управљање ватром на тенку М84 при непосредном гађању и направљен његов математички и структурни модел.

Извршена су аеродинамичка испитивања и спољнобалистички прорачун непосредног гађања поткалибарним пројектилом ПКО 125 mm М88, формиран је симулациони модел и извршена његова анализа.

Добијени симулациони модел је затим коригован у односу на податке из Таблица гађања, чиме је сачињена "еталон симулација" која је послужила као основ за проучавање утицаја система за управљање ватром на растурање погодака при непосредном гађању поткалибарним пројектилом из тенковског топа на тенку М84.

Одређени су главни утицајни фактори система за управљање ватром који суштински утичу на растурање погодака при непосредном гађању. Реализован је низ симулација уз уважавање стохастичке природе појављивања грешака при раду система за управљање ватром. Потом су резултати симулација упоређени са резултатима практичних опитних гађања, обављених у полигонским условима.

На основу упоређивања теоријских (симулацијских) и практичних (полигонских) гађања изведени су одговарајући закључци, објашњен је научни допринос дисертације и дати су предлози за побољшање.

**КЉУЧНЕ РЕЧИ:** Непосредно гађање, поткалибарни пројектил, растурање погодака, балистички прорачун, систем за управљање ватром на тенку М84.

**НАУЧНА ОБЛАСТ:** Балистика, теорија гађања, системи управљања ватром.

**УЖА НАУЧНА ОБЛАСТ:** Балистика.

## **ABSTRACT**

*This thesis discusses the influence of the fire-control system on the accuracy and the hit dispersion of the M84 gun tank direct fire when Armour Piercing Fin-Stabilized projectiles are used. Some available solutions in the best world tanks concept were presented and then the theoretical basis of the direct fire, probability theory and error theory have been described for analysis of the influence of different impact factors on the hit dispersion.*

*Mathematical and structural model of the M84 tank fire-control system have been created. Ballistic direct fire calculations when using Armor Piercing Fin-Stabilized projectiles have been realized and the simulation model has been formed and analyzed.*

*The obtained simulation model was corrected afterwards, according to the data from the Firing Tables. Thus, "the calibration simulation" has been created, as the base-model for consideration of the elements and the fire-control system impact on the accuracy and hit dispersion of the M84 gun tank direct fire using Armor Piercing Fin-Stabilized projectiles.*

*Main parameters that have predominant impact on the direct fire hit dispersion were defined. The set of the simulations were carried out and then the results were compared to those of the practical firing and measuring that had been accomplished previously.*

*Based upon the comparison of the theoretical (simulated) and practical (field) firing, the conclusions were brought forth and the improving suggestions were made.*

**KEY WORDS:** *Direct Fire, Armor Piercing Fin-Stabilized Projectiles, Hit Dispersion, Ballistic Calculation, M84 Tank Fire Control System.*

**SCIENTIFIC DISCIPLINE:** *Ballistics, Aiming Theory, Fire Control Systems.*

**SCIENTIFIC SUB-DISCIPLINE:** *Ballistics.*



# САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР .....	7
СПИСАК КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА .....	10
<b>1. УВОД .....</b>	<b>16</b>
1.1. Тенк <i>Leclerc</i> .....	16
1.2. Тенк <i>T-90</i> .....	18
1.3. Тенк <i>M1 Abrams</i> .....	19
1.4. Тенк <i>Leopard 2</i> .....	21
1.5. Тенк <i>Merkava 4</i> .....	22
1.6. Тенк <i>Challenger</i> .....	24
<b>2. ОПИС РЕАЛИЗОВАНИХ ИСТРАЖИВАЊА .....</b>	<b>26</b>
2.1. Проблем истраживања .....	26
2.2. Циљ и фазе истраживања .....	26
2.3. Хипотезе истраживања .....	27
2.4. Методе истраживања .....	28
2.5. Научна и економска оправданост истраживања .....	29
2.6. Допринос дисертације .....	29
<b>3. РАСТУРАЊЕ И ВЕРОВАТНОЋА ПОГОДАКА ПРИ НЕПОСРЕДНОМ ГАЂАЊУ ТЕНКОВСКИМ ТОПОМ 125 mm НА ТЕНКУ М84 .....</b>	<b>31</b>
3.1. Опште напомене о непосредном гађању .....	31
3.2. Растурање погодака при непосредном гађању .....	32
3.3. Диференцијални коефицијенти .....	36
3.3.1. Особине диференцијалних коефицијената .....	37
3.3.2. Утицај појединих параметара на елементе путање пројектила .	38
3.4. Теорија грешака при непосредном гађању .....	39
3.4.1. Појам и узроци грешака .....	39
3.4.2. Нормални закон растурања .....	40
3.4.3. Грешке у припреми непосредног гађања .....	43
3.4.4. Ефикасност непосредног гађања .....	43
3.5. Програмско решење прорачуна растурања и вероватноће поготка .....	44
3.5.1. Одређивање растурања погодака и вероватноће погађања.....	46
<b>4. УЛОГА СИСТЕМА ЗА УПРАВЉАЊЕ ВАТРОМ М84 ПРИ НЕПОСРЕДНОМ ГАЂАЊУ ТЕНКОВСКИМ ТОПОМ .....</b>	<b>50</b>
4.1. Принцип рада СУВ М84 у вертикалној равни навођења .....	50
4.2. Принцип рада СУВ М84 у хоризонталној равни навођења .....	52
4.3. Линија осматрања и линија гађања у режиму "Стабилизација" .....	53
4.4. Утицај међусобног односа тенка и циља на резултате гађања .....	55
4.5. Дејство утицајних фактора СУВ М84 на грешке гађања .....	58
4.5.1. Утицај мерења даљине на грешке гађања.....	58
4.5.2. Утицај релативног кретања тенка и циља на грешке гађања.....	59
4.5.3. Дејство осталих утицајних фактора на грешке гађања .....	63

4.6.	Систематизација најважнијих утицајних фактора СУВ М84 на прецизност гађања .....	64
4.6.1.	Утицај нишанске справе и паралелограма на прецизност гађања.....	64
4.6.2.	Утицај ласерског даљиномера на прецизност гађања .....	65
4.6.3.	Утицај извршних хидрауличних подсистема на прецизност гађања.....	66
<b>5.</b>	<b>МАТЕМАТИЧКИ И СТРУКТУРНИ МОДЕЛ СУВ М84 .....</b>	<b>69</b>
5.1.	Опште напомене о математичком моделу .....	69
5.2.	Математички модел у хоризонталној равни.....	70
5.2.1.	Математички модел серворазводника .....	70
5.2.2.	Математички модел сервопумпе .....	74
5.2.3.	Математички модел хидромотора .....	76
5.3.	Структурни модел у хоризонталној равни навођења .....	78
5.3.1.	Структурни модел серворазводника .....	78
5.3.2.	Структурни модел сервопумпе и хидромотора .....	79
5.3.3.	Обједињени структурни модел у хоризонталној равни навођења .....	81
5.4.	Модел система у простору стања .....	89
5.4.1.	Стабилност мултиваријабилног модела представљеног системом у простору стања .....	92
5.4.2.	Пројектовање обсервера пуног реда за модел представљен системом у простору стања .....	93
5.4.3.	Пројектовање обсервера редукованог реда за модел представљен системом у простору стања .....	96
5.4.4.	Оптимално управљање .....	101
5.4.5.	Оптимални систем са коректором на бази обсервера пуног реда .....	102
<b>6.</b>	<b>АЕРОДИНАМИЧКА ИСПИТИВАЊА И СПОЉНОБАЛИСТИЧКИ ПРОРАЧУН ЗА НЕПОСРЕДНО ГАЂАЊЕ ПОТКАЛИБАРНИМ ПРОЈЕКТИЛОМ .....</b>	<b>105</b>
6.1.	Аеродинамичко испитивање пројектила ПКО 125 mm М88 .....	105
6.2.	Спољнобалистички прорачун и симулација непосредног гађања пројектилом ПКО 125 mm М88 .....	109
6.3.	Анализа решења спољнобалистичког прорачуна и симулације непосредног гађања пројектилом ПКО 125 mm М88 .....	113
<b>7.</b>	<b>СИМУЛАЦИЈЕ ГАЂАЊА ИЗ ТЕНКОВСКОГ ТОПА НА ТЕНКУ М84 И УТИЦАЈ ЕЛЕМЕНАТА СУВ НА РЕЗУЛТАТЕ .....</b>	<b>120</b>
7.1.	Резултати симулација гађања уз грешку позиционирања од 0,06 степени .....	121
7.1.1.	Симулација гађања на 100 m .....	121
7.1.2.	Симулација гађања на 500 m .....	122
7.1.3.	Симулација гађања на 700 m .....	123
7.1.4.	Симулација гађања на 1600 m .....	124
7.1.5.	Симулација гађања на 2800 m .....	125

7.2. Резултати симулација гађања уз грешке позиционирања од 0,045 степени и 0,03 степена .....	126
7.2.1. Симулација гађања на 100 m .....	126
7.2.2. Симулација гађања на 500 m .....	127
7.2.3. Симулација гађања на 700 m .....	127
7.2.4. Симулација гађања на 1600 m .....	128
7.2.5. Симулација гађања на 2800 m .....	128
7.3. Анализа резултата симулација гађања .....	129
7.3.1. Могућности коришћења 3Д доплер-радара .....	129
7.3.2. Запажања о реализованим симулацијама гађања .....	131
7.3.3. Резултати теренских опитних гађања .....	132
7.4. Научни допринос дисертације и предлози за побољшање .....	136
<b>8. ЗАКЉУЧАК .....</b>	<b>140</b>
<b>9. ПРИЛОЗИ .....</b>	<b>143</b>
ПРИЛОГ 1 – Општи опис СУВ М84 .....	143
ПРИЛОГ 2 – Опис хидростатичког преносника снаге у хоризонталној равни навођења СУВ М84 .....	149
ПРИЛОГ 3 – Опис хидростатичког преносника снаге у вертикалној равни навођења СУВ М84 .....	156
ПРИЛОГ 4 – Структурно поједностављење блок-шеме серворазводника ..	163
ПРИЛОГ 5 – Конструктивни подаци за поткалибарни пројектил .....	164
ПРИЛОГ 6 – Програмски код спољнобалистичког прорачуна са шест степени слободe кретања .....	165
ПРИЛОГ 7 – Резултати програмског решења СБ прорачуна са шест степени слободe кретања – одабрани подаци .....	178
ПРИЛОГ 8 – Таблица Ц4 (извод из ТГ за тенковски топ 125 mm) .....	180
ПРИЛОГ 9 – Излазне датотеке програмског решења TVERP .....	181
ПРИЛОГ 10 – Утицај појединих фактора на растурање погодака при непосредном гађању .....	183
ПРИЛОГ 11 – Израчунавање коефицијената ускладника $K_{IDP}$ и $K_{TG}$ према пару коњуговано-комплексних полова .....	191
ПРИЛОГ 12 – Одзив мултиваријабилног модела система .....	192
ПРИЛОГ 13 – Одређивање вредности коефицијената матрице обсервера пуног реда .....	193
ПРИЛОГ 14 – Симулациони модел обсервера пуног реда .....	195
ПРИЛОГ 15 – Симулациони модел обсервера редукованог реда .....	196
ПРИЛОГ 16 – Одређивање вредности коефицијената матрице обсервера редукованог реда .....	197
ПРИЛОГ 17 – Програм за пројектовање оптималног система .....	198
ПРИЛОГ 18 – Симулациони модел оптималног система на бази обсервера пуног реда .....	199
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>200</b>

## ПРЕДГОВОР

Савремено ратоводство подразумева коришћење софистицираних високо-технолошких система наоружања, са великим степеном аутономности подсистема и платформи током борбених дејстава, што се посебно односи на тенкове.

Њихова оперативна употреба на бојишту и даље не губи на значају упркос очигледној предности коју на коначан исход борбених дејстава има остваривање превласти у ваздуху. Улога тенкова је немерљива, како у извршавању борбених дејстава, тако и у мисијама очувања или наметања мира, јер тенкови и даље представљају ударну песницу нападних борбених дејстава.

У складу са наведеним, модернизација и побољшање перформанси тенкова и његових подсистема представљају стални задатак, упркос ограничењима актуелне светске економске кризе која је приморала многе произвођаче да одустану од појединих замисли.

У том смислу, замрзнуто је више пројеката побољшања и модернизације који су били развијани на појединим тенковским подсистемима. Није се далеко одмакло у најављеном развоју оруђа калибра 140 mm, нити у развоју унификованих шасија које би биле искоришћене за надградњу различитих, а ипак сродних, тенкова и оклопних возила. На тај начин, у компаративној вишекритеријумској анализи ради проналажења оптималног односа између цене и квалитета, превагу је, ипак, однела цена.

Управо из наведених разлога потребно је проучавати и верификовати утицаје којег различити подсистеми имају на ефикасност тенкова (М84) на употреби у Војсци Србије, што је и била основна покретачка идеја за израду ове дисертације. Притом је основни предмет интересовања био утицај система за управљање ватром на растурање погодака при непосредном гађању из тенковског топа.

У протеклом периоду доста је учињено на усавршавању и модернизацији елемената и подсистема система за управљање ватром, као једног од најважнијих фактора који утичу на прецизност ватре и имају пресудну улогу у формирању слике погодака при непосредном гађању.

Приликом израде дисертације најпре су систематизовани утицајни фактори који узрокују растурање погодака током извршења непосредног гађања уз коришћење система за управљање ватром. Потом је одређен допринос који на растурање погодака имају елементи и систем за управљање ватром, и, коначно, анализиран је поступак заузимања линије гађања и лета пројектила након опаљења топа, у спољнобалистичком смислу, као директне последице рада система за управљање ватром.

Евидентно је да је моделовање утицаја система за управљање ватром на растурање погодака комплексан и до сада недовољно истражен садржај. С обзиром на величину области потенцијалног истраживања, пажња у дисертацији била је усмерена на квалитативно и квантитативно одређење утицаја појединих елемената и система за управљање ватром на растурање погодака при непосредном гађању.

У складу са наведеним, реална естимација понашања појединих елемената система за управљање ватром и укупног утицаја на понашање тенковског топа током непосредног гађања представљала је основни циљ истраживања, који је постигнут кроз неколико фаза.

Извршена је дескрипција проблема истраживања, научно је објашњен утицај елемената и система за управљање ватром на ниво грешке и растурање погодака, описан је модел елемената система за управљање ватром, проучавани процес нумерички је моделован применом метода симулације, извршен је спољнобалистички прорачун и оцењен утицај на ниво грешке за све елементе, као и за систем у целини, реализовано је експериментисање на моделу, извршена упоредна анализа резултата спроведеног истраживања са скупом "еталон" података према спољнобалистичким критеријумима и таблицама гађања и верификовани су добијени резултати истраживања на основу испуњавања услова домета и тачности гађања, односно расположиве ефективности оруђа.

Дисертација је структурно конципирана кроз предговор, списак коришћених ознака, увод, седам поглавља, закључак и прилоге.

Опште уводне напомене изложене су у **првом поглављу**. У истом поглављу презентовани су најквалитетнији светски тенкови данашњице, кроз основне тактичко-техничке и карактеристике система за управљање ватром.

У **другом поглављу** описан је проблем, циљ и фазе истраживања, хипотезе, методе и научна и економска оправданост истраживања као и научни допринос дисертације.

У **трећем поглављу** описани су узроци растурања погодака при непосредном гађању из тенка М84 и диференцијални коефицијенти, као и утицај појединих параметара на елементе путање пројектила. Представљене су опште теоретске поставке о непосредном гађању, теорији вероватноће и теорији грешака при непосредном гађању. Такође, презентовани су резултати примене програмског решења TVERP, при прорачуну растурања и вероватноће поготка.

**Четврто поглавље** објашњава улогу и принцип рада система за управљање ватром при непосредном гађању тенковским топом. Приказан је утицај међусобног положаја тенка и циља на резултате осматрања и гађања, а размотрено је и дејство утицајних фактора система за управљање ватром на грешке гађања, уз њихову систематизацију.

У **петом поглављу** формиран је математички и структурни модел система за управљање ватром на тенку М84. Примењене су класичне методе пројектовања, као и модел система у простору стања који је омогућио пројектовање опсервера и оптималног система.

У **шестом поглављу** реализован је спољнобалистички прорачун са шест степени слободе кретања за непосредно гађање поткалибарним пројектилом 125 mm. Програмско решење редовног професора др Душана Регодића комбиновано је са подацима прикупљеним током практичних испитивања које је реализовао Војнотехнички институт. На тај начин, формиран је "еталон" симулацијски модел за балистичко испитивање који квалитетно апроксимује податке из таблица гађања за наведено средство. Потом су анализирани резултати извршеног спољнобалистичког прорачуна и извршене припреме за реализацију симулација гађања.

**Седмо поглавље** представља извршење рачунарских симулација, имајући у виду да у условима кризе и отежаног финансирања није било могуће реализовати пробна полигонска гађања. У овој фази истраживања драгоцени су били подаци са пробних гађања које је уступио Технички опитни центар Војске Србије. Анализирани су извршене симулације, упоређени теоретски и практични резултати и разматране фазе лета пројектила од испалења до циља.

Кроз **закључак** сумирани су резултати дисертације и дате препоруке и сугестије за даља истраживања у разматраној области.

**Прилози** обухватају материјале од значаја који су приказани одвојено у циљу детаљнијег описа елемената, компоненти и процеса, како не би оптерећивали интегрални део дисертације. Осим тога, поједини прилози документују и верификују неке од реализованих поступака током израде дисертације, што се пре свега односи на симулације гађања.

На крају, приложен је списак **литературе**.

## СПИСАК КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА

ОЗНАКА	ЗНАЧЕЊЕ КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА
A	функција елемената путање пројектила, површина управљачке чакуре за позиционирање нагибне плоче серво-пумпе
$A_1$	површина плунжера
$A_2$	површина игличастог клипа
$A_1, A_2, A_3, A_4$	површине отвора протицања серворазводника
$A_{ij}$	субматрице матрице система, ( $i, j=1 \div 2$ )
$A_{kp}$	површина клипа серво-пумпе
$A_{km}$	површина клипа хидромотора
$A_1, A_2, A_{01}, A_{02}, A_{03}, A_4$	таблични балистички коефицијенти
$a_1$	крак полуге
a	растојање осе млазника од осе котве у серворазводнику
$A_z O_s$	азимут осматрања
$A_z G$	азимут гађања
$A_c$	помоћна матрица
$A, B, C, D$	матрица система, матрица улаза, матрица излаза, матрица директног преноса
B	модул стишљивости
$B_i$	субматрице матрице улаза, ( $i=1 \div 2$ )
$B_c$	помоћна матрица
b	крак полуге
C	балистички коефицијент
$C_{A0}$	аеродинамички коефицијент аксијалне силе за нападни угао $\alpha=0^\circ$
$C_{A\alpha}$	градијент аеродинамичког коефицијента аксијалне силе по нападном углу $\alpha$
$C_{A\alpha^2}$	дериватив аеродинамичког коефицијента аксијалне силе по $\alpha^2$
$C_{N\alpha}$	градијент аеродинамичког коефицијента нормалне силе по нападном углу $\alpha$
$C_{m\alpha}$	градијент аеродинамичког коефицијента момента пропињања по нападном углу $\alpha$
CM	центар масе пројектила
CP	центар притиска пројектила
CI	хидраулички цилиндар
d	пречник пројектила
$d_c$	унутрашњи пречник црева
$d_0$	пречник отвора протицања са константним попречним пресеком у серворазводнику
$d_m$	пречник млазника у серворазводнику
DBP	давач (угаоне) брзине по правцу
DNNS-2	дневно-ноћна нишанска справа
$D_{O_s}$	даљина осматрања
$D_G$	даљина гађања
D	измерени домет до циља
$D_c$	даљина до циља
$D_L$	даљина до циља измерена ласерским даљиномером
E	угао елевације
$E_c$	помоћна матрица

ОЗНАКА	ЗНАЧЕЊЕ КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА
$E_{xc}$	грешке по даљини које се односе на место циља
$E_{xb}$	грешке које се односе на балистичку припрему
$E_{xm}, E_{ym}$	грешке које се односе на метеоролошку припрему
$E_{xv0}$	грешке одређивања почетне брзине
$E_{xtb}$	грешке у мерењу температуре барутног пуњења
$E_{xmp}$	грешке ознаке масе пројектила
$E_{yc}$	грешке по правцу које се односе на место циља
ЕМ	електромотор хидрауличке пумпе за напајање
$e(t)$	грешка оцене стања
$f_k$	коэффициент вискозног трења куполе, еквивалентни коэффициент вискозног трења покретних делова
$f_{tm}$	коэффициент вискозног трења хидромотора
$G_c$	помоћна матрица
$g$	убрзање силе Земљине теже
$h_0$	почетно одстојање заслона од млазника у серворазводнику
$h_1$	дужина хода клипа серво-пумпе
$h_2$	дужина хода клипа хидромотора
НМ	хидро-мотор
НР	хидраулички појачавач
$i$	коэффициент облика пројектила имагинарна јединица комплексног броја преносни однос редуктора
$i_z$	јачина струје која одговара жељеном понашању објекта управљања
$J_1$	момент инерције полуге - клацкалице
$J$	момент инерције куполе у односу на z-осу
$J_{k1}$	момент инерције плунжера
$J_{k2}$	момент инерције клипова
$K$	матрица (Калмановог) регулатора
$K_1$	коэффициент пропорционалности (зависи од облика врха игличастог клипа), коэффициент губитака
$K_2$	статички коэффициент појачања
$K_g$	коэффициент укупних губитака протока
$K_0$	константа торзионе опруге, редукована на вратило хидромотора
$K_{mp}$	коэффициент механичког преноса
$K_{emp}$	коэффициент електромеханичког претварача
$K_{QP}$	коэффициент појачања протока серво-пумпе
$K_{\theta}$	коэффициент појачања брзине преносника
$K_p$	константа појачања
$K_{A1}$	коэффициент појачања електронског појачавача
$K_A$	појачање у отвореном колу
$K_{IDP}, K_{TG}$	коэффициенти повратне везе
$K_{mz}$	коэффициент појачања првог степена појачања (млазник-заслон) серворазводника
КВН	командни блок нишанције
КТР	контролна табла рачунара
$k_c$	коэффициент пропорционалности



Списак коришћених ознака

ОЗНАКА	ЗНАЧЕЊЕ КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА
$k$	мера тачности криве густине грешке мерења
$L$	матрица опсервера
$L_1, L_2$	полиномски коефицијенти
$l_c$	дужина црева
$M_1, M_2, M_3, M_4, M_5,$	детерминанте дијагоналног минора $i$ -тог реда, Рикатијеве матричне једначине, за $i \in [1,5]$ .
$M, M_t, M_x, M_y$	тачке путање пројектила
$M_I$	момент због инерције полуге другог степена појачања серворазводника
$M_{jk}$	момент инерције куполе
$M_{K1}$	момент због инерције плунжера другог степена појачања серворазводника
$M_{K2}$	момент због инерције клипова другог степена појачања серворазводника
$M_{P2}$	момент због притиска уља на клипове другог степена појачања серворазводника
$M_m$	момент хидромотора
$MS$	метео-сензор
$M_s$	стабилишући момент хидромотора
$M_{tr}$	момент трења куполе
$M_U$	управљачки момент због притиска уља на плунжере другог степена појачања серворазводника
$M_z$	обртни момент жељеног понашања објекта управљања
$m$	маса пројектила
$m_1, m_2, m_3, m_4, m_5$	детерминанте дијагоналног минора $j$ -ог реда, матричне једначине (P) Љапунова за $j \in [1,5]$ .
$N$	нишанција
$n$	број испалених метака
$P$	решење матричне једначине Љапунова, закон расподеле случајне грешке мерења
$P_s$	сигурност реализације догађаја
$PKOM$	панел командира
$POK$	појачавачка кутија
$p_n$	притисак напајања серворазводника
$p_A, p_B$	притисци у цевима млазника серворазводника
$p_s$	притисак течности отицања у серворазводнику
$p$	вероватноћа поготка циља
$p_r$	вектор полова опсервера
$p_1$	притисак напајања
$p_2$	притисак у одводном хидрауличном воду
$Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$	протоци радног флуида у серворазводнику
$Q$	тежинска позитивно (семи)дефинитна, реална, симетрична матрица
$Q_s$	позитивно дефинитна матрица петог реда
$Q_u$	матрица управљивости
$Q_r$	матрица опсервабилности
$Q_p$	проток аксијално-клипне сервопумпе
$Q_m$	проток радног флуида кроз хидромотор
$Q_g$	укупни губици протока
$Q_s$	проток потребан за компензацију течности услед стишљивости

ОЗНАКА	ЗНАЧЕЊЕ КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА
$Q_{qp}$	коэффициент протока кроз сервопумпу
$Q(\%)$	процентуални губитак течности
$q_{fm}$	специфични проток хидромотора
$q$	угао курса циља
$q, r$	коэффициенти симулационог модела оптималног система
$R$	тежинска позитивно дефинитна, реална, симетрична матрица
$R(A,B,C,D)$	реализација система
РАЃ	рачунар
SUV M84	систем за управљање ватром на тенку M84
$S$	месни угао циља, пређени пут циља од нишањења и опаљења до тачке сусрета пројектила и циља
$T_1$	редуковано време лета пројектила
$t_L$	временски период од тренутка "ласеровања" до тренутка опаљења
$t, T$	време
$TS$	тачка сусрета пројектила и циља
$T_h$	временска константа серворазводника
$t_p$	време претицања ( $t_p = t_z + t_1$ )
$t_z$	време заузимања елемената
$t_1$	време лета пројектила до циља
$u(t), u$	вектор улазних величина
$V_0$	средња запремина хидрауличне пумпе
$V_r$	укупна радна запремина течности под високим притиском
$V_{rp}$	радна запремина серво-пумпе под високим притиском
$V_{rm}$	радна запремина хидромотора под високим притиском
$V_c$	запремина цревовода који повезује коморе серво-пумпе и хидромотора под високим притиском
$V(x)$	функција Љапунова
$V_0$	почетна брзина пројектила
$V_{0M}$	стварна почетна брзина пројектила
$v_c, V_c$	брзина циља
$v_t$	брзина тенка
$v_{tx}, v_{ty}, v_{tz}$	компоненте брзине тенка
$v_{cx}, v_{cy}, v_{cz}$	компоненте брзине циља
$v_v$	вероватно скретање по висини
$v_p$	вероватно скретање по правцу
$v_{(x)}$	средња вероватна грешку у односу на x осу
$v_{(y)}$	средња вероватна грешку у односу на y осу
$v_{(z)}$	средња вероватна грешку у односу на z осу
$W_x$	уздужни ветар
$W_z$	попечни ветар
$w$	део вектора стања недоступан мерењу
$w_{(x,z)}$	нормални закон растурања у односу на површину у хоризонталној равни
$w_{(y,z)}$	нормални закон растурања у односу на површину у вертикалној равни
$w_{zs}$	попечни ветар измерен метео-сензором
$w_{xs}$	уздужни ветар измерен метео-сензором

*Списак коришћених ознака*

<b>ОЗНАКА</b>	<b>ЗНАЧЕЊЕ КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА</b>
X	домет пројектила
$X_c$	хоризонтална даљина до циља
$\mathbf{x}(t), \mathbf{x}$	вектор стања система
$\hat{\mathbf{x}}(t)$	реконструисано стање система
$\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_3, \dot{x}_4, \dot{x}_5$	величине стања
$x, \tilde{y}, \tilde{z}$	осе аеробалистичког координатног система
$\mathbf{y}$	вектор излазних величина
$z_1$	број клипова серво-пумпе
$z_2$	број клипова хидромотора
ŽB	жиро-блок

<b>ОЗНАКА</b>	<b>ЗНАЧЕЊЕ КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА у FORTRAN програму TVERP</b>
VI	почетна брзина
CE	балистички коефицијент
RV0	вероватно одступање почетне брзине
RT0	вероватно одступање полазног угла
RC	вероватно одступање балистичког коефицијента
RPSI	вероватно одступање угла скретања
NX	број даљина
XP	почетна даљина
DX	прираштај даљине
HC	висина циља
DC	дубина циља
LC	ширина циља

<b>ОЗНАКА</b>	<b>ЗНАЧЕЊЕ КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА ГРЧКОГ АЛФАБЕТА</b>
$\gamma_p$	угао нагињања нагибне плоче сервопумпе
$\delta_k(t)$	разлика између реалног и задатог померања куполе тенка
$\delta_h$	релативни фактор пригушења
$\delta C$	промена балистичког коефицијента
$\delta V_0$	промена почетне брзине пројектила
$\delta \theta_0$	промена полазног угла
$\frac{\partial X}{\partial C}$	диференцијални коефицијент домета за балистички коефицијент
$\frac{\partial X}{\partial V_0}$	диференцијални коефицијент домета за почетну брзину
$\frac{\partial X}{\partial \theta_0}$	диференцијални коефицијент домета за полазни угао
$\eta_r$	коефицијент корисног дејства редуктора
$\eta_g$	коефицијент искоришћења хидрауличких вода сервопумпе и хидромотора
$\varepsilon_{\theta v_t}$	грешка претицања по висини због кретања тенка
$\varepsilon_{\theta w_x}$	грешка претицања због смањивања полазног угла због кретања тенка

ОЗНАКА	ЗНАЧЕЊЕ КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА ГРЧКОГ АЛФАБЕТА
$\varepsilon_0$	укупна грешка претицања због кретања тенка
$\theta(t)$	реално угаоно померање куполе
$\theta_z(t)$	задато угаоно померање куполе
$\theta_m$	угао закретања вратила хидромотора
$\theta$	угао закретања полуге - клацкалице
$\theta_0$	полазни угао
$\Lambda$	жељени скуп полова
$\mu$	коэффициент протока
$\mu_1, \mu_3$	коэффициенти протока кроз отворе константног попречног пресека у серворазводнику
$\mu_2, \mu_4$	коэффициенти протока кроз отворе променљивог попречног пресека у серворазводнику
$\xi$	коэффициент пригушења
$\sigma$	стандардна девијација (одступање)
$\tau$	температура ваздуха
$\varphi$	угао закретања заслона у серворазводнику
$\psi(t)$	угаоно померање тела борбеног средства
$\psi_0$	угао гађања по правцу
$\omega_0$	природна кружна фреквенција
$\omega_{cy}$	угаона брзина праћења покретања цеви у вертикалној равни навођења
$\omega_h$	непригушена хидрауличка сопствена фреквенција

## 1. УВОД

Оперативна употреба оклопних борбених возила у борбеним дејствима и даље је актуелна и на њихову употребу треба рачунати и у будућности. Оклопна борбена возила имају значајну улогу и у мисијама наметања и очувања мира. У том смислу, развој нових, али и модернизација постојећих оклопних борбених возила представља стални задатак.

Оклопна борбена возила, а посебно тенкови, која су у оперативној употреби у већини армија, као и код нас, представљају средства треће генерације, и имају одговарајуће системе управљања ватром (СУВ). Будући развој СУВ и њихова модернизација усмерена је ка дигитализованом СУВ. Наиме, спрегнути систем линије визирања, нишањења и гађања, и њихова стабилизација преко рачунара, јесу полуаутоматски процеси који у савременим условима ратовања, и растућим потребама за аутоматизацијом свих оруђа на куполи, представљају један од главних задатака дигитализованог СУВ.

Као резултат наведеног, дошло је до приметног развоја и модернизације елемената и подсистема СУВ који су, надаље, довели до повећања тачности и прецизности. Притом, када су тенкови у питању, СУВ игра одлучујућу улогу у формирању слике погодака, односно растурању погодака при непосредном гађању.

Ефикасно коришћење сложених борбених система захтева сигурно и брзо реаговање на сваку промену на бојишту, било да је та промена условљена очекиваним или случајним поремећајима. Усавршавање СУВ довело је до постизања задовољавајућих решења у ефикасном коришћењу сложених борбених система, што се посебно односи на тенкове и управљање куполом и топом, у хоризонталној и вертикалној равни навођења.

Ради стицања увида у карактеристике и особине појединих представника најбољих тенкова данашњице, у наставку ће бити укратко презентоване њихове могућности.

### 1.1. Тенк *Leclerc*

Француски тенк Леклер је један од најбољих тенкова на свету и најбројнији у оперативној употреби француске армије, али и у Оружаним снагама Абу Дабија - Уједињени Арапски Емирати, у укупном износу од око 800 комада.

Има масу од око 55 тона, висок је 2,92, широк 3,71, а дуг 6,88 метара (9,87 m, укључујући цев топа). Опсег покретања тенковског топа по висини је од  $-8^{\circ}$  до  $+15^{\circ}$ , а по правцу  $300^{\circ}$ . Са једним пуњењем резервоара прелази до 550 km, при чему на путевима може достићи брзину од чак 71 km/h. Савладава успон од 60%, бочни нагиб од 30%, вертикалну препреку од 1,25 m, ров ширине 3 m и дубине 1 m, као и водене препреке дубине 4 m, уз претходну припрему.



Слика 1.1: Француски тенк Леклер

Занимљивост у вези са овим тенком јесте његова оспособљеност за борбе у урбаним срединама, која је постигнута комплетом *AZUR - Action en Zone URban*, који се састоји од допунске заштите у облику

бочних завесица од композитних материјала, сендвич-оклопа на задњем делу оклопног тела и куполи која има заштиту у односу на поједина ракетна убојна средства, и посебно заштиту мотора на експлозивно-запаљива средства (Молотовљеве коктеле и друге приручне направе).

Леклер је наоружан глаткоцевним топом калибра 120 mm, дужине 52 калибра, са термо-навлаком, који уз помоћ електричног система навођења може испаљивати поткалибарне и кумулативне пројектиле брзином од 12 метака у минути.

Тенк има систем пуњења капацитета 22 метка, који омогућава аутоматско пуњење тенковског топа и касније отварање ватре по непријатељским циљевима у покрету, током војње по маневарском земљишту. Функционалност у раду обезбеђена је двоструким напајањем најважнијих компоненти, као и ручним - алтернативним начином пуњења топа.

Као допунско наоружање, Леклер има спрегнути митраљез калибра 12,7 mm и даљински управљани ПА митраљез калибра 7,62 mm, смештен на крову куполе. Може користити и француску и НАТО муницију.

Осим наведеног, овај тенк има и заштитни борбени систем Galix, који може испаљивати гранате из својих бочних кровних лансера 80 mm као и димне и против-пешадијске гранате или инфрацрвене мамце. Такође, постоји могућност уградње одбрамбеног комплета КВСМ, који укључује упозорење од ласерског зрачења, противничких пројектила и инфрацрвени ометац, што са Galix-ом може бити интегрисано у систем *FINDERS*.

Борбени систем *FINDERS* - *Fast Information, Navigation, DEcision and Reporting System* укључује мапирани дисплеј у боји који показује тренутни положај тенка у односу на савезнике и противничке снаге, обележава циљеве а може се користити и за планирање мисија и кретања по бојишту, кроз размену дигитализованих података, укључујући тактичку ситуацију.



Слика 1.2: Борбени систем *FINDERS*

Дигитални СУВ омогућава нишанцији или командиру да одабере шест различитих циљева који се могу пратити у само 30 секунди. Балистички рачунар омогућава обраду података са тенковских сензора и оптичких уређаја у реалном времену.

Командир има осам перископа и панорамски нишан *HL-70*, који укључује ласерски даљиномер, дневни канал и појачавач слике друге генерације. Циљеви се могу препознати на 4 km а идентификовати на 2,5 km. Командир има и дисплеј са сликом нишанцијиног термовизијског нишана.

Станица нишанције опремљена је главним нишаном, три перископа и визуелним дисплејом.



## 1.2. Тенк Т-90

Тенк Т-90 је настао од тенкова Т-72 и Т-80У, као савремено оклопно борбено средство које се на употреби у руским оружаним снагама налази још од 1993. године.

Има три члана посаде – командира, нишанцију и возача.

Процењује се да је тренутно међу 10 најбољих тенкова у свету, а свакако представља један од најбољих извозних производа Руске Федерације, с обзиром да је извезен у Индију, Алжир, Азербејџан, Туркменистан и Венецуелу, у укупном броју више од 1.000 комада, при чему Индија планира сопствену производњу тенка Т-90.



Слика 1.3: Руски тенк Т-90

Од увођења у оперативну употребу тенк Т-90 се стално модификује и унапређује. У том смислу, на сликама од 1.4 до 1.7. приказани су поједини подсистеми и компоненте модификованог тенка Т-90 МС – Калина, представљеног на сајму *DefExpo 2012*.

Овај тенк има масу од 46,5 тона, дугачак је 6,86 m односно 9,53 m (укључујући цев тенковског топа), широк је 3,46 m а висок само 2,23 m. На путу може постићи максималну брзину до 60 km/h, савладава уздужни нагиб од 60%, бочни од 40%, вертикалну препреку висине 0,8 m, као и ров дужине 2,85 m и дубине 1,2 m.

Користи глаткоцевни топ 2А46М, калибра 125 mm, стабилизован у обе равни навођења, са опсегом кретања од - 6° до + 14° (по висини) односно 360° (по правцу). Испалује тренутно-фугасне, кумулативне и поткалибарне пројектиле, а осим наведене конвенционалне муниције може на уобичајен начин испаливати и противоклопне вођене ракете 9К119.

Ефикасан домет поткалибарних пројектила износи до 3.000 m у дневним, односно до 2.600 m у ноћним условима, при чему на 2.000 m пробија оклоп дебљине од око 590 до 630 mm. С друге стране, ракете 9К119 имају ефикасан домет до 5 km, како у противоклопној борби, тако и против ниско-летећих хеликоптера. Вероватноћа погађања циља овим пројектилима на даљини од 4.000 m износи 0,8 а на даљини од 5.000 m износи 0,7.



Слика 1.4: Место нишанције



Слика 1.5: Справа командира

Тенк Т-90 има интегрисани аутоматски СУВ са ручном контролом командира. Интегрисани СУВ обухвата дневну и термовизијску справу справу нишанције са ласерским даљиномером. Има стабилизатор оруђа, балистички компјутер и метео-сензор.

Поседује и систем идентификације циља на даљинама од 1,2 до 1,5 km, као и командирску справу која је способна за идентификацију циљева на даљинама до 800 m (дању), односно 700 m (ноћу). Возач је опремљен инфрацрвеним уређајем за ноћно осматрање.

Као допунско наоружање, тенк Т-90 користи спрегнути митраљез 7,62 mm и противавионски митраљез 12,7 mm.

Тенковски топ пуни се аутоматским пуњачем - електро-механичким уређајем који у свом обртном транспортеру смешта 22 дводелна метка, док се у куполи тенка чува још 21 метак преостале муниције.

Тенк Т-90 има корпус од композитног оклопа са блоковима реактивног оклопа "Контакт 5". Заштита је побољшана коришћењем система "Штора-1" које смањује могућност угрожавања противтенковским вођеним ракетним средствима, а укључује инфрацрвени ометач, ласерски систем раног упозорења са четири сензора и компјутерски контролисани систем задимљавања бојишта.

### 1.3. Тенк M1 Abrams

Током 1973. године у арапско-израелском рату дошло је до примене у претходном периоду најављене "револуције прецизности", како је ова појава названа у књизи "Ватрена моћ у ограниченом рату" (*Firepower in Limited War*).

Тада је било потребно коришћење само два испалена пројектила за уништење противничког тенка, што је био велики напредак, уколико се има на уму да је за исти резултат током Другог светског рата било потребно чак 17 испалених пројектила. У разматраном периоду, од неких двадесетак година, дошло је до истовременог повећања вероватноће погађања и скоро троструког повећања ефикасног домета. Ова чињеница је последица употребе даљимера, балистичких компјутера и резултат побољшаних карактеристика коришћене муниције.



Слика 1.6: Нови панорамски нишан командира, даљински управљана борбена станица са митраљезом 7,62 mm и активно-реактивни оклоп на бочној страни куполе тенка Т-90



Слика 1.7: Четири видео-камере за осматрање, у опсегу од 360°, и метео-сензор тенка Т-90



Американци се ослањају на, како се наводи, врло високе стандарде у погледу прецизности, која је базирана на комбинацији технологије, обуке и тактике.

Наведене дисциплине су у међусобној зависности: тактика мора држати корак са развојем технологије, технологија мора бити способна да подржи жељене промене у доктринарном смислу, док их обука обједињује и чини ефективном. Сједињене Америчке Државе верују да управо такву комбинацију имају у борбеном тенку *M1 Abrams*.

Вршећи упоредну анализу европских, америчких и руских тенкова током рата у Заливу, 1991. године, у књизи *Дигитални војници (Digital Soldiers)*, Џејмс Даниген (*James Dunnigan*) наводи да је од Другог светског рата настао јаз између концепција, при чему је америчко убеђење да су Руси желели да масовношћу тенковских јединица компензују нешто слабији СУВ, док су се Американци определили да производњу тенкова побољшају концентрисањем на унапређењу СУВ-а и повећању вероватноће погађања и уништења непријатељских тенкова.

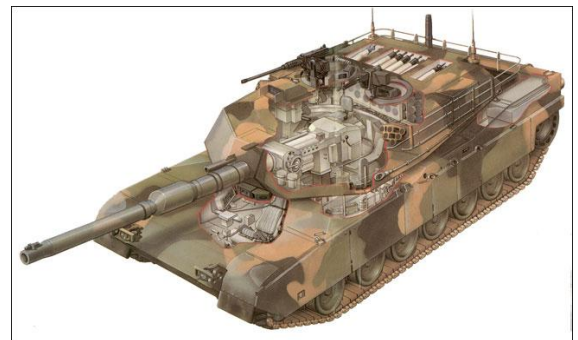
Армијске истраживачке лабораторије (*ARL – Army Research Laboratory*) су констатовале како је тенковски топ *M256* прецизно оруђе за непосредно гађање, код којег је прецизност од ултимативне важности.

У марту 2003. године *ARL* је поставио циљ: "један покушај – један погодак", при гађању на мету површине једног квадратног метра, на више од 1.600 метара. Тим поводом, на опитним гађањима која су изведена током вежби, тестиран је програм побољшања система на тенку *M1A2 (SEP – System Enhancement Program)*. Наведени програм учинио је могућим уништење покретног оклопног циља на чак 3.400 метара.

Ипак, и без поменутог програма *SEP*, у борбама против Ирачана, марта 2003. године, један тенковски батаљон америчких савезничких снага успео је да уништи преко 80 ирачких тенкова, без икаквих губитака, што се може сматрати потврдом постављених циљева.

Програм *SEP* омогућава, пре свега, повећање и унапређење домета осматрања бојишта са новом инфрацрвеном оптиком која посади омогућава јасну идентификацију циља на преко 8.000 метара удаљености. Доступно је повећање од 50 пута, које омогућава нишанцији да одлучи да ли жели сам да уништи непријатељски циљ на ефикасном домету до 4.000 метара, или да изврши ласерско обележавање циља на даљини између 4.000 и 8.000 метара, за уништавање "паметном муницијом".

Тенк *M1A2* поседује основну нишанску справу с двоструком осом, која обезбеђује нишањење за гађање првим метком са повећаном прецизношћу. За сваки испаљени пројектил рачунар прорачунава елементе ватре засноване на више утицајних фактора. Пре свега, у



Слика 1.8: Амерички тенк *M1 ABRAMS*

рачунар се аутоматски убацују следећи подаци: измерени угао, савијеност тенковске цеви, брзина ветра и нагиб тенка са статичког нагиба у облику клатна.

С друге стране, посада убацује податке о врсти муниције, температури и атмосферском притиску.

Као и код тенка М84, тако и код америчког тенка *M1A1* омогућено је да нишанција усмерава цев топа ка циљу, док командир осматра бојиште и хвата следећи циљ својим независним (термовизијским) нишаном.

Као још један додатак анализи успешности америчког тенка *M1A1 Abrams*, може послужити и податак да је модел *M1A1 SEP* повезан у борбени командни систем (*ABCS – Army Battle Command System*), који омогућава сваком командиру тенка да изврши визуелизацију ситуације на бојишту, и тако уочи положај свог тенка у односу на пријатељске и непријатељске тенкове, што умногоме онемогућава појаву тзв. "пријатељске ватре", тј. погрешног дејствовања по својим јединицама, или снагама савезника.

#### 1.4. Тенк *Leopard 2*

Немачки тенк Леопард може се сврстати у категорију најбољих тенкова данашњице. Његова производња (у верзији Леопард 1) отпочела је још 1963. године у Минхену, тако да је више од 6.000 ових тенкова извезено у Белгију, Данску, Грчку, Италију, Канаду, Холандију, Норвешку, Турску и Аустралију.

Леопард 2 је наследио свог претходника 1979. године и до данас је, у односу на основну, израђено више варијанти (*2A1, 2A2, 2A3, 2A4, Revolution, 2A5, 2A6, 2PSO, 2A7+*).

Опслужује га четворочлана посада у саставу командир, нишанција, пунилац и возач. Маса тенка варира у складу са одабраном варијантом, а за верзију 2А6 износи тачно 62 тоне.

Габарити овог тенка су нешто већи и износе: дужина - 10,97 m (укључујући цев тенковског топа), односно 7,7 m (тело тенка), ширина – 3,7 m и висина 3 m.

Акциони радијус Леопарда 2А6 износи до 500 km, при чему на путу може развити брзину до 68 km/h. Савладава уздужни нагиб од 60% и попречни од 30%, усправне препреке висине 1,15 m, као и ров дужине 3 m и дубине 1 m.



Слика 1.9: Немачки тенк Леопард

Конструкција тенка је организована у три дела: секција возача – у предњем делу, борбена секција – у средишњем делу, и моторни део – у задњем делу тенка. Секција возача има три осматрачка перископа, а у њеном левом делу налази се простор за смештај муниције. Возач може осматрати простор иза тенка, коришћењем монитора задње ТВ-камере.

Тенк је наоружан глаткоцевним топом калибра 120 mm, дужине 55 калибара, што је за 25% дужа цев у односу на верзију 2А5 (која је имала топ дужине 44 калибара). Овом изменом постигнута је већа прецизност топа, као и већи домет испаљених пројектила. Топ се

пуни ручно, коришћењем 15 метака који су смештени у куполи или преосталих 27 метака смештених у предњем делу корпуса тенка. Може се покретати у опсегу од  $-9^\circ$  до  $+20^\circ$ , по висини, односно  $360^\circ$  по правцу. Допунско наоружање чине два митраљеза 7,62 mm, од којих је један спрегнут са топом, а други се користи за заштиту од циљева у ваздуху.

Командир тенка има независни перископ за дневно и ноћно осматрање (*PERI-R 17 A2*), као и за идентификацију циљева, у опсегу од  $360^\circ$ , чији је изглед приказан на слици десно. Перископ је укључен у СУВ тенка, па је могуће користити га и за отварање ватре и размену слике између нишанције и командира.

Основни нишан нишанције има ласерски даљиномер и термовизијски нишан који ради у таласном опсегу од 8  $\mu\text{m}$  до 14  $\mu\text{m}$ . Даљиномер обезбеђује податке о измереној даљини у времену од 4 секунде. Подаци се могу прикупљати на даљинама до 10 km, са тачношћу  $\pm 20$  m, након чега се прослеђују у рачунар СУВ-а и користе у прорачуну елемената гађања. Осим тога, а пошто је ласерски даљиномер интегрисан у СУВ, све податке може прочитати и нишанција.



Слика 1.10: Поглед кроз перископ командира тенка Леопард 2

У борбеним условима, током кретања на бојишту, Леопард може детектовати противнички тенк у покрету на даљинама до 5.000 m.

Леопард се може похвалити повећаном заштитом посаде, имајући у виду коришћење композитног вишеслојног оклопа треће генерације, али и допунске заштите на предњем делу куполе и тела тенка, као и на бочним деловима тенка. Осим тога, на поду се налази посебна заштита од противтенковских мина које омогућавају преживљавање посаде без озбиљнијих повреда. Такође, Леопард је опремљен и системом за заштиту од пожара у унутрашњости тенка који се активира аутоматски, уколико температура пређе  $82^\circ\text{C}$ , али је могуће и ручно активирање коришћењем панела у одељку возача.

Заштита од НХБ агенаса омогућена је системом који у тенку одржава натпритисак у односу на спољашњост у износу од 4 mbar.

### 1.5. Тенк *Merkava 4*

Тенк Државе Израел - Меркава 4 налази се у оперативној употреби израелске војске од 2004. године, и није намењен извозу, иако се поједине компоненте овог тенка могу наћи у извозу.

Овај тенк је нешто већи од свог претходника – Меркаве 3, који се од 1990. године користи са новом оклопном заштитом и електронским системима наоружања. Меркава 4 има 65 тона, дугачак је 9 m (укључујући цев топа, док је купола дуга 7,6 m), а ширина тенка износи 3,72 m, док је висок 2,66 m.



Слика 1.11: Израелски тенк Меркава 4



Овај тенк по путевима може ићи брзином и до 64 km/h, уз акциони радијус од 500 km.

Тенковски мотор је смештен у предњем делу тенка, због чега је донекле увећана заштита посаде у случају фронталног напада. Такође, тиме је створен допунски простор у задњем делу тенка. У том смислу, иако има четири члана посаде – командира, нишанцију, возача и пуниоца, поред њих Меркава 4 може транспортовати чак осам бораца или три рањеника на носилима, у простору који је намењен за муницију, при чему се њихов улаз и излаз реализује кроз отвор на задњем делу тенка, уз максималну могућу заштиту од непријатељске ватре.

Меркава 4 постиже одличне резултате при гађању конвенционалних покретних циљева на земљи, али и у борби против хеликоптера, користећи противоклопну муницију.

Овај тенк има куполу на електрични погон на којој се налази једино отвор за командира. Тенковски глаткоцевни топ калибра 120 mm је модификован тако да може испаљивати снажнију муницију укључујући нове високо-пробојне, као и вођене пројектиле. Термо-навлака на топу смањује савијање цеви које може настати због спољних услова и појачаног режима ватре.

Пунилац полуаутоматски одабира врсту муниције која је смештена у заштићеним контејнерима. Тенк има 48 метака, док је у електричном обртном механизму смештено 10 метака који су спремни за опаљење. Користи поткалибарну и кумулативну муницију.

Као допунско наоружање, тенк користи митраљезе 7,62 mm и 12,7 mm и минобацач 60 mm који може испаљивати класичне и осветљавајуће мине.

СУВ тенка Меркава 4 омогућава праћење покретних циљева док је тенк у покрету, укључујући десантне хеликоптере. Стабилизује нишанску линију у две равни, има телевизијски нишан друге генерације, аутоматски термовизијски идентификатор циља, ласерски даљиномер, унапређени ноћни термовизијски систем и динамички индикатор бочног нагиба.



Слика 1.12: Тенк Меркава 4 у пустињским условима

Станица командира опремљена је дневно-ноћним панорамским стабилисаним нишаном. Интегрисани оперативни систем укључује напредну размену шифрованих података и борбено управљање, уз комуникацију, како интерну, тако и са спољним корисницима. Систем омогућава посади тенка да планира мисије, одређује своју позицију и ажурира ситуацију на бојишту. Такође, пружа могућност за извештавање савезника о противничким циљевима, комбинујући тенковске, против-тенковске и артиљеријске јединице и хеликоптере у здружене комбиноване борбене групе.

Осим наведеног, Меркава 4 је оспособљен за рано узбуњивање на бојишту, захваљујући ласерском систему *Ancoram LWS-2* који је повезан са командирским дисплејом у боји, па се након детекције претње активира систем *POMALS – Pedestal Operated Multi Ammunition Launching System* који врши задимљавање бојишта или испаљује мамце.

Меркава 4 има и систем који омогућава заштиту од против-тенковских ракета, пројектила и кумулативне тенковске муниције - *Rafael Trophy Active Protection System*. Овај заштитни систем детектује и класификује претњу, прорачунава оптималну тачку пресретања и предузима одговарајуће контра-мере, што омогућавају сензори који укључују радар са четири антене смештене око тенка.

НХБ заштита постигнута је комбинацијом индивидуалне заштите са натпритиском у тенку, уз коришћење допунске климатизације – грејања или хлађења унутрашњости.

Оклоп Меркаве 4 је модуларног типа, и лако и брзо замењив. Штити тенк са свих страна, укључујући горње површине куполе и тела тенка, и омогућава изузетно брзу оправку након оштећења у борби.

## 1.6. Тенк *Challenger*

Тенк Челенџер (*Challenger*) је осталим тенковима заиста представљао својеврсног изазивача у тренутку појављивања. Влада Велике Британије је првих 127 тенкова наручила још 1991, њихова производња започела је 1993, а први примерци испоручени су у јулу 1994. године. Својеврсну модификацију ови тенкови доживели су 2004. године, када је компанија *BAE Systems Land Systems* опремила тенкове са новом глатком топовском цеви, што је омогућило британској војсци да користи и НАТО муницију.

Челенџер је тенк чија маса износи нешто више од 62 тоне, широк је 3,5 m, висок 2,5 m, а дугачак 11,5 m. По уређеним путевима може достићи брзину и до 59 km/h а ван путева око 40 km/h, што му омогућава радијус кретања од око 450 km (на путу) односно 250 km (ван пута). Има топ калибра 120 mm, дужине 30 калибара, који има пуну кружну покретљивост по правцу и може заузимати углове елевације у распону од  $-10^{\circ}$  до  $+20^{\circ}$ . Поред тенковског топа, Челенџер има и два митраљеза 6,72 mm, од којих је један намењен за дејства по циљевима у ваздуху.



Слика 1.13: Британски тенк Челенџер

У тенку су смештена четири члана посаде – командир, нишанџија, возач и пунилац.

Командир има осам перископа, увећања 1 пута, који омогућавају осматрање у опсегу од  $360^{\circ}$ . Осим тога, сваки од осам перископа има црвено командно дугме чијим притиском је омогућено навођење куполе тенка до поклапања са осом перископа командира, а тиме и указивање циља нишанџији, који се налази испред командира и нешто ниже у односу на њега.

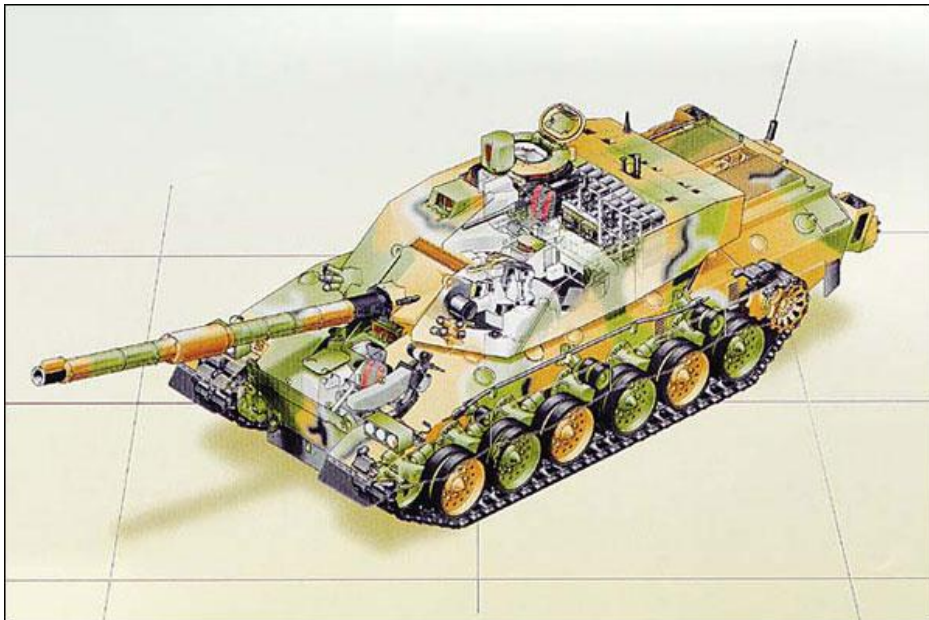
Осим тога, командир има и жиростабилизовани показивач, чији су нишан и електроника смештени на крову куполе, а ту је и ласерски даљиномер који спаја горњу јединицу са доњим склопом телескопа унутар куполе (оптички систем за осматрање, ручне контроле, електроника и систем стабилизације нишанске линије). Нишан омогућава

осматрање у свим правцима, без окретања главе, у елевационом опсегу од  $\pm 35^\circ$ , уз видно поље од  $16,5^\circ$  (и увећање 3,2 пута), односно  $5^\circ$  (и увећање 10,5 пута).

Ноћно осматрање је омогућено термовизијским уређајем (*Thermal Observation and Gunnery Sight II - TOGS II*), код којих се термални ликови пројектују на справама нишанције и командира.

Ласерски даљиномер таласне дужине  $1,064 \mu\text{m}$  може се користити у опсегу од 200 до 10.000 метара, са тачношћу од  $\pm 5 \text{ m}$ .

Интересантна је процедура избора више циљева која је могућа код Челенцера. Наиме, командир најпре аутоматским процесом навођења укаже нишанцији циљ и одмах након позиционирања тенковске цеви нишанција врши "ласеровање" циља и отварање ватре. У међувремену (док нишанција мери даљину, нишани на циљ и отвара ватру) командир је у могућности да лоцира следећи циљ, коришћењем командирске справе. Подаци за оба циља смештају се у рачунар, тако да по уништењу првог циља, тенковски топ аутоматски се позиционира и отвара ватру на други циљ. На овај начин, током извршења борбеног задатка значајно се повећава ватрена моћ тенка Челенцер.



Слика 1.14: Пресек тенка Челенцер

## **2. ОПИС РЕАЛИЗОВАНИХ ИСТРАЖИВАЊА**

### **2.1. Проблем истраживања**

У општем случају, тенковски топ је оруђе за непосредно гађање, али му се могу додељивати и задаци посредне ватре, уколико се за то покаже сврсисходна потреба. Тада процедуре за одређивање елевационих углова добијају допунске поправке, као што је поправка услед месног угла и сам месни угао, било да се ради о гађању из покрета, или из кратког застоја, на непокретне или покретне циљеве.

Осим тога, усмеравање по елевацији код тенковског топа је веома сложено питање, с обзиром да се користи више различитих типова муниције. Уочљива је чињеница да ратна пракса и борбена искуства стално намећу потребу за новим типовима муниције. Тако на пример, развој могућности тенковског топа проширен је коришћењем ракетних противоклопних пројектила, што представља посебан изазов аутоматизацији избора елемената гађања при испаливању ракета из глатких тенковских цеви. Прецизност при отварању ватре из тенка у покрету, сама по себи поставља сталан задатак који је веома комплексан за решавање и зависи непосредно од квалитета СУВ. Из основе намене СУВ и потребе за повећањем тачности и прецизности гађања намеће се и проблем истраживања. Проблем истраживања је да се дефинише утицај рада СУВ тенковског топа на растурање погодака при непосредном гађању. При решавању овог проблема неопходно је реализовати следеће кораке:

- извршити систематизацију свих узрока који могу довести до растурања погодака при коришћењу СУВ током непосредног гађања,
- одредити допринос појединих мерних елемената СУВ на растурање погодака и одређивање адекватног решења за смањење грешке,
- одредити допринос извршних елемената система навођења тенковског топа на растурање погодака,
- посебно размотрити контролу и управљање топа по елевацији, односно куполе по правцу, пре свега због чињенице да се усмеравање по правцу врши независно од типа муниције, при чему се узимају допунске деривације и поправке, и
- извршити анализу заузимања линије гађања и лета пројектила након опаљења топа, у спољнобалистичком смислу, као директне последице рада СУВ.

Сагледавањем проблема истраживања види се да развој математичког модела рада елемената СУВ и њихова имплементације у функционалан модел СУВ представља комплексан и до сада недовољно истражен садржај. С обзиром да је једним истраживањем немогуће разрешити проблем у целини, пројектовање овог истраживања усмерава се само на израду модела за оцену СУВ, односно, квалитативно и квантитативно дефинисање доприноса појединих елемената СУВ на растурање погодака. Дакле, предмет истраживања докторске дисертације представља утицај система за управљање ватром тенковског топа на растурање погодака при непосредном гађању.

### **2.2. Циљ и фазе истраживања**

Основни циљ истраживања је да се теоријско-нумеричким моделовањем омогући реалнија процена понашања његових појединих елемената СУВ и укупног утицаја на понашање цеви током аутоматског заузимања линије гађања. Потпуније разумевање

комплетне слике физичких процеса треба да допринесе повећању укупних перформанси оклопних борбених средстава, односно СУВ. Методологија истраживања, која је спроведена разматрањем утицаја аутоматског заузимања линије гађања на растурање погодака при непосредном гађању из тенковског топа, може послужити и за остала артиљеријска оруђа која поседују СУВ.

Истраживање је реализовано кроз следеће фазе:

- потпуна дескрипција проучаваног проблема истраживања,
- научно објашњење утицаја елемената СУВ на ниво грешке, односно растурање погодака,
- описивање модела елемената СУВ и израда одговарајућег математичког модела,
- израда комплетног алгорита и одговарајућег софтвера за решавање математичког модела, односно нумеричко моделовање процеса применом метода симулације процеса,
- извршење спољнобалистичких прорачуна ради оцене утицаја на ниво грешке за све елементе, као и за систем у целини,
- идентификација карактеристичних параметара и величина у временском домену и анализа резултата у реалним условима употребе (експериментисање на моделу),
- упоредна анализа прорачунских резултата на основу спроведеног истраживања са скупом “еталон” података према спољнобалистичким критеријумима и таблицама гађања,
- верификација добијених резултата истраживања на основу тачнијег одређивања величине положаја цеви и задовољења потребних услова домета и тачности гађања, а самим тим и расположиве ефикасности оруђа.

Испуњење овог задатка обухвата структурно решење задатака балистике и механике лета у режимима комбинованим под контролом аутоматских нишанских и серво-уређаја.

### 2.3. Хипотезе истраживања

Глобална хипотеза истраживања је да се прецизност сваког оруђа карактерише величином слике погодака, односно величином површине на којој су распоређени погоци у односу на средњи погодак, при гађањима која су обављена у истим условима, као што је објашњено у литератури [1]. Притом, прецизност гађања код тенка М84 условљена је разним утицајним факторима (стање цеви оруђа, дејство барутног пуњења, атмосферски услови гађања, утицај елемената и система за управљање ватром, увежбаност посаде итд).

У складу са наведеним, из глобалне хипотезе може се дефинисати посебна хипотеза истраживања, а то је да се проучи и анализира утицај елемената и система за управљање ватром на тенку М84 на вероватноћу погађања тродимензионалних циљева, као и на растурање погодака, при гађању из тенковског топа.

Током истраживања коришћене су следеће појединачне хипотезе:

- тенк се може представити физичким моделом обртне масе, великог момента инерције, која се окреће у хоризонталној равни (за куполу), и нешто једноставнијим моделом за топ, који се покреће у вертикалној равни,



- постојећа конструкцијска решење елемената СУВ, и СУВ у целини, на тенку М84 представљају полазну основу истраживања,
- механички модел СУВ тенковског топа и адекватан математички модел описују кретање цеви у процесу аутоматског заузимања линије гађања,
- елементи контроле и управљања ватром (мерни и командни) имају одређене грешке мерења и прорачуна, што доприноси растурању пројектила на циљу,
- елементи СУВ за навођење топа по елевацији, односно куполе по правцу, имају грешку навођења која доприноси растурању пројектила на циљу.

С обзиром на изузетно скупо извођење експерименталног истраживања у реалним условима, захтевну мерну опрему и велики број опаљења, није било објективно очекивати да се реализује наменски експеримент ради добијања потребних резултата. Зато се у дисертацији користио део расположивих експерименталних података из елабората за контролно-мерна испитивања оруђа у Војнотехничком институту и Техничком опитном центру. Овај недостатак је у великој мери ублажен бројним симулацијама и експериментисањем на теоријско-нумеричком моделу ради потврде ваљаности модела и добијених резултата.

#### **2.4. Методе истраживања**

Врло сложен предмет истраживања, као што је квалитативно и квантитативно дефинисање доприноса СУВ тенковског топа при гађању на растурање пројектила, као основни научни циљ има научно објашњење (експликацију). Због недовољних података и спознаја манифестација процеса у једном мањем делу истраживања примениће се и поступак описа (дескрипције). То ће, у крајњем, условити да један од резултата истраживања буде експликативно-дескриптивна студија дефинисања утицаја појединих елемената СУВ, и СУВ у целини, на растурање пројектила при непосредном гађању.

Спровођењем и комбиновањем теоријских и емпиријских метода истраживања, дисертација је резултовала развојем математичког модела за решење постављеног задатка. Сви изнети садржаји презентовани су у логичком следу, поштујући принцип извођења "од општег ка појединачном".

Уколико се имају у виду основне области и циљ истраживања, у дисертацији су коришћене следеће методе:

- моделовање, као истраживачки поступак који је системски заснован, и којим се креира модел којим се представља предмет или процес истраживања. Коришћење ове методе је погодно јер омогућава предвиђање и оцењивање понашања предмета или процеса који су тема истраживања,
- посматрање, које омогућава прикупљање потребне количине информација и података из реалног окружења. Прикупљене информације и подаци коришћене су као инпут за даља истраживања на усвојеним моделима ради доношења суда о систему који је представљен одређеним моделом,
- симулација, као изузетно користан метод проучавања и испитивања достигнутог хипотетичког решења у истраживању, пре свега због повољности у техноекономском смислу,

- експеримент, који је представљао један од завршних корака у истраживању, како би се реално проверила истинитост и оправданост реализованог теоријског истраживања и постављених хипотеза истраживања. При усвајању тенка М84 извршена су бројна експериментална истраживања и мерења СУВ, што је олакшало истраживање.
- компаративни метод, који је био искоришћен ради упоређивања резултата добијених посматрањем и применом других метода, а пре свега метода симулације и експеримента.

Све наведене методе имају заједнички циљ да се, након анализе утицајних фактора у области растурања погодака при непосредном гађању из тенковског топа 125 mm на тенку М84, као и спровођења теоријских и практичних истраживања, дође до коначне потврде о испуњавању задатака и постављених почетних циљева истраживања.

## **2.5. Научна и економска оправданост истраживања**

Научна оправданост истраживања исказана је кроз научни опис, дефинисање и тумачење утицаја система управљања ватром на растурање погодака при непосредном гађању из тенковског топа, уз класификацију фактора који утичу на растурање погодака. Показано је да су истраживања у овој области указала на могућност унапређења постојећег математичког модела за одређивање слике погодака и смањење растурања при непосредном гађању.

Познато је да се стварна ефикасност било ког средства наоружања може ценити у односу на више фактора који могу бити објективне или субјективне природе. Објективни фактори ефикасности наоружања су: балистичке особине трајекторије пројектила, прецизност, која се огледа кроз износ вероватних скретања, затим брзина гађања, метеоролошки и топографски услови гађања, као и дејство које пројектил остварује на циљу. С друге стране, субјективне факторе ефикасности наоружања представља скуп фактора који се огледају кроз обученост и поступке посаде (нишанције).

Сваки од наведених фактора ефикасности наоружања има свој специфичан утицај на растурање погодака при гађању. Разматрајући наведене факторе ефикасности оклопних борбених возила, може се закључити да су они у тесној вези са економском исплативошћу њиховог коришћења.

Докторска дисертација представља помак ка ефикаснијој и рационалнијој борбеној употреби оклопних борбених возила, у чему се и огледа друштвено-економска оправданост истраживања, па се, стога, може извести и закључак да докторска дисертација одговара потребама Војске Србије и система одбране Републике Србије.

## **2.6. Допринос дисертације**

Докторска дисертација је мултидисциплинарна и обухвата области спољне балистике и система управљања ватром, а њен посебан допринос налази се у испитивању утицаја СУВ на растурање погодака при непосредном гађању из тенковског топа 125 mm 2А46, у коју сврху је на оригиналан начин модификован и надограђен постојећи математички и симулациони модел.

Коришћењем савремених метода пројектовања методом система у простору стања извршена је анализа стабилности и пројектовање оптималног система.

На основу модела добијен је већи број прорачунских величина, као временских функција или функција тренутног положаја топовске цеви, које могу бити експериментално проверене, и које сигурно омогућавају потпуније разумевање процеса аутоматског навођења цеви топа и реалнију оцену ефикасности у погледу тачности и прецизности гађања.

Теоријско-нумеричким моделом омогућена је анализа функционалне способности СУВ и његов утицај на тачност и прецизност. Остварени резултати истраживања и развијени програмски модели за симулацију гађања створили су услове за побољшање постојеће методологије пројектовања СУВ, а посебно прогнозу и одређивање дозвољеног нивоа растурања пројектила.

Као кључни допринос дисертације може се издвојити закључак да ће смањењем случајне грешке позиционирања (као резултата рада СУВ) прецизност гађања бити осетно повећана, док у исто време тачност гађања неће бити значајно угрожена.

У практичном смислу, остварен је допринос будућем развоју решења за повећање тачности и прецизности непосредног гађања из тенковског топа, што ствара услове за потенцијално значајно повећање ефикасности оклопних борбених возила у борбеним дејствима.

### 3. РАСТУРАЊЕ И ВЕРОВАТНОЋА ПОГОДАКА ПРИ НЕПОСРЕДНОМ ГАЂАЊУ ТЕНКОВСКИМ ТОПОМ 125 mm НА ТЕНКУ М84

#### 3.1. ОПШТЕ НАПОМЕНЕ О НЕПОСРЕДНОМ ГАЂАЊУ

Непосредно гађање употребљава се у борбеним ситуацијама где је потребно остварити извршење задатка барем једним директним поготком у циљ или са што мањим утрошком муниције у што краћем временском периоду.

Карактеристични задаци оваквог типа, према литератури [2] су неутралисање непријатељских тенкова и других оклопних борбених возила, рушење фортификацијских објеката, уништавање непријатељске живе силе, као и уништавање свих рентабилних циљева (центри везе, складишта, разни пловни објекти на води, непријатељски ваздухоплови на земљи, аеродроми и хелидроми, лансирне рампе, радарска постројења итд).

У складу са начином извршења и карактеристикама циља, уобичајена подела непосредног гађања је на гађање покретних и гађање непокретних циљева.

Приликом реализације непосредног гађања вертикалних циљева мале површине, као што су непријатељски тенкови, возила, бункери и слично, неопходан је барем један директан погодак. Овај задатак најлакше је испунити уколико се непосредно гађање извршава на мањим даљинама, односно на даљинама реда величине *брисаног домета*<sup>1</sup>, јер према [3] на већим даљинама нагло расту растурање погодака и грешке при одређивању даљине до циља. У исто време опада брзина пројектила и смањују се ударни углови што сумарно утиче на опадање пенетрације пројектила на циљу. Имајући ово у виду, а на основу практичних испитивања и искустава, може се констатовати да је непосредно гађање покретних циљева ефикасно на даљинама од 1,5 до 2 брисана домета.

Тенк М84 представља оклопно борбено возило које дејство према непријатељским циљевима остварује ватром из глаткоцевног топа 125mm 2А46, за шта углавном користи непосредну ватру, у складу са својом превасходном наменом.

Непосредна ватра подразумева гађање циљева који се налазе у оптичкој видљивости од оруђа до циља, што значи да се непосредном ватром гађају циљеви који се могу директно нанишанити, након чега је могуће реализовати и осматрање резултата извршеног гађања.

Овакво гађање примењује се у случајевима када је нужно реализовати директан погодак у циљ, или остварити циљ гађања што пре и са минималним утрошком муниције.

Притом, од значаја је и облик путање пројектила, па су, у односу на наведено, а према литератури [1], за непосредно гађање тенковским топом посебно интересантне *положене путање*<sup>2</sup>, и *разантне путање*<sup>3</sup>, као што је путања приказана на слици 3.1.

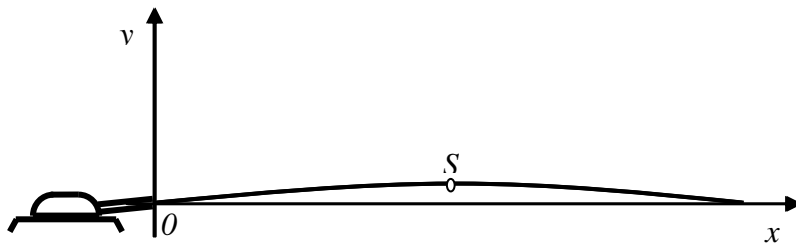
Овакве (разантне) путање управо су карактеристичне за гађање из тенковских топова, које се најчешће реализује на даљинама од 1,5 до 2 брисана домета, односно на даљинама од око 1500 до 2000 [m].

---

<sup>1</sup> *Брисани домет* је даљина од полазне до падне тачке пројектила на којој висина путање над нишанском линијом не прелази висину циља.

<sup>2</sup> *Положене путање* имају полазни угао од 15° до 19°, а падни угао око 20°.

<sup>3</sup> *Разантне путање* су посебна врста положених путања код којих полазни угао није мањи од 5°, а теме путање се не издиже изнад висине циља.



Слика 3.1: Приказ разантне путање пројектила при непосредном гађању

Тенковски топ 125mm 2А46, на тенку М84, може гађати на даљинама од 200 до 6000 [m], а оптималне резултате постиже на даљинама до 2000 [m].

Непосредно гађање из наведеног оруђа састоји се из припреме, гађања и коректуре гађања, а могуће је и групно гађање које неће бити предмет разматрања ове дисертације.

Припрема гађања подразумева извршење свих радњи које за циљ имају обезбеђење оптималних услова за успешну реализацију гађања и његову максималну ефикасност. Под тим се подразумева осматрање бојишта и благовремено откривање циљева, маскирано поседање ватреног положаја, припрема муниције и оруђа за гађање и отварање ватре. Припрема гађања може бити претходна (у смислу општих припрема, пре одређивања циља), као и непосредна (одређивање елемената за гађање, након одређивања циља).

Коректура је поступак отклањања грешака у припреми почетних елемената ради довођења средње путање у циљ.

Поједине борбене особине тенковског топа 125mm 2А46 више долазе до изражаја током непосредног гађања, имајући у виду да оно има знатне предности у односу на посредно гађање, зато што је код непосредног гађања:

- лакше, прецизније и брже одређивање елемената гађања, као и брже нишањење и отварање ватре,
- једноставније управљање ватром без додатне примене средстава везе и
- расте вероватноћа погађања за мале циљеве, како се смањује даљина гађања, као што расте и брзина, економичност и ефикасност ватре на циљу.

### 3.2. РАСТУРАЊЕ ПОГОДАКА ПРИ НЕПОСРЕДНОМ ГАЂАЊУ

При извршењу сваког гађања постоји тежња да се обезбеде истоветни услови, што се односи на врсту пројектила, серију барутног пуњења, заузимање нишанских елемената, као и атмосферске и остале услове гађања.

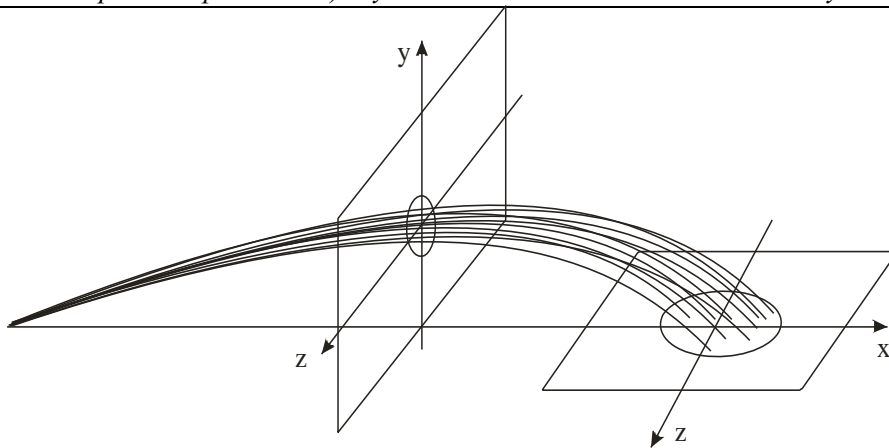
Ипак, и поред настојања да се сва гађања реализују под истим условима, према литератури [4] резултати неће бити исти, јер сваком испаљеном пројектилу у лету од оруђа до тачке сусрета са циљем одговара јединствена путања која не може бити поновљена након ма ког другог гађања.

Познато је да се погоци након свих опаљења групишу унутар површине облика елипсе, као и да у наведеној елипси ови погоци неће бити равномерно распоређени.

У средишту елипсе биће груписана већина погодака, док учесталост погодака према периферним деловима елипсе опада.

Ова појава позната је под називом *растурање погодака*<sup>4</sup>, док се наведена елипса назива и *слика погодака* или *елипса растурања*<sup>5</sup>.

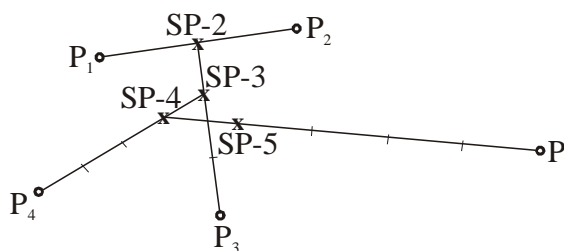
Проучавање ове појаве подложно је накнадним математичким и другим прорачунима, а пошто је реализовано из више гађања уз коришћење више пројектила може се одредити *средња путања* (као геометријска оса снопа путања), а онда се на основу слике погодака може одредити и *средњи погодак*, који представља пробој средње путање кроз хоризонталну или вертикалну раван.



Слика 3.2: Растурање погодака у вертикалној и хоризонталној равни

Стога је важно напоменути да су сви подаци који се уносе у таблице гађања (односно у алгоритам балистичког рачунара - у случају тенка М84) подаци који се односе на средњи погодак.

С друге стране, имајући у виду начин употребе тенка М84, у свим будућим разматрањима, када буде речи о појмовима везаним за растурање погодака, увек ће се подразумевати да су пробоји пројектила након гађања извршени кроз вертикалну раван.



Слика 3.3: Одређивање средњег погодка

Уколико се врши анализа утицајних фактора који доводе до растурања погодака може се закључити да на наведену појаву утиче знатан број узрока који се, према литератури [5], за тенковски топ 125mm 2А46 могу систематизовати на узроке према пореклу или према природи дешавања, па у складу са наведеним разликују се:

- **Узроци према пореклу**
  - балистички узроци,
  - метеоролошки узроци,
  - узроци "људског фактора".
- **Узроци према природи дешавања**
  - случајни узроци,
  - системски узроци,
  - груби узроци.

**Балистички узроци** потичу од стања оруђа из којег се врши опаљење, као и од стања муниције која се при том опаљењу користи, па се у ове узроке могу сврстати: стање цеви, стање барутног пуњења и стање пројектила.

Стање цеви тенковског топа 125mm 2А46 умногоме зависи од квалитета муниције која се користи. Наиме, како је цев тенковског топа 125mm 2А46 глатка, односно неожлебљена, не постоји опасност од запуњавања жлебова и бакаризације, а тиме и смањења

<sup>4</sup> *Растурање погодака* је појава да при гађању из једног оруђа, под практично једнаким условима гађања, пројектили не лете истом путањом.

<sup>5</sup> *Слика погодака* представља све продоре једног снопа путања кроз неку раван - вертикалну или хоризонталну (сноп путања је скуп свих путања из једног оруђа, за више испалених пројектила, под истим условима гађања)

калибра. Ипак, непотпуно сагорели остаци делова полусагорљивог барутног пуњења могу утицати на појаву различитих почетних брзина пројектила. Такође, могуће је неравномерно загревање зидова цеви тенковског топа, а тиме и неадекватно распоређена температурна дилатација цеви, што, опет, може довести до појаве различитих почетних брзина пројектила. Наведене "осцилације" вредности почетне брзине пројектила могуће су док се не постигне такозвано "кондиционирање" цеви (односно стационарни режим паљбе, обично након неколико опаљења, када се устаљује температура цеви).

Већ описано дејство барутног пуњења зависи од технолошког процеса израде муниције, као и од услова њеног чувања и експлоатације. Наиме, у самом производном процесу долази до настанка разлика у хемијском саставу барута (нехомогеност мешавине барутних компонената, разлике у величини и облику барутних зрнаца, разлике у маси барута у појединим барутним пуњењима и слично).

Осим тога, у складиштењу и манипулацији ове муниције неизоставно долази до промена у структури зрна барута, које могу бити механичке (на пр. ломљење зрнаца), али и хемијске (као што је продирање влаге у барутно пуњење). Ипак, истинитости ради, наведене структурне промене нису изражене у значајнијој мери.

Много утицајнија карактеристика стања муниције, која битно утиче на растурање погодака, јесте температура барута. Сасвим је јасно да је немогуће обезбедити исту температуру барута за сву муницију при борбеној употреби. Било да је у питању утицај годишњег доба, изложеност муниције различитим атмосферским деловањима, краћи или дужи боравак барутног пуњења у цеви тенковског топа (у различитим режимима ватре) - барутно пуњење не може имати исту температуру. Самим тим, и брзина његовог сагоревања, па тако и формирања барутних гасова, биће различита, те ће услед различитог дејства силе притиска барутних гасова и почетна брзина пројектила бити различита.

Најзад, а према литератури [6], стање пројектила је још један балистички узрок растурања погодака код којег је значајан технолошки процес производње, и то у смислу облика, масе и конструктивних карактеристика пројектила. Ипак, ваља напоменути да и овај узрок нема превелики утицај на растурање погодака након гађања.

**Метеоролошки узроци** представљају утицајне факторе који делују на понашање пројектила, након опаљења, у лету, од уста цеви до самог циља. Ови узроци су бројни и од значајног утицаја на појаву растурања погодака. Ипак, као најзначајнији метеоролошки узроци, могу се истаћи температура ваздуха, атмосферски притисак и густина ваздуха.

Притисак ваздуха је величина која означава дејство ваздушне масе на површину Земље. Непосредно уз површину Земље један кубик ваздуха има масу од 1,206 [kg]. Ипак, и величина ваздушног притиска није свуда иста, јер зависи од температуре, влажности ваздуха и надморске висине. Топлији ваздух (с обзиром на своју мању густину) остварује мањи ваздушни притисак, док хладнији ваздух (зато што је гушћи) остварује већи ваздушни притисак.

Густина ваздуха представља однос ваздушне масе и јединице запремине, и изражава се у [kg/m<sup>3</sup>]. Густина ваздуха опада са висином, па је ваздух све ређи што је удаљенији од површине Земље, тако да је, на пример, на 6,5 [km] висине ваздух упола ређи него при површини Земље.

Температура ваздуха је један од најзначајнијих метеоролошких узрока растурања погодака. Познато је да у атмосфери постоје пет температурних зона (*троносфера*,

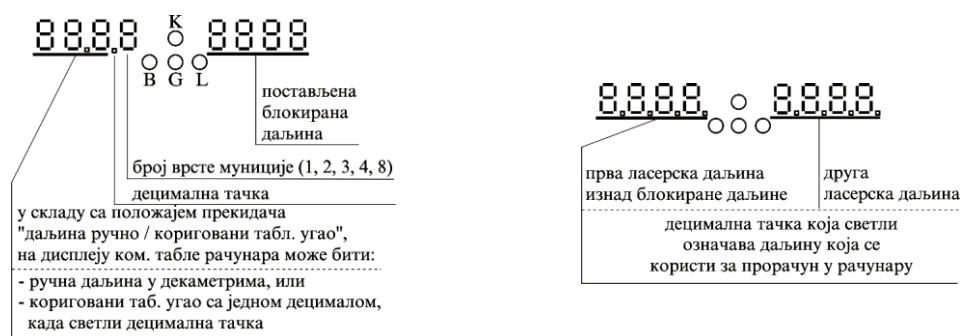
стратосфера, мезосфера, термосфера и екзосфера), као и да је за непосредно гађање из тенковског топа од значаја једино утицај тропосфере, као најгушћег слоја атмосфере, непосредно уз Земљину површину. Ипак, имајући у виду да током непосредног гађања тенковским топом теме путање лета пројектила ретко прелази висину циља, као и да температура опада са порастом висине тек за око 6,5 [°C/km], практично се може сматрати да је температура при којој се врши непосредно гађање константна.

Влажност ваздуха изражена је количином водене паре у атмосфери, и представља још један значајан метеоролошки узрок растурања погодака. Најзад, и ветар је значајан фактор који се мора узети у разматрање. Својим интензитетом и смером ветар условљава сталну промену величине отпора ваздуха. Самим тим, услед различитих услова за лет пројектила, неминовно ће доћи и до растурања погодака.

Осим свих наведених метеоролошких узрока растурања погодака, могу се образлагати и други утицајни фактори (ветар [7], брзина звука у ваздуху, динамички вискозитет и кинематски вискозитет) што превазилази оквире овог рада.

**Узроци људског фактора** потичу из више разлога који се могу образложити психофизичким стањем чланова посаде артиљеријског оруђа, у овом случају тенка.

С обзиром да је СУВ М84 уређај полуаутоматског типа (нишанција својим конкретним радњама управља радом појединих компоненти), и упркос чињеници да је знатан део радњи аутоматизован, коначну и најважнију одлуку (о отварању ватре) доноси сам нишанција, након стварања и сигнализације услова за отварање ватре - када засветли лед-диода зелене боје, тзв. "капија ватре" (К, слика 3.4-а), у окулару дневно-ноћне нишанске справе ДННС-2.



Слика 3.4: Изглед окуларне дневне-ноћне нишанске справе ДННС-2

Дужом изложеношћу штетним утицајима борбених дејстава нишанција може изгубити концентрацију и пажњу, успорити рефлексе и својим (не)чињењем допринети (не)успеху гађања.

Након стицања услова за отварање ватре нишанција кажипрстом десне руке притиска окидач топа на десном рукохвату командног блока, односно кажипрстом леве руке притиска окидач митраљеза на левом рукохвату командног блока, који је приказан на слици 3.5. У исто време, нишанција мора да држи стиснутим и барем један од два длан-прекидача који се налазе на рукохватима командног блока нишанције (како не би дошло до *хидрауличке блокаде*<sup>6</sup> извршног цилиндра у вертикалној равни навођења).

<sup>6</sup> *Хидрауличка блокада* је детаљно описана у литератури [8] и [9].



Јасно је да у описаној ситуацији добра увежбаност нишанције, као и његова концентрација и смиреност, играју кључну улогу у извршавању задатка и реализацији прецизног поготка. Уколико недостаје нешто од наведених претпоставки, доћи ће до растурања погодака, ма колико СУВ био функционалан и прецизан.

Ради разумевања условљености прецизности ватре тенковског топа 125 mm 2А46 у односу на СУВ М84, и дејства утицајних фактора који доводе до растурања погодака, у Прилогу 1 је представљен принцип рада и основне карактеристике СУВ М84, а детаљнији математички приказ растурања погодака при непосредној ватри биће представљен касније.



Слика 3.5: Командни блок нишанције СУВ М84

**Системски узроци** узроковани су системским одступањима постојећих у односу на нормалне услове гађања, при чему је познат смер и интензитет тих одступања.

Познато је [10] да путања пројектила зависи од балистичког коефицијента ( $C$ ), почетне брзине ( $V_0$ ) и полазног угла ( $\theta_0$ ). Уколико се наведене величине редом промене за константне вредности  $\delta C$ ,  $\delta V_0$  и  $\delta \theta_0$ , тада ће се добити друга нормална путања пројектила, што се неће догодити уколико дође до промене притиска и температуре ваздуха (у којем случају настаје путања у промењеним метеоролошким условима). Осим наведених ( $\delta C$ ,  $\delta V_0$  и  $\delta \theta_0$ ), у константне поремећаје могу се убројати и константни уздужни и попречни ветар ( $W_x$  и  $W_z$ ), као и промена температуре  $\delta t$  и друге величине, уз напомену да се ветар, притисак и температура ваздуха мењају са променом надморске висине.

### 3.3. ДИФЕРЕНЦИЈАЛНИ КОЕФИЦИЈЕНТИ

Истакнуто је да путању лета пројектила ка циљу дефинише више различитих параметара ( $C$ ,  $V_0$ ,  $\theta_0$ ,  $\tau$ ,  $W_x$ ,  $W_z$ , ...), који се могу обележити са  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , ...,  $P_n$ .

У том случају, елементи путање могу се дефинисати функцијом  $A=f(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n)$ , а сваки од наведених параметара дефинисан је на следећи начин:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_{10} + \delta P_1 \\ P_2 &= P_{20} + \delta P_2 \\ &\vdots \\ P_n &= P_{n0} + \delta P_n \end{aligned} \tag{3.1}$$

У складу са наведеним, и елемент путање  $A$  биће промењен за величину  $\delta A$ , па ће применом Тејлорове формуле [1] бити:

$$A_1 - A_0 = \delta A = \frac{\delta A}{\delta P_1} \delta P_1 + \frac{\delta A}{\delta P_2} \delta P_2 + \dots + \frac{\delta A}{\delta P_n} \delta P_n \tag{3.2}$$

Одступање домета у зависности од пертурбација  $\delta C$ ,  $\delta V_0$ ,  $\delta \theta_0$ ,  $\delta \tau$ ,  $\delta p$  и  $\delta W_x$  може се написати на следећи начин:

$$\delta X = \frac{\partial X}{\partial C} \delta C + \frac{\partial X}{\partial V_0} \delta V_0 + \frac{\partial X}{\partial \theta_0} \delta \theta_0 + \frac{\partial X}{\partial \tau} \delta \tau + \frac{\partial X}{\partial p} \delta p + \frac{\partial X}{\partial W_x} \delta W_x \quad (3.3)$$

Аналогно изнетом, време лета пројектила биће:

$$\delta T = \frac{\partial T}{\partial C} \delta C + \frac{\partial T}{\partial V_0} \delta V_0 + \frac{\partial T}{\partial \theta_0} \delta \theta_0 + \frac{\partial T}{\partial \tau} \delta \tau + \frac{\partial T}{\partial p} \delta p + \frac{\partial T}{\partial W_x} \delta W_x \quad (3.4)$$

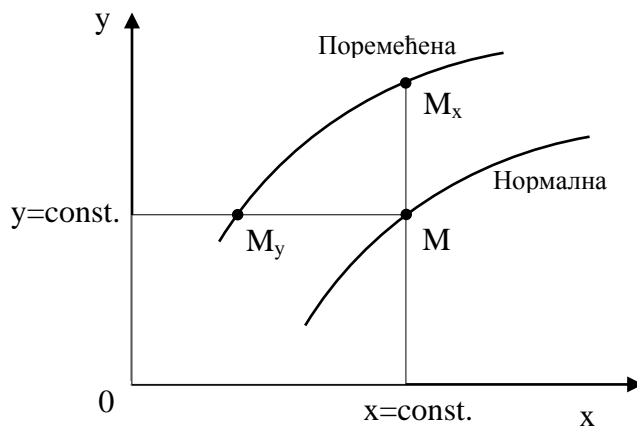
Величине  $\frac{\partial X}{\partial C}$ ,  $\frac{\partial X}{\partial V_0}$  и  $\frac{\partial X}{\partial \theta_0}$ , из једначине 3.3. називају се диференцијални

коэффициенти домета (за балистички коэффициент, почетну брзину и полазни угао) и у таблицама гађања могу се пронаћи под различитим ознакама и називима (на пример:  $\delta V_0 = \Delta V_0$ ,  $\delta \tau = \Delta t$  итд).

У Таблицама гађања [11] за тенковски топ 125 mm (чији је извод дат у Прилогу 8) диференцијални коэффициент су за различите даљине гађања означени као "поправка висине због одступања почетне брзине -  $\Delta V_0$ " и "поправка висине због одступања температуре ваздуха -  $\Delta t$ ".

### 3.3.1. Особине диференцијалних коэффициентата

Најзначајнији параметри за формирање путање пројектила јесу домет, висина и време лета пројектила ( $x$ ,  $y$ ,  $t$ ), па ће променом ма ког параметра  $P$  на нову вредност  $P + \delta P$  доћи до промене сва три најзначајнија параметра [1], као што је то приказано на следећој слици:



Слика 3.6: Пертурбације елемената путање

Као што се види, једној тачки (M) нормалне путање могуће је придружити више тачака пертурбоване путање, и то: промена положаја  $x$  и  $y$  за одређено време  $t = \text{const.}$  ( $Mt$ ), затим промена хоризонталне даљине  $x$  и времена лета пројектила  $t$ , када је  $y = \text{const.}$  ( $My$ ), као и промена висине лета  $y$  и времена лета пројектила  $t$  за једну те исту  $x = \text{const.}$  ( $Mx$ ).

У различитим условима уочава се зависност између диференцијалних коэффициентата, тако да је за познате диференцијалне коэффициенте домета могуће одредити висине које на одређеном домету дају исте пертурбације.

За противоклопно, темпирно и противпешадијско гађање најзначајнији су диференцијални коефицијенти када је  $x=\text{const}$ , за гађање на домет битнији су диференцијални коефицијенти када је  $y=\text{const}$ , док су за гађање у противваздухопловној артиљерији најзначајнији диференцијални коефицијенти када је  $t=\text{const}$ .

Диференцијални коефицијенти могу се прорачунавати коришћењем више метода, од којих су најпознатије метода разлике, метода интеграције диференцијалних једначина варијације и метода сличности путања, што је детаљније објашњено у широј литератури.

### **3.3.2. Утицај појединих параметара на елементе путање пројектила**

**Утицај почетне брзине** најизразитији је када је у питању домет пројектила. Наиме, с обзиром да је параболном теоријом домет пројектила дефинисан изразом:

$$X = \frac{V_0^2}{g} \sin 2\theta_0 \quad (3.5)$$

као и да се диференцијални коефицијент почетне брзине добија диференцирањем:

$$\frac{\partial X}{\partial V_0} = \frac{\partial V_0^2}{\partial g} \sin 2\theta_0 = \frac{2X}{V_0} \quad (3.6)$$

из једначине 3.6. јасно је да ће почетна брзина имати директан утицај на домет.

**Утицај почетног угла** биће размотрен кроз диференцијални коефицијент почетног угла, који је дат следећим изразом:

$$\frac{\partial X}{\partial \theta_0} = 2 \frac{V_0^2}{g} \cos 2\theta_0 = 2 \frac{X}{\sin 2\theta_0} \cdot \cos \theta_0 = \frac{2X}{\text{tg} 2\theta_0} \quad (3.7)$$

Тако ће, на пример, за полазни угао  $\theta_0=45^\circ$  домет бити максималан:  $X = \frac{V_0^2}{g}$  (јер је

$\sin 2\theta_0 = \sin 90^\circ = 1$ ), док ће диференцијални коефицијент бити  $\frac{\partial X}{\partial \theta_0} = 0$ .

**Утицај балистичког коефицијента** ( $C = \frac{id^2}{m} \cdot 10^3$ ) је такав да са његовим порастом расте отпор ваздуха, као и балистички коефицијент  $Q_C$ . У ситуацијама када је мали полазни угао, отпор ваздуха не остварује толико велики утицај на смањење брзине пројектила, па је зато и утицај промене балистичког коефицијента мали према утицају почетне брзине, што је карактеристично и за мале почетне брзине.

Осим наведених параметара у литератури су детаљније објашњени утицај температуре барута (повећањем температуре барута повећава се и почетна брзина пројектила), затим утицај масе пројектила (повећањем масе пројектила за константно барутно пуњење доћи до смањења почетне брзине пројектила), као и утицај ветра, притиска и температуре ваздуха (значајни за вредности силе отпора ваздуха и успорење односно промену правца кретања пројектила).

### **3.4. ТЕОРИЈА ГРЕШАКА ПРИ НЕПОСРЕДНОМ ГАЂАЊУ**

#### **3.4.1. Појам и узроци грешака**

Приликом припреме за реализацију непосредног гађања, као и током самог извршења гађања постоји вероватноћа да ће доћи до настанка грешака.

Њихов настанак може бити условљен различитим и бројним узроцима. Једна од уобичајених подела узрока настанка грешака је подела на случајне, системске и грубе узроке.

**Случајни узроци** настају упркос нашим настојањима и намерама. Обично их има много, и н сваки од њих, појединачно, не остварује знатан утицај, али ако се сумирају - ови утицаји могу имати значајан утицај на настанак грешке и растурање погодака.

У ове узроке могу се урачунати сви утицаји који остају непримећени нашом перцепцијом услед несавршености наших чула или услед раније описаних разлога умора и исцрпљености посаде (односно нишанције). Посебно важне случајне грешке су грешке у одређивању даљине до циља, мерењу масе барутног пуњења при лабораторији муниције и слично.

**Системски узроци** настајања грешака и растурања погодака јесу они фактори који константно штетно утичу на прецизност ватре из неког објективног разлога, и не мењају се при истим условима гађања. Тако је, на пример, могуће да су елементи гађања прорачунати за нову цев тенковског топа а да се гађање реализује из похабане цеви.

**Груби узроци** за растурање погодака јесу грубе грешке као што су превиди који изазивају необично велика одступања у односу на средњи погодак. У грубе грешке обично се сврставају грешке изазване људским фактором, као што је претходно описана грешка нишанције тенка М84 при извршењу опаљења из тенковског топа, или грешке које могу настати услед функционалног квара СУВ током гађања. Овакве грубе грешке могу се предупредити једино квалитетном обуком, али и добром контролом и организацијом поступка гађања, као и свеобухватним основним и техничким одржавањем.

Најважније методе за смањење растурања погодака при гађању из тенковског топа на тенку М84 су:

- избор и сортирање муниције према услову исте серије,
- чување муниције под истим условима,
- правилно основно одржавање тенковског топа 125mm 2А46,
- правилно руковање тенковским топом 125mm 2А46 и СУВ-ом М84,
- придржавање одређеног режима ватре, ради равномерног оптерећења оруђа,
- релаксација посаде тенка (посебно нишанције) пред извршење борбеног задатка.

Сви раније наведени узроци растурања погодака не могу бити отклоњени, али могуће је, правилним избором метода, утицати на смањење растурања погодака. Такође, не може се унапред знати како ће наведени узроци деловати на лет пројектила, јер њихов утицај подлеже законитостима случајних процеса.

Из наведеног се може закључити да, без обзира на предузете мере, настајање грешака и растурање погодака, као њихова последица, представљају неизбежне појаве које се јављају код свих оруђа.

### 3.4.2. Нормални закон растурања

Све наведене грешке су по својој природи случајне и, као такве, подлежу одређеној законитости која постоји између вредности случајне грешке и вероватноће да ће се та вредност и појавити. Наведена законитост зове се *закон случајних грешака* или *нормални закон грешака (НЗГ)*.

Овај закон, познат и као Гаусов закон грешака, дефинисан је још 1809. године. Према њему, случајне грешке мерења имају закон расподеле који је дефинисан изразом:

$$P = f(\Delta) = \frac{k}{\sqrt{\pi}} e^{-k^2 \Delta^2} \quad (3.8)$$

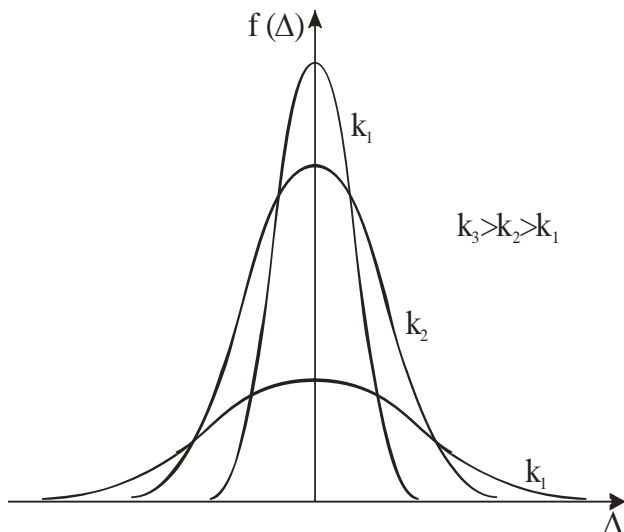
Особине криве густине грешака најбоље су дефинисане на слици 3.7, где је приказана фамилија графика  $f(\Delta)$ , у зависности од утицаја мере тачности ( $k$ ).

Израз 3.8. представља функцију која је ненегативна, парна (односно симетрична у односу на ординату), достиже максимум у тачки  $\Delta=0$ , има превојне тачке у  $\Delta=\pm\sigma$ , и готово све грешке ће се наћи унутар интервала  $(-3\sigma, +3\sigma)$ .

Вероватноћа да ће се грешка наћи у интервалу  $(a,b)$ , израчунава се решавањем одређеног интеграла:

$$\int_a^b f(\Delta) d\Delta \quad (3.9)$$

Пажљивом анализом израза за густину нормалне расподеле може се закључити да мера тачности ( $k$ ) јесте један од параметара који битно одређују криву грешке, тако што



Слика 3.7: Утицај мере тачности на криву густине

директно утиче на величину максимума криве нормалне расподеле.

На слици 3.7. може се видети да већим вредностима мере тачности одговарају стрмије криве густине нормалне расподеле, што значи да постоји мање растурање грешака него у случајевима када је мера тачности мања.

Мера тачности углавном се одређује опитом, а њена величина дата је изразом:

$$k = \sqrt{\frac{s-1}{2 \sum \Delta_i^2}} \quad (3.10)$$

У односу на средњи погодак, одступања могу бити по правцу и по висини (у вертикалној равни), односно по правцу и по даљини (у хоризонталној равни).

Уколико се растурање посматра у хоризонталној равни, погоци ће бити размештени унутар елипсе растурања чије ће полуосе бити  $v_d$  - вероватно скретање по даљини и  $v_p$  - вероватно скретање по правцу.

Уколико се растурање посматра у вертикалној равни, погоци ће бити размештени унутар елипсе растурања чије ће полуосе бити  $v_v$  - вероватно скретање по висини и  $v_p$  - вероватно скретање по правцу.

Притом, нормални закон растурања може се изразити кроз средњу вероватну грешку у односу на један правац (x, y или z), као што је дато у наредним изразима:

$$v_{(x)} = \frac{\rho}{v_d \sqrt{\pi}} \cdot e^{-\rho^2 \frac{x^2}{v_d^2}} \quad (3.11)$$

$$v_{(y)} = \frac{\rho}{v_v \sqrt{\pi}} \cdot e^{-\rho^2 \frac{y^2}{v_v^2}} \quad (3.12)$$

$$v_{(z)} = \frac{\rho}{v_p \sqrt{\pi}} \cdot e^{-\rho^2 \frac{z^2}{v_p^2}} \quad (3.13)$$

Осим тога, може се дефинисати и нормални закон растурања у односу на површину у хоризонталној, односно вертикалној равни, као што следи:

$$w_{(x,z)} = \frac{\rho}{v_d v_p \pi} \cdot e^{-\rho^2 \left( \frac{x^2}{v_d^2} + \frac{z^2}{v_p^2} \right)} \quad (3.14)$$

$$w_{(y,z)} = \frac{\rho}{v_v v_p \pi} \cdot e^{-\rho^2 \left( \frac{y^2}{v_v^2} + \frac{z^2}{v_p^2} \right)} \quad (3.15)$$

Уколико се израз, који се појављује у изразу за  $w_{(x,z)}$ , изједначи са  $i^2$ , може се написати:

$$\frac{x^2}{v_d^2} + \frac{z^2}{v_p^2} = i^2 \quad (3.16)$$

Односно, уз претпоставку да је  $i=1$  може се добити тзв. јединична елипса растурања, чије су полуосе  $v_d$  и  $v_p$ :

$$\frac{x^2}{v_d^2} + \frac{z^2}{v_p^2} = 1 \quad (3.17)$$

Слично се може добити и у другој равни, аналогним изједначавањем  $i^2$  са  $w_{(y,z)}$ .

Применом теорије вероватноће, према литератури [12], може се израчунати вероватноћа да ће падна тачка бити унутар елипсе растурања.

Уколико је елипса растурања јединична ( $i=1$ ), погодак ће се налазити у елипси растурања с вероватноћом од 20,3%, односно 0,203.

Уколико је елипса растурања са полуосама од по два вероватна скретања ( $i=2$ ), тада ће вероватноћа поготка који се налази у унутрашњој области елипсе растурања бити 59,7%, односно 0,597.

Даљим повећањем коефицијента  $i$ , и израчунавањем одговарајућих вероватноћа, добија се да је за  $i=2$  вероватноћа 59,7%, за  $i=3$  вероватноћа је 87,1%, а за  $i=4$  вероватноћа је 97,4%.

Може се закључити да ће се након извршеног гађања погодак са великом вероватноћом налазити унутар елипсе растурања у случају када је елипса растурања са полуосама од по четири вероватна скретања.

Када елипса растурања за полуосе има по пет вероватних скретања, вероватноћа да ће се погодак налазити унутар елипсе растурања тада износи 99,7%, односно 0,99661, што је готово сигуран догађај.

За потребе прорачуна у артиљерији вероватноћа од 97,4% је сасвим довољна за "сигуран" догађај, тако да се коришћењем теорије вероватноће, може формирати скала растурања, где свакој од осам колона одговара једно вероватно скретање, као што је приказано у Табели 3.1.

Табела 3.1.

2 %		7 %		16 %		25 %		25 %		16 %		7 %		2 %	
1	1	2,5	4,5	7	9	12	13	13	12	9	7	4,5	2,5	1	1

Главна особина погодака јесте средње (вероватно) скретање. Слично као што у процесу мерења средња мерна грешка одликује тачност тог мерења, средње (вероватно) скретање карактерише растурање погодака. Растурање ће бити онолико мање (а оруђе прецизније) колико је мање вероватно скретање у одређеном правцу.

Иако је растурање погодака случајан процес, и он подлеже одређеним статистичким законитостима као што су начело густине, начело симетрије и начело простирања.

*Начело густине* дефинише слику погодака тако да ће погоци бити гушће груписани око средњег поготка, односно њихова густина ће се смањивати што је удаљеност од средњег поготка већа.

*Начело симетрије* односи се на појаву да су погоци симетрични у односу на средњи погодак.

*Начело простирања* говори да је практично немогуће добити погодак ван слике растурања чије су полуосе интензитета четири вероватна скретања.

Величина вероватних скретања је последица различитих узрочних појава.

Вероватно скретање по даљини највише зависи од разлика у барутним пуњењима, разлика у полазним угловима и разлика у почетним брзинама. Вероватно скретање по правцу представља резултат збирног утицаја даљине гађања и почетне брзине, док је вероватно скретање по висини у функцији интензитета падног угла и вероватног скретања по даљини.

О значају предњег, задњег или бочног нагиба, који имају већи или мањи утицај на наведена вероватна скретања детаљно се може видети у литератури [12].

### **3.4.3. Грешке у припреми непосредног гађања**

Приликом припрема за отварање непосредне ватре из тенковског топа 125mm на тенку М84 потребно је извршити припреме почетних елемената за гађање. Припрема почетних елемената подразумева потпуну, скраћену или просту припрему.

Грешке потпуне припреме могу бити грешке које се односе на место циља ( $E_{xc}$ ,  $E_{yc}$ ), топографско-географске радове, балистичку припрему ( $E_{xb}$ ), метеоролошку припрему ( $E_{xm}$ ,  $E_{ym}$ ), таблице гађања, заокруживање, техничку припрему или обраду података, од чега ће бити размотрене оне грешке које директно утичу на непосредно гађање тенковским топом.

Код тенка М84 мерење даљине врши се ласерским даљиномером који се налази на дневно-ноћној нишанској справи ДННС-2. С тим у вези, грешке места циља ( $E_{xc}$ ,  $E_{yc}$ ) износе од 5 до 10 m (за грешку по даљини -  $E_{xc}$ ), односно 0,2%  $D_{os}$  (за грешку по правцу -  $E_{yc}$ ).

Грешке у вршењу балистичких припрема ( $E_{xb}$ ) односе се на одређивање следећих грешака:

- грешке одређивања почетне брзине ( $E_{xv0}$ ), које се процењују на износ од  $0,2 \pm 0,7\%$  вредности почетне брзине,
- грешке у мерењу температуре барутног пуњења ( $E_{xtb}$ ), које за дводелни метак износе око 1,2% стварне температуре барутног пуњења, и
- грешке ознаке масе пројектила ( $E_{xmp}$ ), које нису веће од 0,7% укупне масе пројектила.

У том смислу, могуће је израчунати укупну грешку балистичке припреме:

$$E_{xb} = \sqrt{E_{xv0}^2 + E_{xtb}^2 + E_{xmp}^2} \quad (3.18)$$

Тенк М84 има метеоролошки сензор који омогућава директно прикупљање метеоролошких података са бојишта, који се односе на притисак и температуру ваздуха, као и податке о бочном и уздужном ветру.

Грешке у метеоролошкој припреми ( $E_{xm}$ ,  $E_{ym}$ ) односе се на грешке које се тичу мерења притиска ваздуха и температуре ваздуха, као и грешке мерења уздужног и бочног ветра.

### **3.4.4. Ефикасност непосредног гађања**

Ефикасност непосредног гађања представља степен постигнутог дејства на циљу, након отварања ватре, и постиже се у зависности од квалитета испуњености више чинилаца:

- балистичке карактеристике путање пројектила,
- прецизност оруђа ( $v_d$ ,  $v_p$ ,  $v_v$ ),
- брзина гађања,
- тачност припреме почетних елемената и
- ефикасност дејства пројектила на циљу.

Као што је представљено у теоретским основама примене вероватноће у артиљерији, погодак и промашај представљају супротне догађаје, тако да се вероватноћа поготка барем једним пројектилом може представити изразом:

$$p_I = 1 - (1 - p)^n \quad (3.19)$$



Овде  $p$  представља вероватноћу поготка циља, а  $n$  је број испалених метака.

У наведеном случају могуће је одредити и утрошак испалених пројектила да би се добио барем један погодак уколико је унапред одређена сигурност тог догађаја ( $P_s$ ):

$$n = \frac{\log(1 - P_s)}{\log(1 - p)} \quad (3.20)$$

### **3.5. ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ПРОРАЧУНА РАСТУРАЊА И ВЕРОВАТНОЋЕ ПОГОТКА**

Приликом непосредног гађања поткалибарном муницијом из тенковског топа 125mm на тенку М84, а имајући у виду разантну путању пројектила, гађање се реализује у вертикалну мету, која обично представља неки непријатељски тенк.

У складу са наведеним, а за потребе прорачуна вероватноће погађања, из литературе [13] преузете су димензије тенка Т-72, који ће представљати тродимензионални циљ. Прорачун вероватноће погађања оваквог просторног циља, према [1], сведен је на одређивање вероватноће погађања површинског циља изведених димензија.

За прорачун вероватноће погађања коришћено је програмско решење TVERP, чија је примена детаљно објашњена у литератури [14]. Прорачун елемената путање у TVERP-у обавља се интегрисањем диференцијалих једначина кретања пројектила са три степена слободе кретања, уз коришћење методе Рунге - Кута. Сам програм TVERP написан је у програмском језику FORTRAN и сачињен од шест потпрограма и једног функцијског потпрограма.

На слици 3.8. приказан је алгоритам програма TVERP.

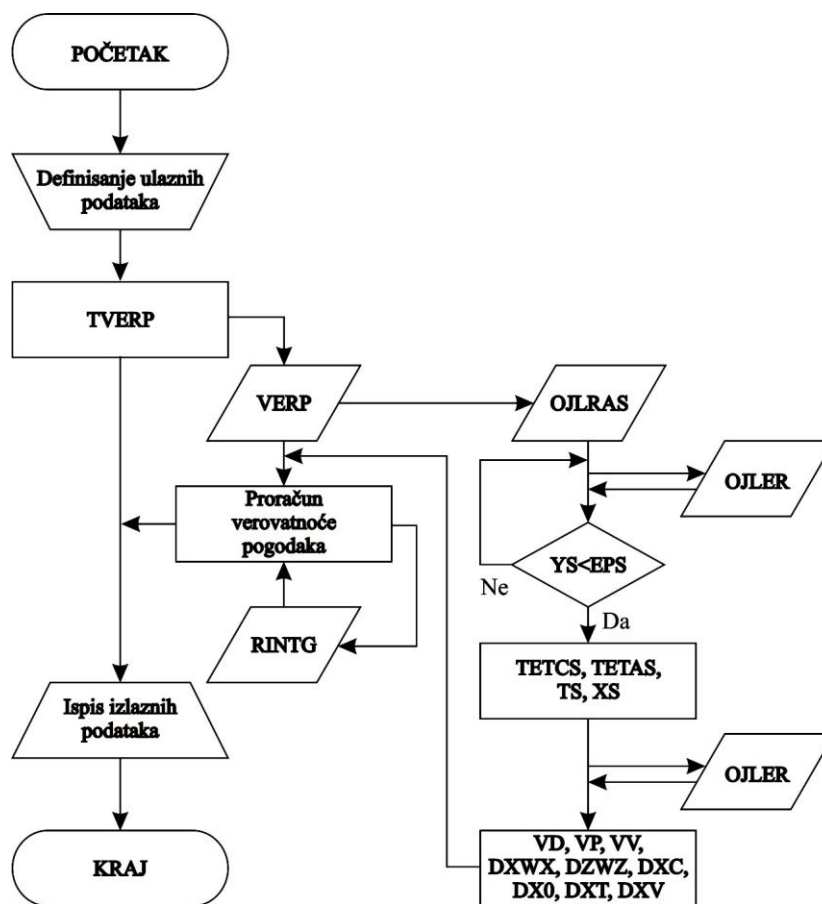
Програм TVERP конципиран је кроз главни програм, улазну датотеку и две излазне датотеке. Пре извршења програма у улазну датотеку VERP.DAT убацивани су подаци у два реда. У првом реду налазе се: почетна брзина, балистички коефицијент, вероватно одступање почетне брзине, вероватно одступање полазног угла, вероватно одступање балистичког коефицијента и вероватно одступање угла скретања. У другом реду улазне датотеке налазе се: број даљина, почетна даљина, прираштај даљине, висина циља, дубина циља и ширина циља.

Након извршења програма TVERP, излазни подаци уписују се у табеларном облику у излазне датотеке VERP.IZL и VERPDK.IZL.

Квантитативни износи величина улазне датотеке VERP.DAT одређивани су у складу са даљинама гађања, при чему су коришћени подаци из литературе [1], као и искуствено-емпиријски подаци Техничког опитног центра [15], Војнотехничког института [16] и Војне академије [17].

Балистички коефицијент (СЕ) је спољнобалистичка карактеристика која показује специфичност сваког пројектила, у зависности од његовог коефицијента облика, калибра и масе. Одређује се гађањем, у функцији почетне брзине пројектила и његовог полазног угла.

За одређивање балистичког коефицијента у овој дисертацији коришћена је табела еталон аеродинамичких коефицијената, из литературе [1], при чему је вршено усредњавање вредности коефицијената у односу на одговарајуће износе Маховог броја.



Слика 3.8: Алгоритам програмског решења TVERP

У табели 3.2. приказан је изглед карактеристичне улазне датотеке, док је збирни приказ свих улазних датотека, које су коришћене током израчунавања растурања и вероватноћа погађања при гађању на различитим даљинама, дат у Табели 3.5. Табеларни резултати извршавања програма TVERP дати су у Прилогу 9.

Табела 3.2.

САДРЖАЈ ДАТОТЕКЕ	Први ред - ознаке величина у програму					
	VI	CE	RV0	RT0	RC	RPSI
	Други ред - ознаке величина у програму					
VERP.DAT	NX	XP	DX	HC	DC	LC
Први ред	1800	0,625	6	0,25	0,02	0,25
Други ред	20	100	200	2,19	6,91	3,37

Након опаљења и изласка поткалибарног пројектила из цеви тенковског топа, током његовог лета ка циљу вредности Маховог броја мењају се у распону од 5,3 до 4,1, у складу са вредностима које су дате у Табели 3.3.

Табела 3.3.

	Даљина гађања [m]				
	на устима цеви	1000	2000	3000	4000
Брзина пројектила [m/s]	1800	1693	1591	1497	1407
Махов број	5,3	4,9	4,7	4,4	4,1

Приликом одређивања вредности наведених у Табели 3.3. преузети су подаци из литературе [1] и [11], а за брзину звука коришћена је приближна вредност од 340 [m/s].

За потребе прорачуна вероватноће погађања, а на основу вредности Маховог броја, одређене су четири вредности балистичких коефицијената (за даљине гађања до 1000 m, до 2000 m, до 3000 m и до 4000 m), које су приказане у Табели 3.4.

Ради лакшег увида у начин прорачуна, у истој табели направљен је и преглед коришћених еталон коефицијената, преузетих из литературе [1], као и израчунате средње вредности балистичких коефицијената, за наведена четири опсега даљина гађања.

Табела 3.4.

Махов број	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0
Еталон аеродинамички коефицијенти	0,448	0,44	0,432	0,424	0,417	0,409	0,402	0,396	0,389	0,383
Балистички коефицијент до 1000 [m]									0,386	
Балистички коефицијент до 2000 [m]								0,389		
Балистички коефицијент до 3000 [m]					0,393					
Балистички коефицијент до 4000 [m]	0,414									

### 3.5.1. Одређивање растурања погодака и вероватноће погађања

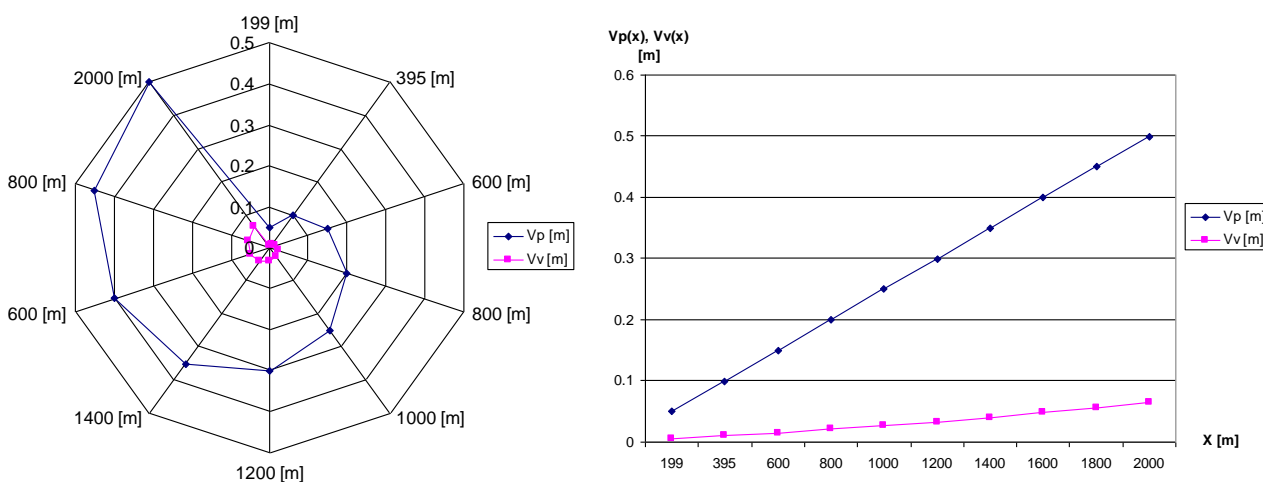
На основу описаног програмског решења реализован је прорачун и одређено растурање погодака и вероватноћа погађања тродимензионалног циља непосредним гађањем поткалибарним пројектилом 125 mm.

Уз уважавање начела у одређивању појединих улазних величина, образложених у тачки 3.5.1, у Табели 3.5. изложен је заједнички приказ свих улазних датотека које су коришћене током извршавања програма TVERP.

Табела 3.5.

Улазне датотеке за поједине даљине гађања	Први ред улазне датотеке						Други ред улазне датотеке					
	VI [m]	CE	RVO [m]	RT0 [hilj]	RC	RPSI [hilj]	NX [m]	XP [m]	DX [m]	HC [m]	DC [m]	LC [m]
До 1000 m	1800	0,386	6	0,25	0,02	0,25	10	100	100	2,19	6,91	3,37
До 2000 m	1800	0.389	6	0,25	0,02	0,25	10	200	200	2,19	6,91	3,37
До 3000 m	1800	0,393	6	0,25	0,02	0,25	10	300	300	2,19	6,91	3,37
До 4000 m	1800	0,414	6	0,25	0,02	0,25	10	400	400	2,19	6,91	3,37

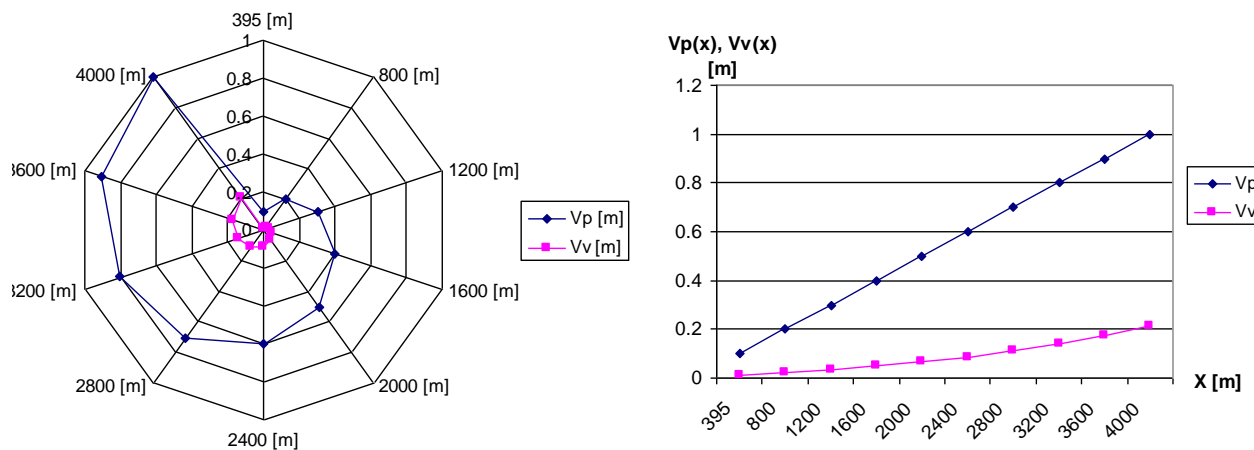
На сликама 3.9 и 3.10. графички су приказане зависности растурања по висини и по правцу на даљинама до 2000 m, односно до 4000 m, респективно.



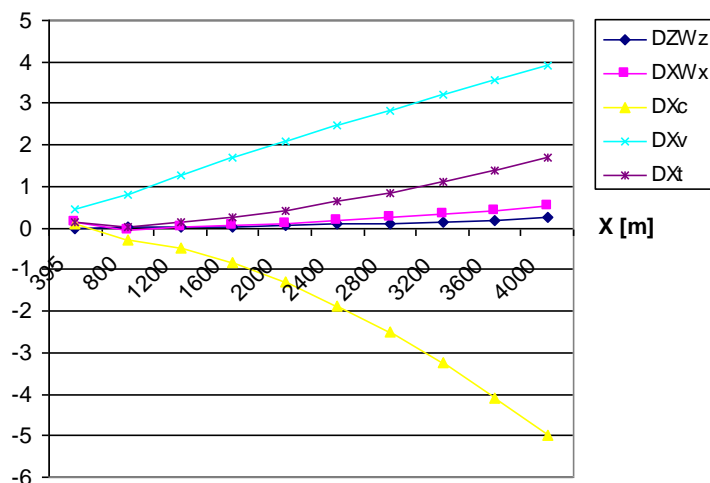
Слика 3.9: Зависност растурања по висини и по правцу на даљинама до 2000 m

Осим приказаног одређивања зависности растурања, програмско решење TVERP омогућава и прорачун диференцијалних коефицијената.

У складу са тим, на слици 3.11. графички је приказана промена диференцијалних коефицијената за поткалибарни пројектил 125 mm, при гађању на даљинама до 4000 m.



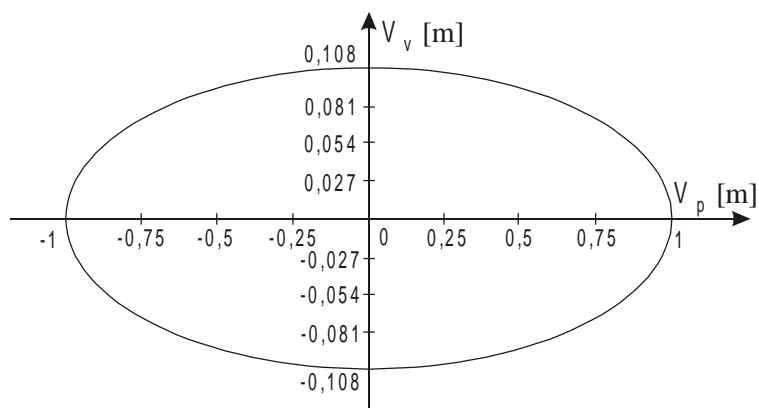
Слика 3.10: Зависност растурања по висини и по правцу на даљинама до 4000 m



Слика 3.11: Промена диференцијалних коефицијената за поткалибарни пројектил 125 mm

На основу резултата програмског решења TVERP могу се формирати елипсе растурања погодака ради процене да ли ће се погоци налазити у унутрашњој или спољашњој области наведене елипсе. Притом се лоцирање погодака унутар или ван елипсе растурања може одредити са унапред одређеном вероватноћом појаве догађаја.

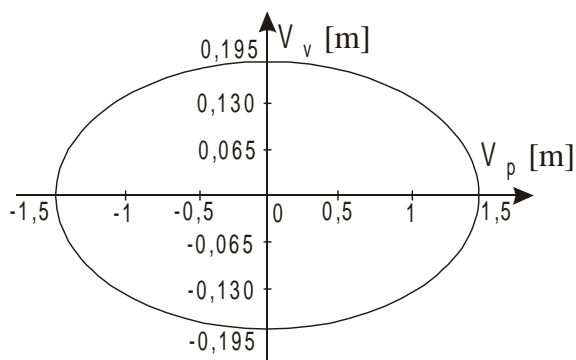
У складу са тим, на слици 3.12. дата је елипса растурања погодака при гађању поткалибарним пројектилом на 1000 m, са полуосама од по четири вероватна скретања по висини и по правцу.



Слика 3.12: Елипса растурања при гађању поткалибарним пројектилом на 1000 m

Сходно теорији вероватноће, као и наводима из литературе [12], то значи да ће се погоци приликом наведеног гађања налазити у унутрашњој области дате елипсе, и то са вероватноћом од 97,4%.

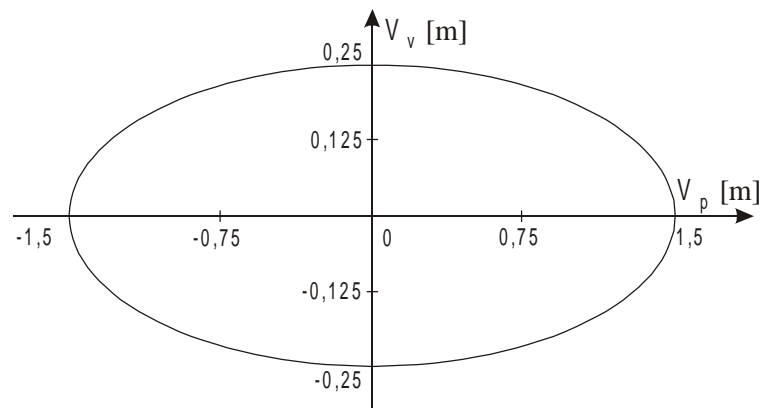
На слици 3.13, с друге стране, дата је елипса растурања погодака при гађању поткалибарним пројектилом на 2000 m, са полуосама од по три вероватна скретања по висини и по правцу.



Слика 3.13: Елипса растурања при гађању поткалибарним пројектилом на 2000 m

Значи, погоци при наведеном гађању наћи ће се у унутрашњој области приказане елипсе са вероватноћом од 87,1%.

Најзад, на слици 3.14. приказана је елипса растурања добијена за гађање поткалибарним пројектилом на даљини од 3000 m, чије полуосе износе по два вероватна скретања по висини и по правцу.



*Слика 3.14: Елипса растурања при гађању поткалибарним пројектилом на 3000 m*

За дату елипсу растурања карактеристично је да ће се погоци при гађању на наведеној даљини наћи у њеној унутрашњој области са вероватноћом од 59,7%.

## **4. УЛОГА СИСТЕМА ЗА УПРАВЉАЊЕ ВАТРОМ М84 ПРИ НЕПОСРЕДНОМ ГАЂАЊУ ТЕНКОВСКИМ ТОПОМ**

Систем за управљање ватром на тенку М84 (СУВ М84) изузетно је комплексан и одликује га висок степен интегрисаности компоненти, подсклопова и склопова током решавања проблема сусрета пројектила и циља при непосредном гађању.

Општи опис СУВ М84 представљен је у Прилогу дисертације, а у наставку текста укратко ће бити изложена његова улога, у обе равни навођења, са акцентом на режиму "Стабилизација", као најефикаснијем режиму рада у сложеним борбеним условима.

### **4.1. ПРИНЦИП РАДА СУВ М84 У ВЕРТИКАЛНОЈ РАВНИ НАВОЂЕЊА**

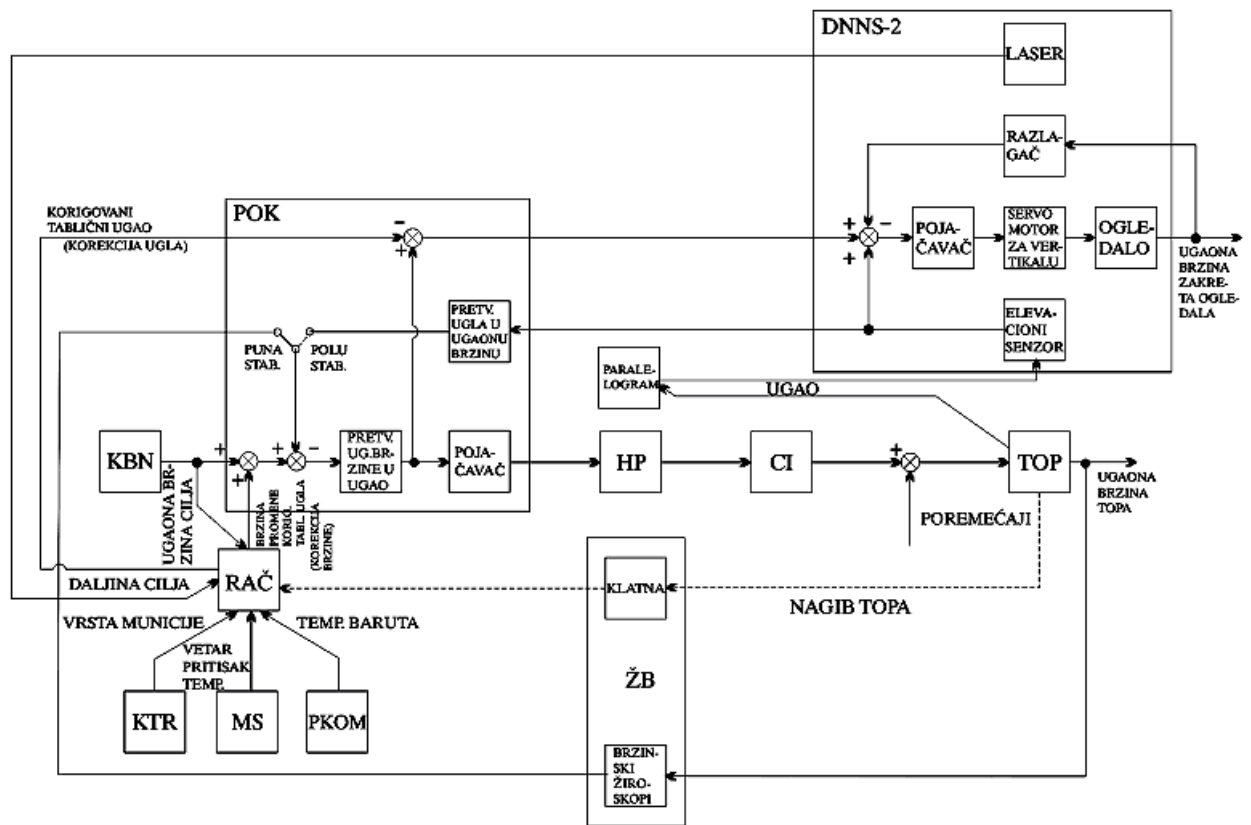
У вертикалној равни навођења нишанција управља покретањем нишанске линије (посредством дневно-ноћне нишанске справе ДННС-2), али и оруђа, тј. цеви тенковског топа и спрегнутог митраљеза. Управљање је одређено закретањем ручица командног блока нишанције око хоризонталне осе која је нормална на осу оруђа. Притом, угаона брзина подизања или спуштања оруђа пропорционална је величини закрета ручица командног блока нишанције.

Навођење нишанске линије у вертикалној равни независно је од навођења оруђа, што се постиже радом електро-мотора и разлагача сервоа елевације нишанске справе који, преко повратне спреге система аутоматске регулације, управљају огледалом нишанске справе у вертикалној равни.

Код навођења оруђа у вертикалној равни, уз електрични сигнал (пропорционалан величини закрета ручица командног блока нишанције) у систему аутоматске регулације, а због повећања вероватноће поготка, употребљава се и рачунар, чије је коришћење условљено применом балистичких прорачуна, ради увођења следећих величина:

- температура барута (сигнал с панела командира, прослеђен са сензора температуре барута),
- температура ваздуха (сигнал са метео-сензора),
- уздужни и бочни ветар (сигнал са метео-сензора),
- притисак ваздуха (сигнал са метео-сензора),
- даљина до циља (унос се врши аутоматски, преко дневно-ноћне нишанске справе ДННС-2, или ручно, на командном блоку нишанције),
- брзина циља у односу на борбено средство (сигнал из командног блока нишанције),
- врста муниције којом се гађа (ручни унос на контролној табли рачунара и на пулту управљања аутомата за пуњење топа) и
- бочни нагиб (сигнал с клатна из жиро-блока).

При кретању тенка по земљишту, долази до њихања у вертикалној равни, чиме се топ одводи из задатог положаја. Истовремено, у режиму "Стабилизација" долази до стварања сигнала грешке дејством жироскопа у жиро-блоку. Овај сигнал појачава се у појачавачкој кутији и прослеђује у хидропојачавач у вертикалној равни навођења. Одмах следи акција корекције положаја топа дејством хидрауличког цилиндра. Оног тренутка када се, дејством цилиндра, изгуби сигнал грешке у жироскопу, окончаће се и кориговање положаја топа.



Слика 4.1: Блок шема принципа рада СВВ М84 у вертикалној равни навођења, преузета из [18]

У режиму "Полустабилизација" сигнал грешке формира се преко елевационог сензора који преноси покрете са топа дејством паралелограма.

Активирање и рад хидропојачавача и хидрауличног цилиндра условљено је постојањем притиска на тзв. длан-прекидаче командног блока нишанције. Уколико длан-прекидачи нису притиснути, наступиће хидрауличка блокада система, што се манифестује кроз блокирање рада извршног хидрауличног цилиндра једноставним затварањем хидрауличне течности у коморама цилиндра (дејством електромагнета блокирања).

Осим у наведеној ситуацији, постоји још неколико случајева хидрауличног блокирања топа и његовог фиксирања у вертикалној равни навођења, а ради заштите и безбедности послуге тенка и то:

- после извршења опаљења, а за време трзања трзајуће масе,
- при укључивању прекидача за избор начина рада на пулту управљања или пулту пуњења аутоматског пуњача у положај РУЧ (ручни режим рада),
- при пребацивању преклопника за избор врсте муниције аутоматског пуњача у положај ПОПУНА, при чему се топ доводи у зону угла пуњења ( $4^\circ \pm 1,5^\circ$ ),
- при утврђеном топу електромеханичким утврђивачем топа,
- при процесу аутоматског пуњења топа, када је топ у зони угла пуњења, и ако притом, услед осцилација око угла пуњења, топ изађе из те зоне, и
- у случају да аутоматски пуњач није завршио комплетан циклус рада, па се рам и механизам за подизање касета нису вратили у своје почетне положаје, или, пак, није ухваћено данце метка након његовог опаљења.

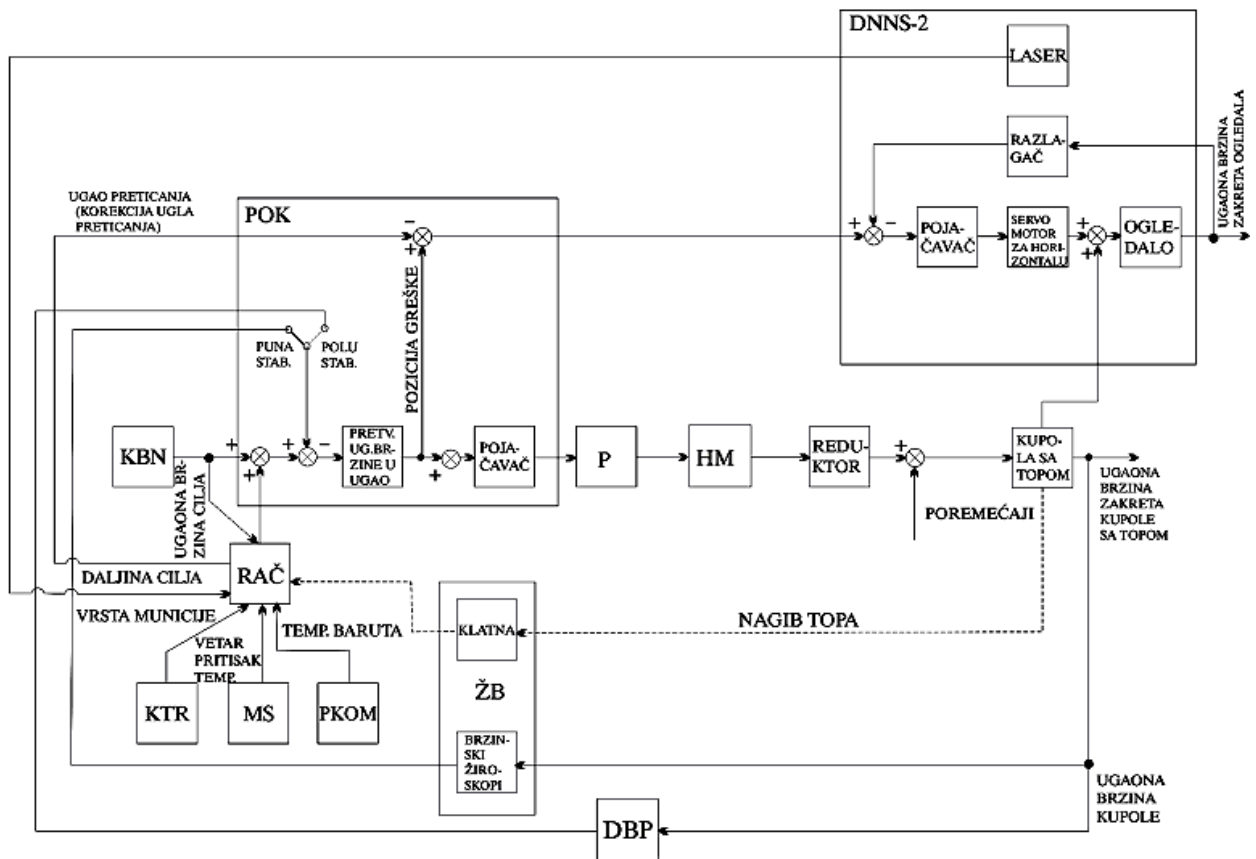


## 4.2. ПРИНЦИП РАДА СУВ М84 У ХОРИЗОНТАЛНОЈ РАВНИ НАВОЂЕЊА

Навођење у хоризонталној равни извршава нишанција, закретањем ручица командног блока нишанције око хоризонталне осе која је паралелна са осом цеви топа. Угаона брзина окретања куполе пропорционална је величини закрета командног блока нишанције. Као и код навођења у вертикалној равни, и овде је остварена независност нишанске линије у односу на навођење куполе у хоризонталној равни.

Исти подаци који се уводе у рачунар при навођењу у вертикалној равни, користе се и при навођењу у хоризонталној равни, с тим што се у хоризонталној равни ти подаци користе за прорачун тачке претицања. У том случају долази до релативног кретања између тенка и циља, па тако и до отклона правца осе цеви топа од нишанске линије. Ово отклањање компензује се покретањем огледала нишанске справе у супротну страну, чиме се чува независност нишанске линије.

При кретању тенка долази до одступања стварног од задатог положаја, услед трења у котрљајућем лежају куполе, што коначно резултује стварањем електричног сигнала грешке. Овај сигнал може потицати из жиро-блока (у режиму "Стабилизација"), или из давача брзине по правцу (у режиму "Полустабилизација"), што се може видети на слици 4.2.



Слика 4.2: Блок шема принципа рада СУВ М84 у хоризонталној равни навођења, преузета из [18]

Створени сигнал грешке појачава се у појачавачкој кутији, и потом иницира рад хидростатичког преносника снаге. Електрохидраулички сервоизводник хидрауличке пумпе трансформише електрични сигнал у хидраулички, након чега долази до његовог појачавања у двостепеном хидропојачивачу. Хидраулична енергија побуђене хидрауличке аксијалне клипне серво-пумпе претвара се затим на излазу хидромотора у механичку енергију - обртни

момент који покреће куполу тенка. На тај начин долази до анулирања сигнала грешке, а тиме и до корекције положаја куполе.

Ради повећања брзине дејства, као и тачности погона хоризонталног навођења, у рад хидростатичког преносника снаге укључен је и индуктивни давач притиска, који преко повратне спреге у систему аутоматске регулације даје сигнал пропорционалан притиску на излазу из хидрауличне пумпе ка хидромотору.

Хидрауличка блокада система (у циљу заштите и безбедности послуге тенка) постоји и у хоризонталној равни навођења, и то у следећим случајевима:

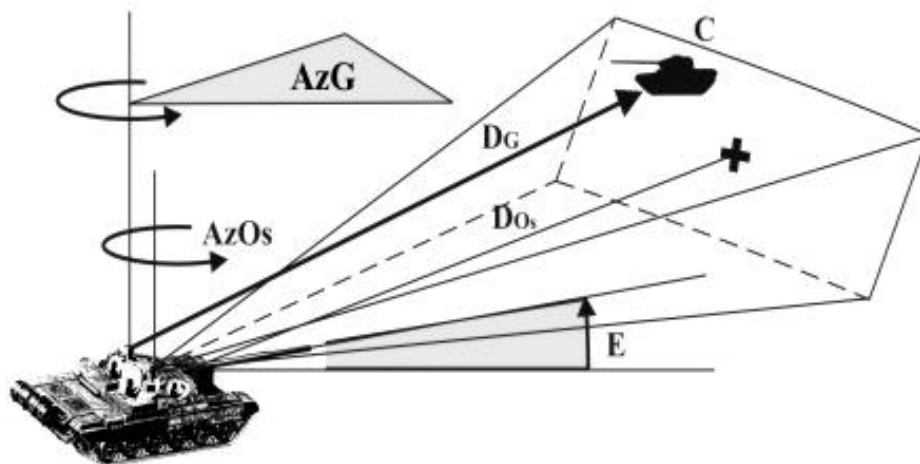
- отпуштени длан-прекидачи (искључује се погон хоризонталног навођења, без искључења хидрауличке серво-пумпе, и купола се електромагнетом фиксира за тенк),
- прекидачи за избор начина рада на пулту управљања или пулту пуњења аутомата за пуњење топа су пребачени из положаја АУТ (аутоматски режим рада) у положај РУЧ (ручни режим рада),
- отворен је поклопац отвора возача и
- купола тенка је механички закочена утврђивачем куполе.

При разматрању рада СУВ у хоризонталној равни навођења мора се указати и на постојање утицаја нагиба борбеног средства. У том случају, угаоне брзине праћења циља у нагнутом координатном систему не одговарају компонентама угаоне брзине праћења циља у хоризонталном координатном систему. Стога се угао нагиба између хоризонталне осе  $x$  и нагнуте осе  $x'$  сматра поремећајном величином која се мора компензовати.

Наведени проблем решен је програмски тако што софтвер рачунара прерачунава све потребне податке у односу на информацију о углу нагиба тенка која се добија са клатна у жироблоку.

#### 4.3. ЛИНИЈА ОСМАТРАЊА И ЛИНИЈА ГАЂАЊА У РЕЖИМУ "СТАБИЛИЗАЦИЈА"

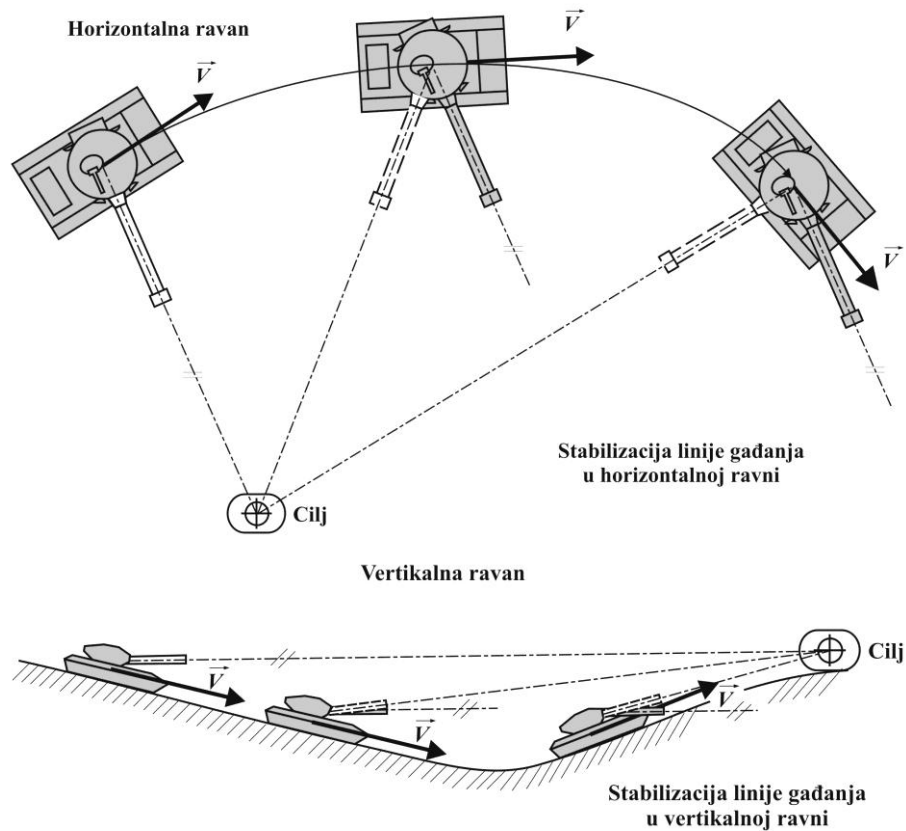
Решавање проблема сусрета пројектила и циља при непосредном гађању тенковским топом представља захтеван задатак који је условљен сложеном ситуацијом на бојишту и мноштвом наметнутих услова – како оних који су предвиђени решавањем овог проблема, тако и поремећајима који угрожавају његово оптимално решење.



Слика 4.3: Линија осматрања и линија гађања

На слици 4.3. (преузето из литературе [19]) приказани су азимут осматрања и азимут гађања тенковским топом у хоризонталној равни навођења. Може се видети да тенк, као специфична артиљеријска борбена платформа, обједињава више различитих функција – осматрање циља, праћење циља, прорачун елемената гађања и њихово аутоматско заузимање и, на крају, отварање ватре.

Током осматрања бојишта нишанција или командир тенка уочавају потенцијалне циљеве и врше њихову селекцију. Притом командир тенка има приоритет у одлучивању, тако да он (коришћењем своје дневно-ноћне командирске справе ДНКС-2, у режиму рада "Аквизиција") може указати нишанцији на најрентабилнији циљ. У том случају, купола се окреће по азимуту максималном угаоном брзином, све док се не покlope осе нишанских справа командира и нишанције, односно док нишанција у окулару своје нишанске справе не уочи циљ на који му указује командир.



Слика 4.4: Стабилизација линије гађања и пренос ватре у хоризонталној и вертикалној равни

Након уочавања и селекције циља, нишанција врши "ласеровање" циља, тј. мерење даљине до циља ласерским даљиномером ( $D_{Os}$ ). У складу са описаним принципима рада, балистички рачунар одређује елементе за отварање ватре у обе равни навођења и прорачунава даљину гађања ( $D_G$ ).

Такође, у вертикалној равни навођења, сабирају се месни угао циља  $S$ , таблични угао гађања  $T$  и прорачунате поправке тако да тенковски топ аутоматски заузима угао елевације  $E$  (дејством хидрауличког цилиндра). У хоризонталној равни навођења СУВ самостално или спрегнуто са азимутом осматрања прорачунава поправке и одређује угао азимута линије гађања тако да се купола позиционира у складу са прорачунатим елементима (дејством хидромотора).

У оба случаја (и у вертикалној и у хоризонталној равни навођења) прорачун елемената и коректура положаја врши се континуално и аутоматски, тако да се истовремено врши стабилизација, а током гађања и тзв. пренос ватре, што је приказано на слици 4.4. (преузето из литературе [19]).

Такође, у циљу адекватног управљања и преноса ватре, током кретања тенка по бојишту континуално се решавају задатак стабилизације месног угла циља (односно стабилизације линије нишањења) и задатак постизања одређене почетне брзине пројектила (као задатак унутрашње балистике) - и то за услове различитог атмосферског притиска, као и задатак корекције гађања при нагибу ослоних рамена цеви тенковског топа.

Осим наведеног, мора се указати на специфичности рада хидрауличких извршних органа при навођењу односно стабилизацији, јер је посебно интересантна њихова "двострука улога" у тим режимима рада.

У претходним разматрањима објашњен је принцип рада СУВ М84 у обе равни навођења, укључујући функционисање извршних хидрауличких органа (хидраулички цилиндар и хидромотор) као делова хидростатичких преносника снаге у вертикалној и хоризонталној равни навођења.

Наиме, како је већ описано, нишанција задаје управљачки сигнал СУВ-у (окретањем ручица свог командног блока) ради заузимања одређеног (жељеног) положаја цеви тенковског топа у вертикалној, односно тенковске куполе и топа у хоризонталној равни навођења. Након тога, хидростатички преносници снаге те управљачке сигнале претварају у хидрауличну, а потом и у механичку енергију (силу односно обртни момент) која извршава позиционирање оруђа односно куполе и њихово довођење у жељени положај.

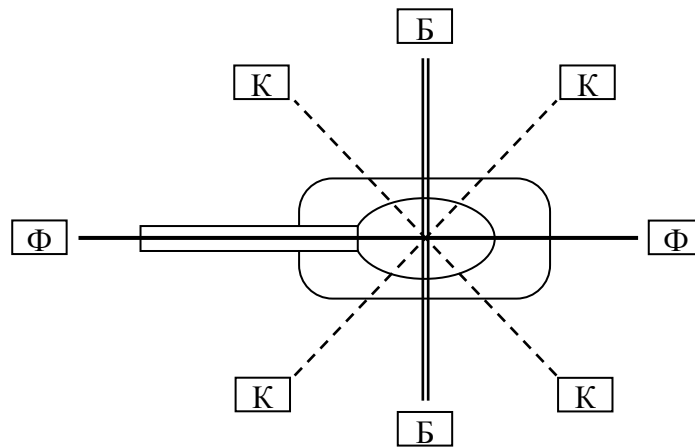
Међутим, уколико дође до покретања тенка у вертикалној или хоризонталној равни, у жиро-блоку СУВ-а региструје се угаони сигнал грешке (разлика између жељеног и стварног положаја). Након настанка, тај електрични сигнал грешке се појачава да би, на крају, на извршном хидрауличком органу (хидраулички цилиндар или хидро-мотор) био генерисан стабилизациони сигнал који ће у крајњем компензовати насталу грешку, тако да ће цев тенковског топа односно купола тенка бити враћени у жељени положај.

#### **4.4. УТИЦАЈ МЕЂУСОБНОГ ОДНОСА ТЕНКА И ЦИЉА НА РЕЗУЛТАТЕ ГАЂАЊА**

Гађање из тенковског топа јесте веома комплексан задатак који при решавању проблема сусрета пројектила и циља, поред испуњавања раније поменутих балистичких задатака, мора да омогући и компензовање свих поремећаја који могу утицати на резултате гађања, при чему је још примарног значаја, према [20], да ли се циљ креће или мирује.

Уколико је циљ непокретан, као и тенк из којег се отвара ватра то ће бити једини случај када при гађању нема потребе за заузимањем претицања, док ће у свим осталим случајевима (тенк у покрету гађа циљ који мирује или тенк у покрету гађа циљ који се креће) претицање бити неопходно.

Осим тога, битно је какав је међусобни положај између циља и тенка који извршава гађање, што зависи од врсте кретања циља, па се тако може дефинисати фронтално, бочно и косо кретање циља [19], на основу чега се може установити истоветна подела гађања, која је шематски приказана на следећој слици.



Слика 4.5: Правци фронталног, бочног и косог гађања на тенк као циљ

Емпиријски подаци говоре да се при гађању циља који се креће фронтално или косо, брзином већом од 15 km/h, мора урачунати грешка мерења домета, као и претицање по углу вектора почетне брзине пројектила. У том случају, измерени домет  $D$  потребно је смањити (за случај приближавања циља), односно повећати (за случај удаљавања циља), и то за износ  $\Delta D$ .

Услед релативно велике удаљености при гађању, усвајају се следеће апроксимације:

$$D_{ts} \approx D_p = D_{os} \pm \Delta D, \text{ и}$$

$$\Delta D = S \cos q = v_c t_p \cos q, \text{ где су:}$$

$S$  – пређени пут циља од нишањења и опаљења до тачке сусрета пројектила и циља,

$TS$  – тачка сусрета пројектила и циља,

$v_c$  – брзина циља,

$t_p = t_z + t_1$  – време претицања које се

састоји од заузимања елемената ( $t_z$ ) и времена лета пројектила до циља ( $t_1$ ) и

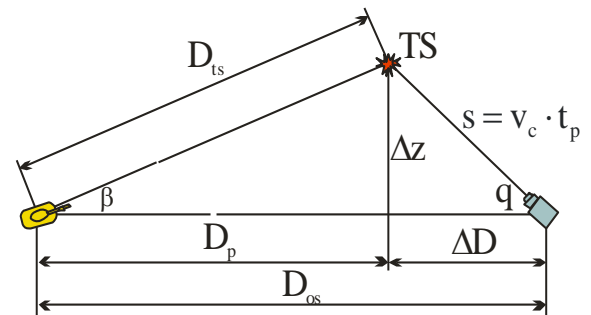
$q$  – угао курса циља.

Даљина до тачке сусрета пројектила и циља тада је:  $D_{ts} \approx D_p = D_{os} \pm v_c t_p \cos q$ , док је дужинска величина поправке правца гађања (која је условљена кретањем циља) дефинисана изразом:  $\Delta Z = v_c \cdot t_p \cdot \sin q$ .

У литератури [19] систематизовано је да се приликом гађања у вертикалној и хоризонталној равни, сви случајеви упрошћеног кинематског и балистичког решења, као и корекција њихових углова могу свести на следеће карактеристичне случајеве:

1. гађање непокретних циљева из кратког застоја тј. мировања,
2. гађање покретних циљева из мировања,
3. гађање непокретних циљева из покрета и
4. гађање покретних циљева из покрета.

Извршеном математичком анализом утврђена је веза између домета тј. даљине гађања, времена лета пројектила, коригованог табличног угла и угла елевације, почетне брзине пројектила и табличних балистичких коефицијената.



Слика 4.6: Грешке у одређивању елемената за гађање покретних циљева

Веза између времена лета пројектила Т и његовог домета Х дата је следећим изразом:

$$X = A_2 [A_1 T_1 + (V_{0M} - A_1)(1 - e^{-T_1})] \quad (4.1)$$

Решавање једначине 4.1. обично се изводи итеративним полиномима за познате табличне коефицијенте  $A_1$  и  $A_2$ , редуковано време лета пројектила  $T_1$  и стварне почетне брзине пројектила  $V_{0M}$ , при чему се у полиномској методи користи следећи облик функције:

$$1 - e^{-T_1} = \frac{T_1}{1 + L_1 T_1 + L_2 T_1^2} \quad (4.2)$$

, где су са  $L_1$  и  $L_2$  означени полиномски коефицијенти.

Заменом једначине 4.2. у једначини 4.1. добија се израз који успоставља везу између даљине гађања, времена лета пројектила и полиномских и балистичких коефицијената:

$$T^3 + \left[ \left( \frac{L_1}{L_2} \right) A_2 - \frac{X}{A_1} \right] T^2 + \left[ \frac{V_0}{L_2} \frac{A_2^2}{A_1} - \frac{L_1}{L_2} \frac{A_2}{A_1} X \right] T - \frac{A_2^2}{L_2 A_1} X = 0 \quad (4.3)$$

За циљ који се креће брзином  $V_C$ , и прати се угаоном брзином покретања цеви у вертикалној равни навођења  $\omega_{cy}$ , и то на даљини Х измереној ласерским даљиномером, дефинисан је укупни угао елевације цеви са претицањем:

$$\theta_0 = (A_{03} + A_4 T) \cdot T \cdot \frac{V_{0T}}{V_{0M}} \pm \omega_{cy} T \quad (4.4)$$

У горњој једначини појављује се коефицијент  $A_{03}$  који за руску поделу износи:

$$A_{03} = \frac{6000}{2\pi} \left( \frac{g}{2V_{0T}} \right). \text{ Такође, јавља се и стварна почетна брзина пројектила: } V_{0M} = V_{0T} + \Delta V_0,$$

док део израза  $\omega_{cy} T$  представља допунско претицање које потиче од праћења циља.

На овај начин успостављена је веза између угаоне брзине праћења циља током заузимања допунског угла претицања, са укупним углом коригованим претицањем. У исто време месни угао је коригован стабилизацијом и праћењем циља, којом приликом је одређена и даљина до циља. Такође, дефинисан је и однос времена лета пројектила и његовог домета, где су параметри гађања сведени на време лета пројектила, почетну брзину пројектила и табличне коефицијенте, као и да су сви наведени параметри повезани са даљином гађања.

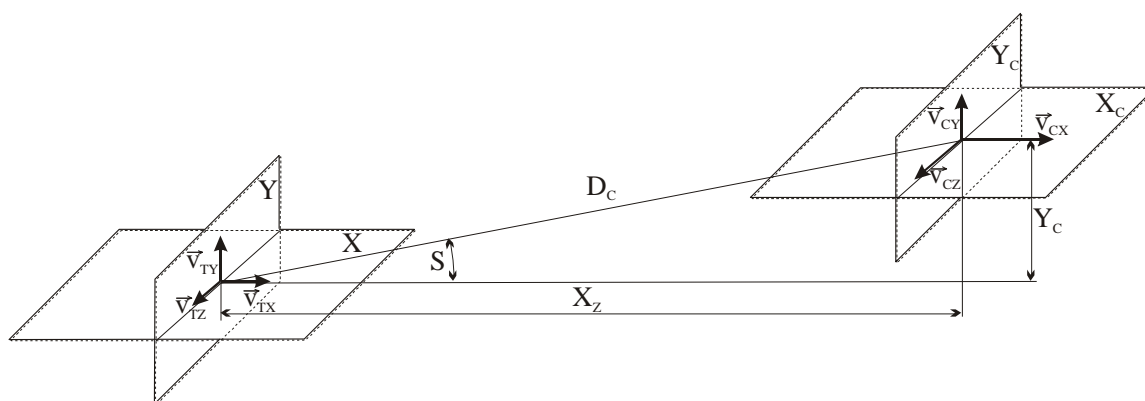
На овај начин, уз коришћење података о метео-билтену и кретању циља, могуће је остварити управљање тенковским топом у обе равни навођења, при гађању у свим атмосферским, земљишним и осталим условима који владају на бојишту. Наведено је могуће остварити уз дигитално-софтверско и процесорско-хардверско управљање извршним органима куполе и тенковског топа.

## 4.5. ДЕЈСТВО УТИЦАЈНИХ ФАКТОРА СУВ М84 НА ГРЕШКЕ ГАЂАЊА

### 4.5.1. Утицај мерења даљине на грешке гађања

Грешке које се јављају током гађања тенковским топом 125 mm 2А46 на тенку М84 су, највећим делом, условљене променом даљине гађања, односно разликом у растојањима између тенка и циља у тренутку мерења даљине, у тренутку опаљења и током претицања. У анализи грешака насталих при прорачуну елемената гађања тенковским топом полази се од математичких основа које се односе на положај циља у односу на тенк, као и на њихово релативно кретање.

Основа математичког модела на основу којег се врше прорачуни и решавање проблема сусрета пројектила и циља дефинисана је претходно, и налази се у балистичком рачунару тенка, а приказана је на слици 4.7.



Слика 4.7: Општи случај међусобног положаја тенка и циља и њиховог релативног кретања у тренутку опаљења тенковског топа

Током гађања нишанција прати циљ и мери даљину до циља ( $D_L$ ) уз коришћење ласерског даљиномера на справи ДНС-2, на основу чега се одређују угаоне брзине кретања циља. У исто време, у рачунар се учитавају подаци о температури барута, као и метеоролошки подаци који се мере метео-сензором (брзина уздужног и попречног ветра, температура и притисак ваздуха). Одређује се угао гађања по висини -  $\theta_0$  и угао гађања по правцу -  $\psi_0$ . Након што се оствари услов "капије ватре" могуће је извршити опаљење.

У том тренутку вектор почетне брзине пројектила биће усмерен у односу на наведене углове гађања по правцу и по висини, али ће у исто време бити и измењен јер је наступила промена вектора кретања тенка. Осим тога, и циљ ће променити свој положај, у зависности од сопствене брзине кретања, па је и то извор грешке која утиче на прецизност гађања.

СУВ М84 прорачунава елементе гађања на основу ласерски измерене даљине до циља, метеоролошких података, угаоних брзина циља и углова нагиба тенка.

Ласерски измерена даљина до циља може се представити следећим изразом:

$$|\vec{D}_L| = |\vec{D}_C + (\vec{v}_t - \vec{v}_c) \cdot t_L| \quad (4.5)$$

, где су:

-  $D_C$  - даљина до циља,

-  $v_t$  - брзина тенка

-  $v_c$  - брзина циља и

-  $t_L$  - временски период од тренутка "ласеровања" до тренутка опаљења

(за добро обученог нишанију ово време износи између 3 и 4 секунде)

Метео сензором мере се следећи метеоролошки подаци:

- $\Delta t_s = \Delta t$  - одступање температуре,
- $\Delta h_s = \Delta h$  - одступање притиска,
- $w_{zs} = -w_z + v_{tz}$  - попречни ветар и
- $w_{xs} = -w_x + v_{tx}$  - уздужни ветар.

Угаоне брзине циља по висини ( $\omega_y$ ) и по правцу ( $\omega_x$ ) могу се представити следећим изразима:

$$\omega_y = \frac{v_{cy} - v_{ty}}{X_C} - \frac{v_{tx} - v_{cx}}{X_C} \cdot \sin(S) \quad (4.6)$$

$$\omega_z = \frac{v_{cz} - v_{tz}}{X_C} \quad (4.7)$$

- где су:
- $v_{tx}, v_{ty}, v_{tz}$  - компоненте брзине тенка,
  - $v_{cx}, v_{cy}, v_{cz}$  - компоненте брзине циља,
  - $X_C$  - хоризонтална даљина до циља и
  - $S$  - месни угао циља.

#### 4.5.2. Утицај релативног кретања тенка и циља на грешке гађања

Тестирања која су реализована на Војнотехничком институту, и описана у литератури [21], показују да се у појединим ситуацијама поједине грешке могу практично занемарити. Ова констатација важи за гађање непокретног циља из тенка у месту, за гађање непокретног циља при бочном кретању тенка, за гађање из тенка у месту при бочном кретању циља и за гађање покретног циља из тенка у покрету, при бочним кретањима и тенка и циља.

Тестирања су изведена у комбинацији свих метеоролошких услова, и уз коришћење свих врста муниције. У наведеним случајевима грешке су мање од 10 cm за даљине гађања испод 2000 m, односно мање од 25 cm за даљине гађања између 2000 и 3000 m.

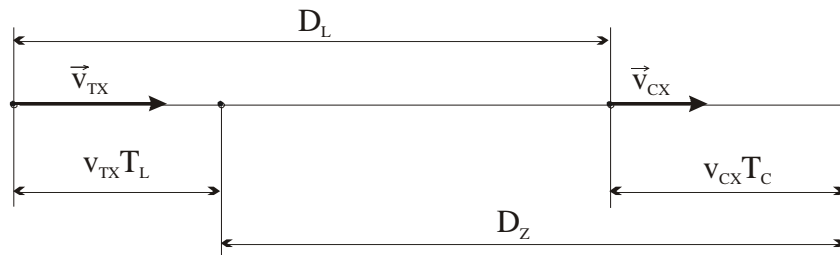
Исти закључак о величини грешке може се извести и када постоји месни угао циља а гађање се врши из тенка у месту, односно уколико су и циљ и тенк у покрету, и крећу се бочно.

Нешто другачија ситуација је када долази до промене даљине услед релативног кретања.

Приликом мерења даљине до циља ласерским даљинометром, а услед релативног кретања циља и тенка, доћи ће до појаве грешке. Разлог је то што до опаљења долази након времена  $t_L$  (време последњег "ласеровања"), и што се даљина стално мења од тренутка опаљења па све до сусрета пројектила и циља, у зависности од брзине циља.

Наведена ситуација приказана је на слици 4.8.





Слика 4.8: Грешка одређивања даљине до циља због релативног кретања тенка и циља

У наведеном случају ласерована даљина и даљина у тренутку сусрета пројектила и циља могу се изразити векторским једначинама:

$$\begin{aligned} \vec{D}_L &= \vec{D}_L - (\vec{v}_{cx} - \vec{v}_{tx}) \cdot t_L \\ \vec{D}_z &= \vec{D}_L + \vec{v}_{cx} \cdot t_c \end{aligned} \quad (4.8)$$

У складу са наведеним, пројектил ће бити испален под углом  $\Delta\theta_0$ . Наведени угао прорачунат је у зависности од смера и интензитета вектора брзина кретања тенка и циља.

Практична тестирања показују да грешке услед релативног кретања тенка и циља, које се односе на промену даљине до циља, могу бити значајне. Али, код поткалибарних пројектила, у складу са њиховим балистичким карактеристикама, наведене грешке нису критичне. Тако, на пример, на даљинама до 2000 m, грешка не прелази 15 cm при брзини кретања тенка од 5 m/s, а када се тенк и циљ крећу један другом у сусрет, грешка не прелази 23 cm.

Генерално, наведена практична испитивања могу се сликовито приказати у следећој табели.

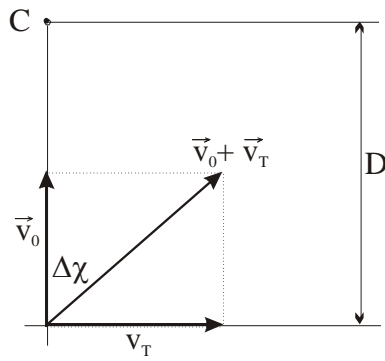
Табела 4.1.

Промена даљине [m/s]	2,5	5	7,5	10	15
Даљина мерења са највећом дозвољеном грешком од 0,5 m [m]	2400	1700	1400	1200	950

Први ред табеле представља промену даљине изражену кроз релативну брзину кретања циља и тенка, изражену у метрима у секунди. Други ред представља одређење даљине до циља, са унапред постављеном максималном грешком у мерењу од 0,5 m.

Уочљиво је да се прецизно мерење даљине до циља (уз наведену максимално дозвољену грешку) смањује са повећањем релативне брзине кретања тенка и циља.

Овде ваља напоменути да је промена даљине од 15 m/s у реалним ситуацијама могућа и честа, и представља случај када се тенк и циљ крећу један другом у сусрет појединачним брзинама од по 30 km/h.



Слика 4.9: Утицај бочног кретања тенка

Утицај кретања тенка на грешке донекле је компензован увођењем сензора ветра. Уколико се посматра слика 4.9, са векторским приказом почетне брзине пројектила, брзине тенка и даљине до циља, утицај бочног ветра може се дефинисати преко угаоне брзине:

$$\omega = \frac{v_t}{D} \quad (4.9)$$

На основу наведене угаоне брзине, СУВ М84 дефинише претицање:

$$\Delta\Psi_\omega = \frac{v_t}{D} \cdot t_c \quad (4.10)$$

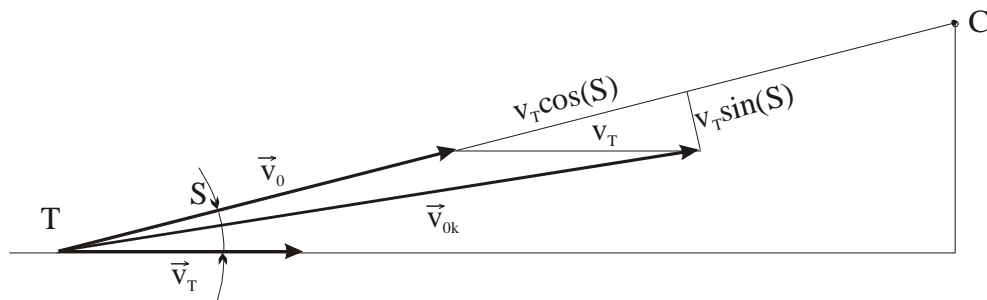
Даље се може писати да је:

$$\Delta\Psi_w = \frac{v_z}{D} \cdot \left( t_c - \frac{D}{v_0} \right) = -\frac{v_t}{D} \cdot \left( t_c - \frac{D}{v_0} \right) \quad (4.11)$$

Пошто укупно претицање износи:  $\Delta\Psi = \Delta\Psi_\omega + \Delta\Psi_w$ , може се писати и следећа једначина:

$$\Delta\Psi = -\frac{v_t}{D} \cdot t_c + \frac{v_t}{D} \cdot \left( t_c - \frac{D}{v_0} \right) \quad (4.12)$$

Када се тенк креће уздужно ка циљу који се налази под месним углом  $S$ , наведена ситуација може се приказати као на слици 4.10.



Слика 4.10: Утицај уздужног кретања тенка

Тада се ствара угаона брзина по висини:

$$\omega_y = \frac{v_t}{D} \cdot \sin(S) \quad (4.13)$$

Услед наведене угаоне брзине по висини настаје грешка претицања по висини:

$$\varepsilon_{\theta_{vt}} = \frac{v_t}{D} \cdot \sin(S) \cdot t_c \quad (4.14)$$

Осим тога, када пројектил напушта уста цеви топа, полазни угао се смањује за износ:

$$\varepsilon_{\theta_{wx}} = -\frac{v_t}{v_{0k}} \cdot \sin(S) \quad (4.15)$$

Најзад, може се писати укупна грешка у наведеном случају, која је изражена кроз:

$$\varepsilon_0 = \frac{v_t}{D} \cdot \sin(S) \cdot \left( t_c - \frac{D}{v_0} \right) \quad (4.16)$$

Ради елиминисања грешака услед кретања тенка, препоручује се искључивање претицања у случајевима уздужног кретања тенка, али у ситуацијама када не постоји и бочно кретање тенка у односу на циљ.

Наведена разматрања могу се сликовито приказати у следећој табели.

Табела 4.2.

Даљина [m]	500	1000	1500	2000	2500	3000
Одступање поготка на циљу по висини - $\Delta Y$ (укључено претицање) [m]	0,07	0,19	0,43	0,81	1,36	1,76
Одступање поготка на циљу по висини - $\Delta Y$ (искључено претицање) [m]	- 0,03	- 0,02	0,08	0,32	0,69	0,9

Вредности у Табели 4.2. приказане су за месни угао:  $S=2^\circ$ , брзину тенка:  $v_t=5$  m/s и брзину циља:  $v_c=0$  m/s.

Према литератури [21] установљено је да се грешке, приказане у Табели 4.2, могу елиминисати.

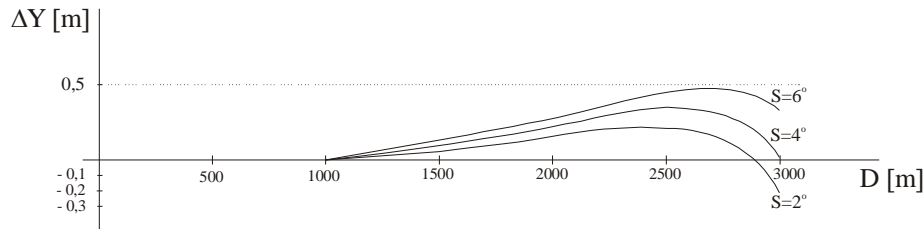
Биће показано да се утицај месног угла може елиминисати само мерењем уздужног ветра, у којем случају није нужно мерити и брзину тенка.

У случају истовременог кретања тенка и циља, мерењем промене удаљености између тенка и циља -  $\dot{D}$ , не може се отклонити утицај месног угла -  $S$ , јер није позната брзина тенка. Међутим, мерењем уздужног ветра може се компензовати утицај месног угла преко корективног члана коригованог табличног угла -  $\Delta\theta_0$ :

$$\Delta\theta_0 = -\frac{W_{xt} \cdot \sin(S)}{D} \cdot \left( T_c - \frac{D}{v_0} \right) \quad (4.17)$$

У Табели 5.8. приказан је део резултата спроведених испитивања о утицају мерења уздужног ветра коришћењем метео-сензора, на основу чега је формиран график, који је приказан на слици 4.11. На графику су приказана одступања поготка на циљу по висини, за

месне углове  $S=2^\circ$ ,  $S=4^\circ$  и  $S=6^\circ$ , уз коришћење сензора уздужног ветра. Може се уочити да су грешке прихватљиве, имајући у виду висину силуете тенка и даљине гађања на којима се грешке јављају.



Слика 4.11: График отклањања грешке утицаја месног угла

### 4.5.3. Дејство осталих утицајних фактора на грешке гађања

У досадашњим разматрањима било речи је о различитим утицајним факторима који узрокују грешке при гађању, а тиме и губитак прецизности и повећано растурање погодака. Имајући у виду да овај рад разматра утицај система за управљање на прецизност и растурање погодака при непосредном гађању, у наставку ће, само илустрације ради, бити изложени поједини утицајни фактори на грешке у гађању, а тиме и апострофиране могућности за нека даља истраживања.

Уколико се гађање реализује у условима повишене температуре, доћи ће до повећања температуре барута, а тиме и његовог бољег сагоревања, услед чега ће уследити повећање почетне брзине пројектила. Тако, на пример, према литератури [15], за температуру барута од  $15^\circ\text{C}$ , почетне брзине за групу од седам поткалибарних пројектила крећу се од 1744 до 1784 m/s, иако је таблицама гађања предвиђена брзина од 1800 m/s. С друге стране, такође према литератури [15], за температуру барута од  $55^\circ\text{C}$ , почетне брзине за групу од пет поткалибарних пројектила крећу се од 1791 до 1809 m/s. На овај начин и практично се потврђује да температура барута има врло важну улогу у формирању почетне брзине пројектила, што директно утиче на прецизност гађања.

Ако се има у виду да се наведени утицај на промену почетне брзине свакако комбинује са тенковском цеви из које се врши опаљење (при чему цев може бити истрошена или неистрошена), јасно је да ће резултати гађања наново бити промењени. Све ово доприноси великим варијацијама у почетној брзини пројектила, као једном од најважнијих утицаја на прецизност гађања.

Евидентно је, дакле, да постоји пуно утицајних фактора који се могу разматрати при анализи прецизности гађања и растурања погодака.

У складу са обимношћу материје и темом дисертације, у наставку ће бити детаљно разматрано само дејство система за управљање ватром на прецизност гађања.

#### 4.6. СИСТЕМАТИЗАЦИЈА НАЈВАЖНИЈИХ УТИЦАЈНИХ ФАКТОРА СУВ М84 НА ПРЕЦИЗНОСТ ГАЂАЊА

Систем за управљање ватром М84 конципиран је тако да аутоматски компензује штетно дејство појединих фактора који утичу на прецизност гађања.

Несумњиво да рачунар СУВ М84, у том смислу, заузима централно место. Рачунар је двопроцесорски, осмобитни уређај, намењен за рад у реалном времену. Испуњава задатке прорачуна коригованог табличног угла по висини, угла по правцу и углова претицања. Такође, обавља трансформацију координата из хоризонталне у нагнуту раван, одређивање величине капије опаљења и навођења, како топа, тако и огледала оптичког девијатора дневно-ноћне нишанске справе ДННС-2 у складу са израчунатим елементима гађања. Притом, подаци се у рачунар могу уносити аутоматски или ручно.

Коришћењем контролне табле рачунара нишанција тенка М84 одабира једну од четири могућности за израчунавање балистичких параметара (поткалибарни, кумулативни, тренутно-фугасни или вежбовни пројектил). У складу са тим, рачунар врши балистички прорачун за балистику одабране врсте пројектила, тако да су евентуалне грешке током гађања условљене, пре свега, резултатима мерења даљине до циља и/или позиционирањем тенковског топа.

На основу литературе [22] може се закључити да грешка прорачуна балистичких параметара код рачунара СУВ М84 не прелази  $\pm 0-01$ .

Имајући на уму наведено, у наставку рада биће представљено дејство најважнијих утицајних компоненти СУВ-а на прецизност и евентуалне грешке током гађања. Сагласно томе, утицај тих компоненти биће основа даљих разматрања и реализације симулација.

##### 4.6.1. Утицај нишанске справе и паралелограма на прецизност гађања

Идејно решење и начин конструкције СУВ М84 условљавају да се осматрање бојишта и нишањење потенцијалних циљева врши коришћењем дневно-ноћне нишанске справе ДННС-2.

Дневно-ноћна нишанска справа нишанције ДННС-2 састоји се из главе, доњег дела, паралелограма, сензора елевације, панела и заштитне капе са брисачем.

На осовини огледала налази се сензор елевације који мери тачну угаону позицију огледала. Сензор елевације на свом излазу ствара сигнале пропорционалне синусу и косинусу угла окретања огледала, а ти подаци се користе у рачунару СУВ-а, ради прорачуна балистичких елемената.

Справа ДННС-2 има три паралелна оптичка канала (дневни канал - види се у десном монокулару, ноћни канал - види се у левом монокулару и ласерски канал, са оптиком ласерског предајника и пријемника). Нишанска линија справе ДННС-2 је независна, имајући у виду да справа садржи посебне серво-моторе и разлагаче за обе равни навођења.



Слика 4.12: Справа ДННС-2

Грешка заузимања углова у вертикалној равни навођења не сме бити већа од  $\pm 0-00,2$  (у стабилисаном и полустабилисаном режиму рада), односно не сме бити већа од  $\pm 0-00,5$  (у механичком режиму рада, што није од значаја за овај рад).

Грешка заузимања углова у хоризонталној равни навођења може, слично као и у вертикалној равни, износити до  $\pm 0-00,2$ .

У циљу потпуног објашњавања утицаја нишанске справе овде ће бити размотрен још и утицај паралелограма, приказаног на слици 4.13, који омогућава пренос углова елевације са топа на нишанску справу.

Паралелограм повезује задњак топа и нишанску справу преко сензора елевације, који се налази на плочи и смештен је са десне стране нишанске справе. Сама конструкција паралелограма обезбеђује веома мали дилатациони утицај услед промене температуре, тако да је функционалност обезбеђена у свим условима експлоатације.

Паралелограм се, преко ексцентри и носача повезује са топом. Плоча на другом крају паралелограма повезана је са елевационим сензором који преноси углове елевације тенковског топа на нишанску справу.



Слика 4.13: Паралелограм

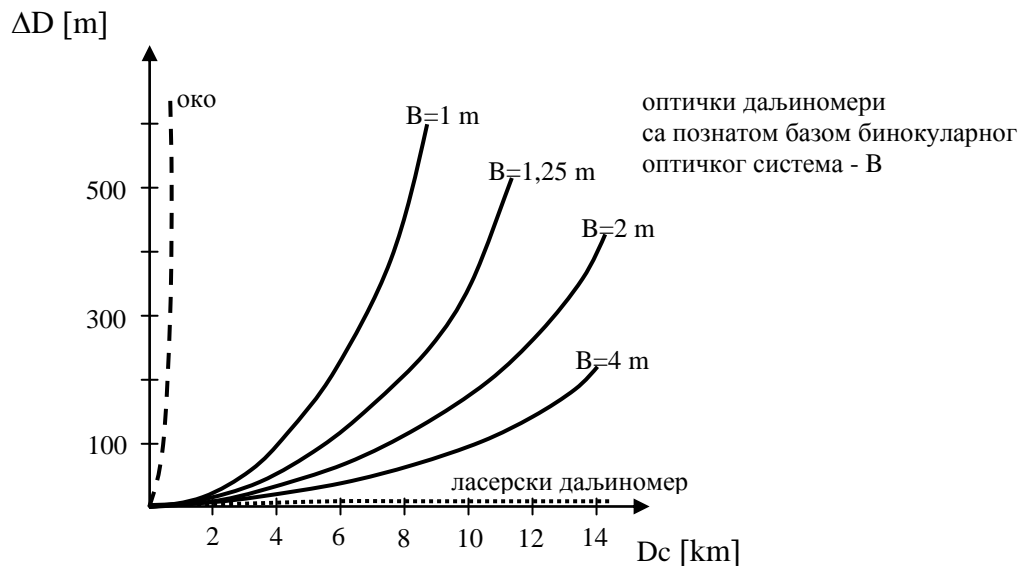
И поред изузетно квалитетне и прецизне израде паралелограма, постоји могућност грешке у преносу елевационих углова са топа на нишанску справу, и она износи највише  $\pm 00-00,2$  са дозвољеном хистерезом од  $00-00,2$  (за полустабилисани и стабилисани режим рада) односно  $\pm 00-00,48$  са дозвољеном хистерезом од  $00-00,48$  (за механички режим рада, што није од значаја у овом раду). Притом прво читавање, добијено мерењем на нула степени (месна справа у положају 30-00) служи као референтно.

#### 4.6.2. Утицај ласерског даљиномера на прецизност гађања

Ласерски даљиномер формално припада дневно-ноћној нишанској справи, али је због важности разматрања посебно издвојен.

Мерење даљине ласерским даљиномером битно се разликује од мерења даљине оптичким уређајима. Пре свега, грешке мерења код ласерског даљиномера не зависе од даљине до циља. Такође, уколико се ласерским даљиномером правилно рукује, и нема грешака условљених људским фактором, максимална грешка мерења је нешто већа од моћи разлагања, односно резолуције, која за уређаје оваквог типа износи од 5 до 10 m.

На следећој слици приказана је карактеристична условљеност грешке мерења даљине у односу на даљину циља за различите уређаје (људско око, оптички и ласерски даљиномер).



Слика 4.14: Грешка мерења даљине у односу на даљину до циља

Ласерски даљиномер СУВ М84, као типичан представник своје категорије даљиномера, не одступа од наведених критеријума, тако да његова максимална грешка измерене даљине износи до  $\pm 10$  m. Имајући у виду облик (разантне) путање којом се реализује гађање поткалибарним пројектилом, може се закључити да грешка ласерског даљиномера практично не утиче на прецизност гађања, те стога и неће бити детаљније разматрана.

#### 4.6.3. Утицај извршних хидрауличких подсистема на прецизност гађања

Систем за управљање ватром М84 реализује управљање тенковским топом уз коришћење хидростатичких преносника снаге по висини и по правцу, који су детаљно представљени у Прилогу 2 и Прилогу 3 ове дисертације.

Покретање куполе тенка по правцу, односно цеви тенковског топа по висини, врши се пропорционално величини и смеру сигнала који се формира у управљачко-рачунарском подсистему СУВ М84, а на основу команди које својим командним блоком задаје нишанција.

Хидростатички преносници снаге у обе равни навођења имају више режима рада, у зависности од тога да ли се врши попуна обртног транспортера муницијом, пуњење или пражњење тенковског топа или гађање одабраном врстом муниције.

Ипак, заједничко за све режиме рада у којима се активно користе наведени хидростатички преносници снаге јесте да је коначан резултат рада правовремено и тачно позиционирање оруђа по висини и по правцу.

У том циљу, почев од самог процеса производње врше се различите провере и подешавања компоненти и хидрауличких уређаја. Провера компоненти ограничена је на проверу функционалности извршавања појединих радњи за шта су те компоненте и намењене.

Електромагнет управљања, на пример, као саставни део механизма управљања у хидрауличком појачавачу за хоризонталну раван навођења, служи за расподелу хидрауличке течности у складу са управљачким сигнаlima, а тиме и за покретање тенковске куполе у једну или другу страну. Наведени електромагнет контролише се у процесу производње и

ремонта, при чему се врши провера и упоређивање његових прописаних и измерених техничких карактеристика.

Прописане вредности за електромагнет управљања су следеће: струја побуде - 0,6 А, максимална струја управљачког намотаја - од 0,03 до 0,26 А, угао закретања котве електромагнета -  $\pm 5^\circ \pm 20'$ , момент на вратилу -  $9,8 \cdot 10^{-2}$  Nm).

Након оваквих и сличних мерења са свим саставним деловима и компонентама уређаја, приступа се комплетирању подсклопова и склопова, а потом и уређаја СУВ М84.

Слична подешавања врше се и са другим основним деловима хидрауличких уређаја по висини и по правцу. Затим се испитивања настављају, а на ред долазе нешто сложенија испитивања, као што је, на пример, провера динамичког одзива у обе равни навођења.

Наведеним проверама предвиђено је да време смирења (односно време од задавања команде до тренутка када се позициона грешка смањи испод прописане вредности) буде мање или једнако задатим вредностима. При томе је неопходно да за одговарајуће вредности побудног улазног сигнала треба да буду задовољени адекватни услови.

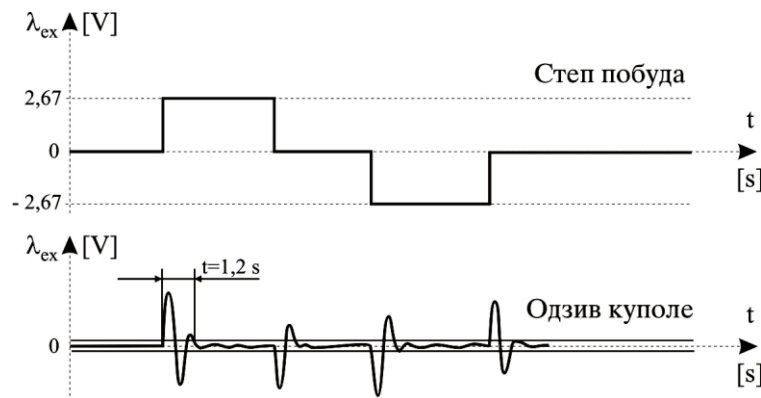
На пример, у вертикалној равни навођења, за напон побуде улазног степ-сигнала од 500 mV време смирења не треба да буде веће од 1,5 s.

С друге стране, у хоризонталној равни навођења, за напон побуде улазног степ-сигнала од 2,67 V време смирења не треба да буде веће од 2,5 s.

Уочљиво је да су на приложеним примерима из литературе [23] услови испуњени, јер су сва четири измерена времена смирења оруђа у вертикалној равни задовољила услов ( $t_s < 1,5$  s, слика 4.15), као што је испуњен и услов смирења куполе у хоризонталној равни навођења ( $t_s < 2,5$  s, слика 4.16).



Слика 4.15: Одзив топа на степ-побуду

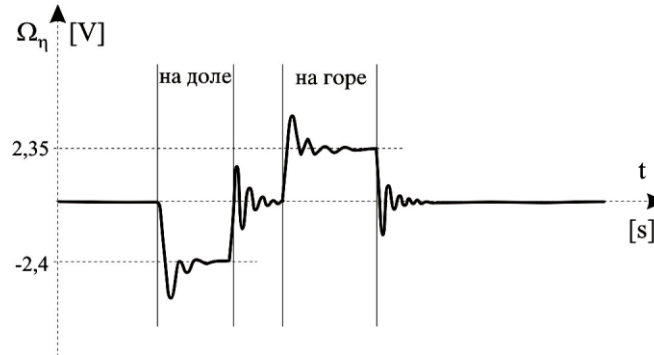


Слика 4.16: Одзив куполе на степ-побуду

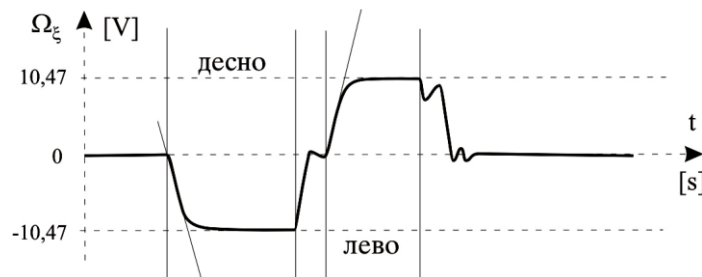


Осим наведеног, а између осталих бројних провера и подешавања, реализују се и провере максималне брзине и максималног убрзања објекта управљања (топа односно куполе).

На следећим сликама приказани су резултати провера максималне брзине топа у вертикалној, односно максималног убрзања куполе у хоризонталној равни навођења.



Слика 4.17: Максимална брзина навођења топа



Слика 4.18: Максимално убрзање навођења куполе

У крајњој инстанци, тек након комплетирања уређаја следе њихова финална подешавања и мерења која имају за циљ постизање постављених (задатих) тактичко-техничких захтева.

У складу са наведеним, као једини валидни излазни подаци од значаја за прецизност гађања, појављују се угао позиционирања тенковске куполе по правцу и угао позиционирања цеви тенковског топа по елевацији.

Ови подаци зато јесу најбитнији у даљем разматрању утицаја извршних компоненти СУВ М84 на прецизност гађања и растурање погодака.

У том смислу, у даљим истраживањима, што се пре свега односи на извршење симулација гађања у седмом поглављу, биће коришћен податак из литературе [24] и [8] да дозвољена грешка позиционарања куполе у хоризонталној, односно цеви тенковског топа у вертикалној равни навођења износи највише  $\pm 0.01$  (један хиљадити).

## 5. МАТЕМАТИЧКИ И СТРУКТУРНИ МОДЕЛ СИСТЕМА ЗА УПРАВЉАЊЕ ВАТРОМ М84

### 5.1. ОПШТЕ НАПОМЕНЕ О МАТЕМАТИЧКОМ МОДЕЛУ

Систем за управљање ватром на тенку М84 (СУВ М84) омогућава успешно осматрање, мерење даљине до циља, нишањење и гађање у свим временским, метеоролошким и условима ометања. У исто време систем прикупља, обрађује и заузима елементе гађања, обезбеђујући погађање циља према постављеним захтевима. Детаљан општи приказ система за управљање ватром изложен је у Прилогу 1, у складу са литературом [18] и [8].

Математичко моделирање обухвата извођење диференцијалних једначина које описују динамичко понашање елемената и читавог система, а након тога и израду структурног блок-дијаграма система (кроз одређивање преносних функција делова и читавог система).

С обзиром на природу посматраних процеса, одређивање диференцијалних једначина које ће тачно описивати динамику система, а у исто време омогућавати и прецизну анализу и пројектовање система, представља изузетно сложен задатак, па је често потребно извршити упрошћавање модела и узети у обзир само оне величине и нелинеарности које битно утичу на динамичко понашање система. У том смислу, у циљу креирања адекватног линеаризованог модела, уводе се следеће претпоставке:

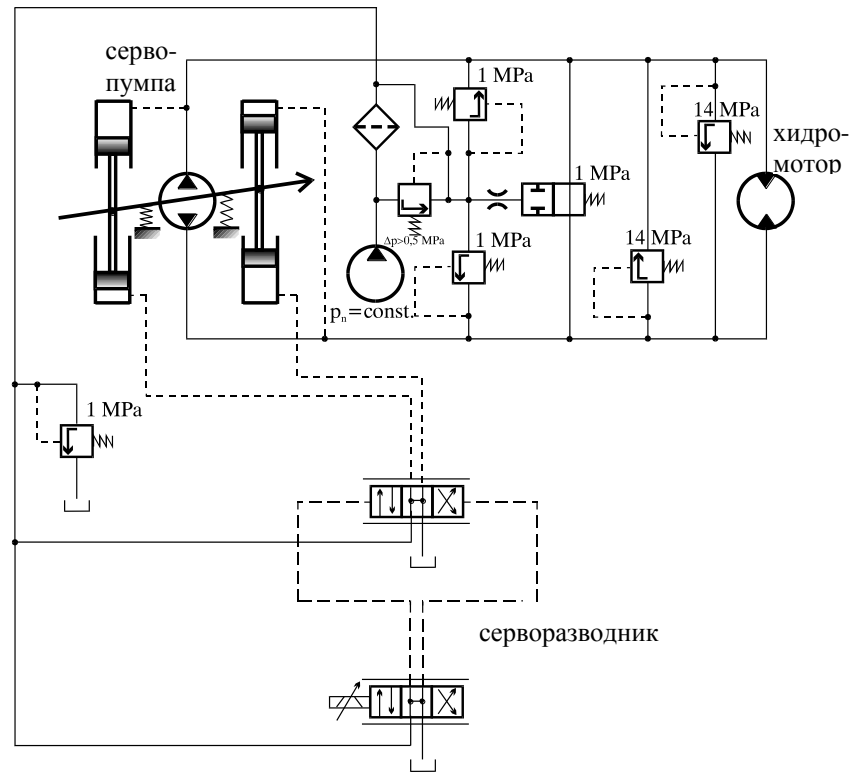
- у радном флуиду нема слободног ваздуха,
- нема промене запремине радног флуида с променом температуре, па радни флуид задржава константни коефицијент вискозности,
- модул стишљивости уља је константан и не зависи од притиска и температуре,
- нема трења мировања, као ни сувог трења хидромотора и оптерећења, већ постоји само сила вискозног трења,
- занемарује се инерција и трење радног флуида,
- блок управљања напада се радним флуидом под константним притиском,
- занемарују се хидродинамичке силе које делују на клипове првог и другог степена појачања серворазводника,
- нема хистерезиса у електромеханичком претварачу електромагнета управљања,
- коефицијент протицања у серворазводнику је константан,
- нема празних ходова у редуктору и механичким везама вратила и сензора положаја и брзине,
- у свим елементима система нема нелинеарности засићења,
- цевоводи високог притиска су крути у потпуности.

## 5.2. МАТЕМАТИЧКИ И СТРУКТУРНИ МОДЕЛ У ХОРИЗОНТАЛНОЈ РАВНИ

Управљачко-регулациони подсистем, приказан на слици 5.1, има задатак да тачно, поуздано и брзо доведе објект управљања у задати положај.

Наведени подсистем чине три целине: серворазводник са два степена појачања, серво-пумпа и хидромотор.

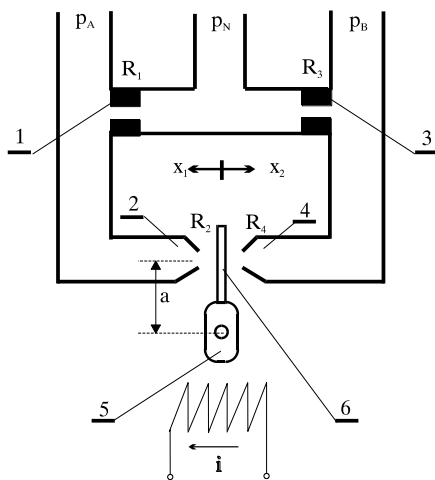
У конкретном случају, код тенка М84, овај управљачко-регулациони подсистем покреће куполу тенка у хоризонталној равни навођења.



Слика 5.1: Хидрауличка шема управљачко-регулационог подсистема

### 5.2.1. Математички модел серворазводника

Серворазводник са слике 5.1. конципиран је кроз два степена појачања. Први степен појачања конструисан је као диференцијални серворазводник, који је приказан је на слици 5.2, а састоји се из: електромеханичког претварача (5), заслона (6), млазника (2 и 4) и пригушника (1 и 3).



Слика 5.2: Први степен појачања серворазводника

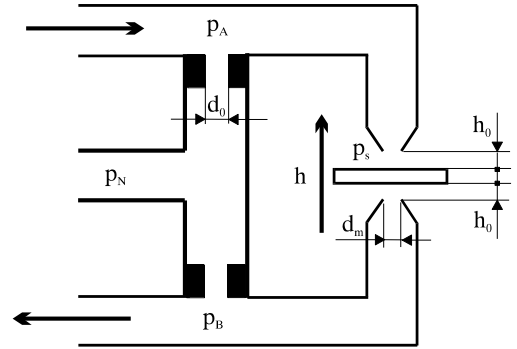
Први степен појачања има пригушнике са отворима константне проточне површине и два млазника са отворима променљивих проточних површина. При померању заслона (6) ка неком од млазника (2 или 4) у једном млазнику проточни отвор се смањује, док се у другом млазнику повећава, и обрнуто. Тако настаје промена протока и притиска у цевима млазника који одводе течност ка другом степену појачања серворазводника.

Када нема управљачког сигнала, влада равнотежа притисака у оба млазника. Тада су једнаки протоци у пригушницима (1 и 3), а такође једнаки су и протоци у млазницима (2 и 4) што се може изразити следећим једначинама:

$$\begin{aligned}\mu_1 A_1 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_N - p_A)} &= \mu_2 A_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_A - p_s)} \\ \mu_3 A_3 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_N - p_B)} &= \mu_4 A_4 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_B - p_s)}\end{aligned}\quad (5.1)$$

Овде су:

- $\mu_1, \mu_3$  - коефицијенти протока кроз отворе константног попречног пресека,
- $\mu_2, \mu_4$  - коефицијенти протока кроз отворе променљивог попречног пресека,
- $A_1, A_3$  и  $A_2, A_4$  - одговарајуће површине отвора протицања
- густина радног флуида,
- $p_n$  - притисак напајања,
- $p_A, p_B$  - притисци у цевима млазника,
- $p_s$  - притисак течности отицања.



Слика 5.3: Напајање првог степена појачања серворарводника

За мала угаона померања биће:

$$\begin{aligned}A_1 &= A_3 = \frac{d_0^2 \pi}{4} \\ A_2 &= \pi d_m (h_0 + a\varphi) \\ A_4 &= \pi d_m (h_0 - a\varphi)\end{aligned}\quad (5.2)$$

Притом су величине из горњих једначина дате према следећем:

- $d_0$  - пречник отвора протицања са константним попречним пресеком,
- $d_m$  - пречник млазника,
- $h_0$  - почетно одстојање заслона од млазника,
- $a$  - растојање осе млазника од осе котве,
- $\varphi$  - угао закретања заслона.

Заменом једначина 5.2. у једначинама 5.1. и уз претпоставку да је притисак течности која се слива у резервоар  $p_s=0$ , добија се:

$$\begin{aligned}\mu_1 \frac{d_0^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_N - p_A)} &= \mu_2 \pi d_m (h_0 + a\varphi) \sqrt{\frac{2}{\rho} p_N} \\ \mu_3 \frac{d_0^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_N - p_B)} &= \mu_4 \pi d_m (h_0 - a\varphi) \sqrt{\frac{2}{\rho} p_N}\end{aligned}\quad (5.3)$$

После сређивања, једначина 5.3. добија облик:

$$p_A = \frac{\mu_1^2 d_0^4}{16\mu_2^2 d_m^2 (h_0 + a\phi)^2 + \mu_1^2 d_0^4} p_N \quad (5.4)$$

$$p_B = \frac{\mu_3^2 d_0^4}{16\mu_4^2 d_m^2 (h_0 - a\phi)^2 + \mu_3^2 d_0^4} p_N$$

Једначине 5.3. и 5.4. добијене су за окретање заслона у негативном математичком смеру, што за последицу има да је  $p_B > p_A$ .

Пад притиска на излазу првог степена појачања изражен је следећом једначином:

$$\Delta p = p_B - p_A = \frac{\mu_3^2 d_0^4}{16\mu_4^2 d_m^2 (h_0 - a\phi)^2 + \mu_3^2 d_0^4} p_N - \frac{\mu_1^2 d_0^4}{16\mu_2^2 d_m^2 (h_0 + a\phi)^2 + \mu_1^2 d_0^4} p_N \quad (5.5)$$

Уколико се, према литератури [25], занемари зависност коефицијената протока од режима кретања, тј. за  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu$ , горња једначина, после сређивања, добија облик:

$$\Delta p = K_{mz} p_n \quad (5.6)$$

где је  $K_{mz}$  - коефицијент појачања првог степена појачања (млазник-заслон) серворазводника, при чему је његова величина дата једначином:

$$K_{mz} = \frac{1}{\left(\frac{4d_m}{d_0}\right)^2 (h_0 - a\phi)^2 + 1} - \frac{1}{\left(\frac{4d_m}{d_0}\right)^2 (h_0 + a\phi)^2 + 1} \quad (5.7)$$

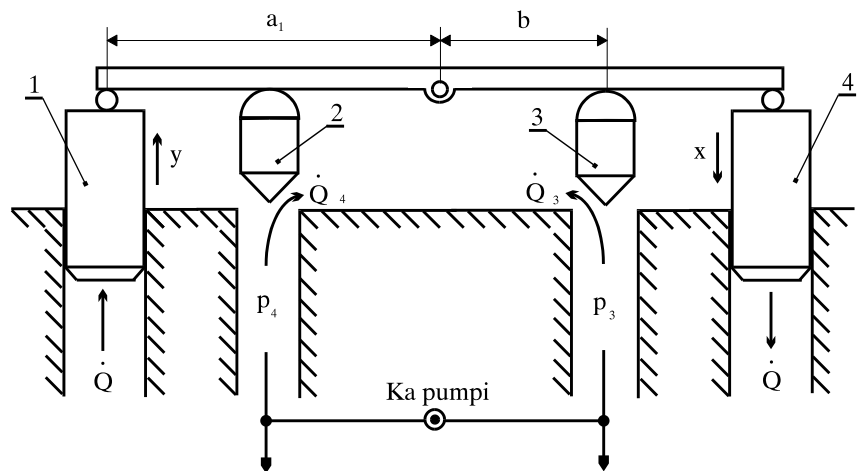
Коначно, како је  $\phi \approx \text{tg}\phi = h/a$ , може се апроксимовати да заслон врши линеарна померања -  $h$ , која су означена и на слици 5.3, па се једначина 5.7. трансформише у израз:

$$K_{mz} = \frac{1}{\left(\frac{4d_m}{d_0}\right)^2 (h_0 - h)^2 + 1} - \frac{1}{\left(\frac{4d_m}{d_0}\right)^2 (h_0 + h)^2 + 1} \quad (5.8)$$

Слика 5.4. приказује други степен појачања серворазводника - игличасти разводник са плунжерима на које делује уље под притиском из првог степена појачања.

Померањем плунжера (1 и 4), који су преко полуге - клацкалице у крутој вези са игличастим клиповима, долази до промене протока поред игличастих клипова (2 и 3), а тиме и до промене притиска у коморама ка аксијално-клипној сервопумпи.

На понашање полуге која обједињује рад поменутих клипова утичу следећи momenti:



Слика 5.4: Други степен појачања серворазводника

- $M_U$  - управљачки момент због притиска уља на плунжере (1 и 4, слика 5.4),
- $M_I$  - момент због инерције полуге,
- $M_{k1}$  - момент због инерције плунжера (1 и 4, слика 5.4),
- $M_{k2}$  - момент због инерције клипова (2 и 3, слика 5.4),
- $M_{p2}$  - момент због притиска уља на клипове (2 и 3, слика 5.4).

Динамичко понашање дато је једначином суме момената који делују на полуку - клацкалицу:

$$M_U = M_I + M_{p2} + M_{k1} + M_{k2} \quad (5.9)$$

где су величине дате у претходној једначини изражене следећим једначинама:

$$\begin{aligned} M_I &= J_1 \frac{d^2\theta}{dt^2} \\ M_{p2} &= bA_2\Delta p_i \\ M_{k1} &= J_{k1} \frac{d^2\theta}{dt^2} \\ M_{k2} &= J_{k2} \frac{d^2\theta}{dt^2} \end{aligned} \quad (5.10)$$

У једначини 5.10. фигуришу следеће величине:

- $a_1$  - крак полуге,
- $A_1$  - површина плунжера (1 и 4, слика 5.4),
- $\Delta p$  - корисни пад притиска на излазу првог степена појачања (заслон - млазник) серворазводника,
- $J_1$  - момент инерције полуге - клацкалице,
- $b$  - крак полуге,
- $A_2$  - површина игличастог клипа (2 и 3, слика 5.4),
- $\Delta p_i$  - разлика притисака испод игличастих клипова (2 и 3, слика 5.4),
- $J_{k1}$  - момент инерције плунжера (1 и 4, слика 5.4),
- $J_{k2}$  - момент инерције клипова (2 и 3, слика 5.4),
- $\theta$  - угао закретања полуге - клацкалице.

Према литератури [25], диференцијална једначина суме момената који делују на полуку - клацкалицу дата је изразом:

$$a_1 A_1 \Delta p = J_1 \frac{d^2\theta}{dt^2} + f_k \frac{d\theta}{dt} + b A_2 \Delta p_i \quad (5.11)$$

Као мало утицајни, моменти  $M_{k1}$  и  $M_{k2}$  замењени су изразом  $f_k \frac{d\theta}{dt}$ , где је  $f_k$  - еквивалентни коефицијент вискозног трења покретних делова.

Пад притиска испод игличастих клипова према серво-пумпи ( $\Delta p_i$ ) дат је изразом:

$$\Delta p_1 = -2K_2 \Delta A_2 \quad (5.12)$$

где су:

- $K_2$  - статички коефицијент појачања,
- $\Delta A_2$  - промена површине проточног отвора игличастих клипова (2 и 3, слика 5.4).

Притом је:

$$\Delta A_2 = K_1 \Delta y_1 \quad (5.13)$$

где су:

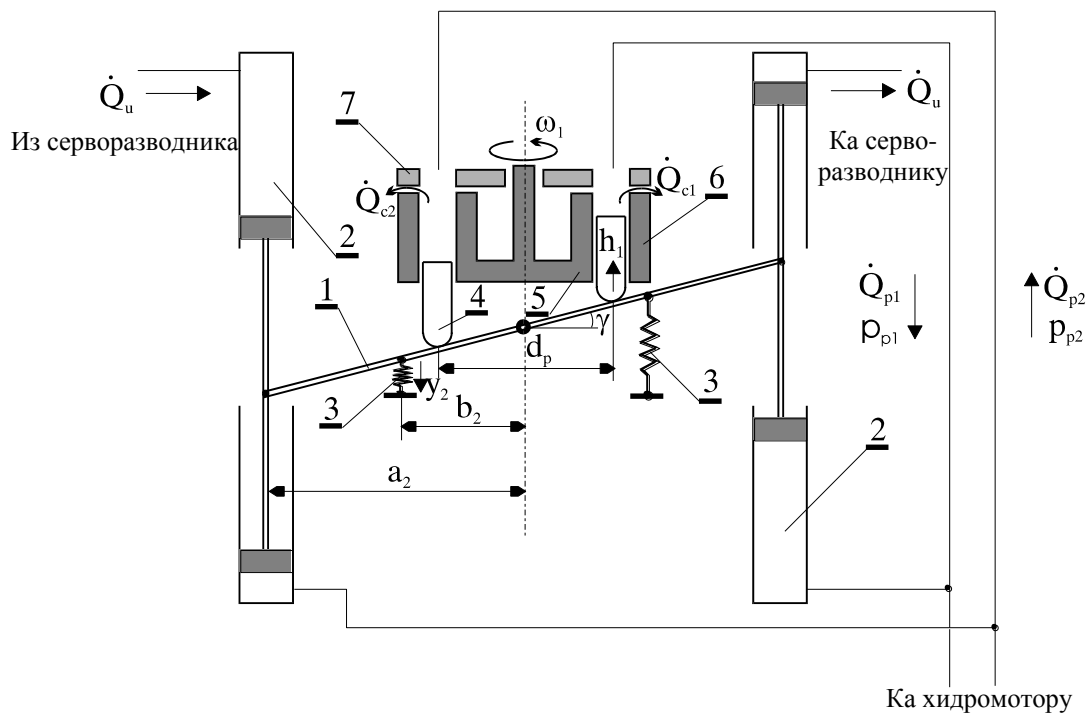
- $K_1$  - коефицијент пропорционалности који зависи од облика врха игличастиг клипа,
- $\Delta y_1 = \frac{b}{a_1} \Delta y$  - промена хода игличастиг клипа (2 и 3, слика 5.4).

Најзад, промена хода управљачког плунжера (1 и 4, слика 5.4) дата је једначином:

$$\Delta y = a_1 \sin \theta \approx a_1 \theta. \quad (5.14)$$

### 5.2.2. Математички модел сервопумпе

Сервопумпа је пумпа са нагибном плочом, приказана на слици 5.5. Угаона брзина ротације вратила (5) се не мења, већ се промена протока пумпе и стварање хидрауличке енергије остварује нагињањем нагибне плоче (1) у вертикалној равни.



Слика 5.5: Хидрауличка шема пумпе с нагибном плочом

Нагињање се остварује услед разлике сила управљачких цилиндара (2) и опруга (3). Управљачки цилиндри остварују нагиб плоче због разлике притисака у водовима ка серво-разводнику, као и услед повратне везе са хидро-мотором.

Услед нагиба плоче, клипови (4) остварују уздужно реверзибилно кретање између вратила (5) и кућишта (6), док се и вратило и кућиште обрћу константном угаоном брзином  $\omega_1$ . На тај начин долази до наизменичног усисавања и потискивања флуида ка извршном органу кроз отворе на расподељивачу (7).

Једначине протока аксијално-клипне сервопумпе дате су на следећи начин:

$$\begin{aligned} Q_p &= Q_m + Q_g + Q_s \\ Q_p &= K_{qp} \gamma_p \end{aligned} \quad (5.15)$$

где су:

- $Q_m$  - проток радног флуида кроз хидромотор,
- $Q_g$  - укупни губици протока,
- $Q_s$  - проток потребан за компензацију течности услед стишљивости,
- $K_{qp}$  - коефицијент протока кроз пумпу,
- $\gamma_p$  - угао нагињања нагибне плоче сервопумпе.

Притом важе и једначине:

$$\begin{aligned} Q_m &= q_{rm} \frac{d\theta}{dt} = q_{rm} \dot{\theta}_m \\ Q_g &= K_g p_1 \\ Q_s &= \frac{V_0}{B} \frac{dp_1}{dt} \end{aligned} \quad (5.16)$$

где су:

- $q_{rm}$  - специфични проток хидромотора,
- $\theta_m$  - угао закретања вратила хидромотора,
- $K_g$  - коефицијент укупних губитака протока,
- $p_1$  - притисак потискивања уља у сервопумпи,
- $B$  - модул стишљивости,
- $V_0 = \frac{V_r}{2}$  - средња запремина,
- $V_r$  - укупна радна запремина.

На основу једначина 5.15. и 5.16. једначина протока кроз хидрауличну пумпу је:

$$Q_p = K_{qp} \gamma_p = q_{rm} \frac{d\theta_m}{dt} + K_g p_1 + \frac{V_0}{B} \frac{dp_1}{dt} \quad (5.17)$$



### 5.2.3. Математички модел хидромотора

Купола тенка М84 окреће се у хоризонталној равни навођења под дејством погонског момента,  $M_m(t)$ , којег ствара хидромотор, који је детаљно описан у Прилогу 2. Погонски момент хидромотора уједно представља управљачку, тј. регулациону величину.

Понашање физичког модела којим се објашњава покретање куполе одабраног борбеног средства може се изразити једначином суме момената у хоризонталној равни:

$$\sum M = 0 \quad (5.18)$$

$$\sum M = J \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} - M_m(t) + f \frac{d\theta(t)}{dt} = 0 \quad (5.19)$$

$$J \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} = M_m(t) - f \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (5.20)$$

Последња једначина се може написати и у следећем облику:

$$J \cdot \ddot{\theta} = M_m(t) - f \cdot \dot{\theta} \quad (5.21)$$

где су:

- $J$  [ $\text{kgm}^2$ ] - момент инерције куполе у односу на  $z$ -осу,
- $\theta$  - [ $\text{rad}$ ] - угаони помак куполе,
- $M_m$  [ $\text{Nm}$ ] - момент хидромотора, и
- $f$  [ $\text{Nms/rad}$ ] - коефицијент вискозног трења куполе.

Транслаторна померања тенка занемарљиво утичу на прецизност погађања, јер су брзине транслаторних померања борбеног средства неупоредиво мање од почетне брзине пројектила.

С друге стране, угаона померања имају врло значајан утицај на ефикасност оруђа при гађању. Ово се понајвише односи на угаоно померање око  $z$ -осе.

Понашање објекта управљања (куполе тенка), током стабилизације дато је једначином:

$$\delta_k(t) = \theta(t) - \theta_z(t) \quad (5.22)$$

где су:

- $\delta_k(t)$  - разлика између реалног и задатог померања,
- $\theta(t)$  - реално угаоно померање куполе, и
- $\theta_z(t)$  - задато угаоно померање куполе.

Притом важи релација:

$$\theta(t) = \psi(t) - \theta_{kt}(t), \quad (5.23)$$

где је  $\psi(t)$  угаоно померање тела борбеног средства.

На куполу тенка М84 делују:  $M_{tr}$  - момент трења куполе,  $M_{jk}$  - момент због инерције куполе и  $M_s$  - стабилишући момент хидромотора, који доводи куполу у задати, тј. жељени положај ( $\theta_z$ ).

Сумирањем свих момената добија се:

$$\Sigma M = M_{jk} + M_{tr} + M_s \quad (5.24)$$

Заменом и сређивањем добија се:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} - f_{ok} \left( \frac{d\psi}{dt} - \frac{d\theta}{dt} \right) + M_s = 0 \quad (5.25)$$

Момент  $M_s$  је стабилишући момент хидромотора, редукован и умањен за степен корисног дејства редуктора.

Обртни момент хидромотора може се изразити једначином:

$$M_m = J \frac{d^2\theta_m}{dt^2} + f_{tm} \frac{d\theta_m}{dt} + K_o \theta_m + \frac{M_t}{i\eta_r} \quad (5.26)$$

где су:

- $\theta_m$  - угаоно померање вратила хидромотора,
- $f_{tm}$  - коефицијент вискозног трења хидромотора,
- $i$  - преносни однос редуктора, и
- $\eta_r$  - коефицијент корисног дејства редуктора.
- $K_o$  - константа торзионе опруге, редукована на вратило хидромотора.

Понашање хидромотора се, према литератури [26], изражава и следећом једначином:

$$M_m = (p_1 - p_2) q_{tm} \approx p_1 q_{tm} \quad (5.27)$$

где су:

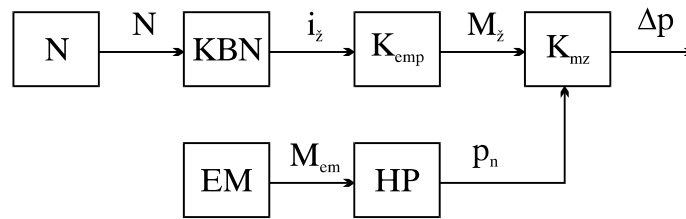
- $p_1$  - притисак у воду напајања хидромотора,
- $p_2$  - притисак у одводном воду хидромотора.

### 5.3. СТРУКТУРНИ МОДЕЛ У ХОРИЗОНТАЛНОЈ РАВНИ НАВОЂЕЊА

Коришћењем Лапласових трансформација диференцијалне једначине математичког модела биће трансформисане у алгебарске, и формираће се преносне функције за сваки подсистем, као и за систем у целини. Након одређивања преносних функција елемената и система, биће формиран структурни модел у хоризонталној равни навођења на тенку М84.

#### 5.3.1. Структурни модел серворазводника

Формирање структурног модела серворазводника започиње описом дејства нишанције на командни блок нишанције, а тиме и отпочињањем формирања управљачког сигнала, као што је приказано на следећој слици.



Слика 5.6: Принципијелна шема управљања првог степена појачања серворазводника

На горњој слици означене су следеће величине:

- N - нишанција,
- $M_z$  - обртни момент жељеног понашања објекта управљања,
- KBN - командни блок нишанције,
- $i_z$  - јачина струје која одговара жељеном понашању објекта управљања,
- $K_{emp}$  - коефицијент електромеханичког претварача,
- $K_{mz}$  - коефицијент појачања првог степена (млазник-заслон) серворазводника,
- EM - електромотор хидрауличке пумпе за напајање,
- HP - хидрауличка пумпа,
- $p_n$  - притисак течности за напајање,
- $\Delta p$  - разлика притисака на излазу првог степена појачања.

На основу овако формираног сигнала управљања разлика притисака  $\Delta p$  представља улазну величину другог степена појачања серворазводника.

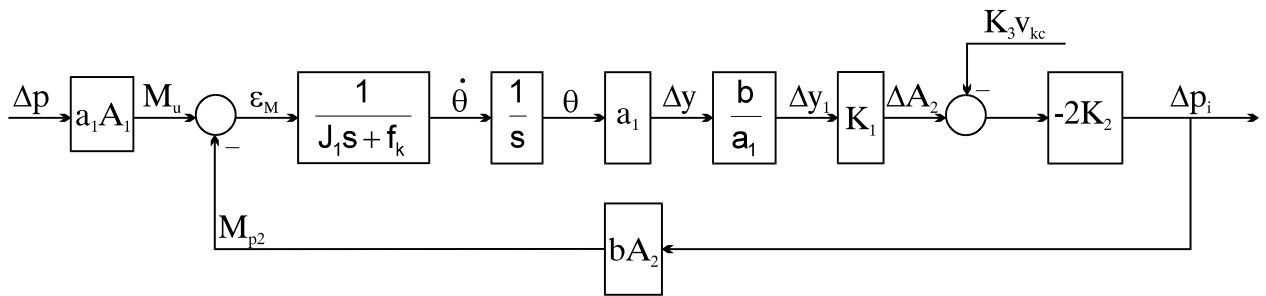
Лапласовом трансформацијом једначине 5.11. за нулте почетне услове, добија се:

$$a_1 A_1 \Delta p = J_1 s^2 \theta_m + f_k s \theta_m + b A_2 \Delta p \quad (5.28)$$

Овде су ознаке дате према следећем:

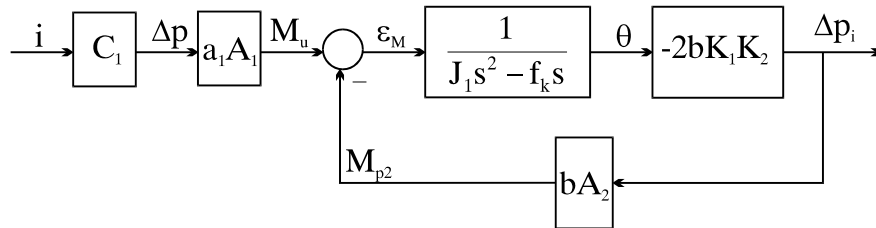
- $a_1$  - крак полуге,
- $A_1$  - површина плунжера (1 и 4, слика 5.4),
- $\Delta p$  - корисни пад притиска на излазу првог степена појачања (заслон - млазница) серворазводника,
- $J_1$  - момент инерције полуге - клацкалице,
- $b$  - крак полуге,
- $A_2$  - површина игличастог клипа (2 и 3, слика 5.4),
- $\Delta p_i$  - разлика притисака испод игличастих клипова (2 и 3, слика 5.4).

На основу разматрања из тачке 5.2.1. може се сачинити структурна блок-шема, као на следећој слици:



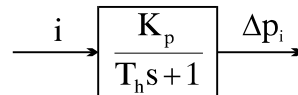
Слика 5.7: Детаљна структурна блок-шема другог степена појачања серворазводника

Користећи приказане структурне блок-шеме првог и другог степена појачања, може се сачинити јединствена блок-шема читавог серворазводника, као што је приказано на слици 5.8, при чему је, према [25], занемарен сигнал унутрашње повратне везе по брзини померања игличастог клипа ( $-K_3v_{kc}$ ), као и величина момента због инерције клацкалице другог степена појачања  $J_1$ .



Слика 5.8: Поједностављена структурна блок-шема серворазводника

Након трансформације (у Прилогу 4) коначан структурни приказ серворазводника у облику апериодичког елемента првог реда, представљен је следећим блок-дијаграмом:



Слика 5.9: Структурни блок-дијаграм серворазводника

У приказаном блок-дијаграму односно преносној функцији фигуришу следеће величине:

- $K_p=24,5 \cdot 10^7$  [Pa/A] - константа појачања, и
- $T_h=0,16$  [s] - временска константа серворазводника.

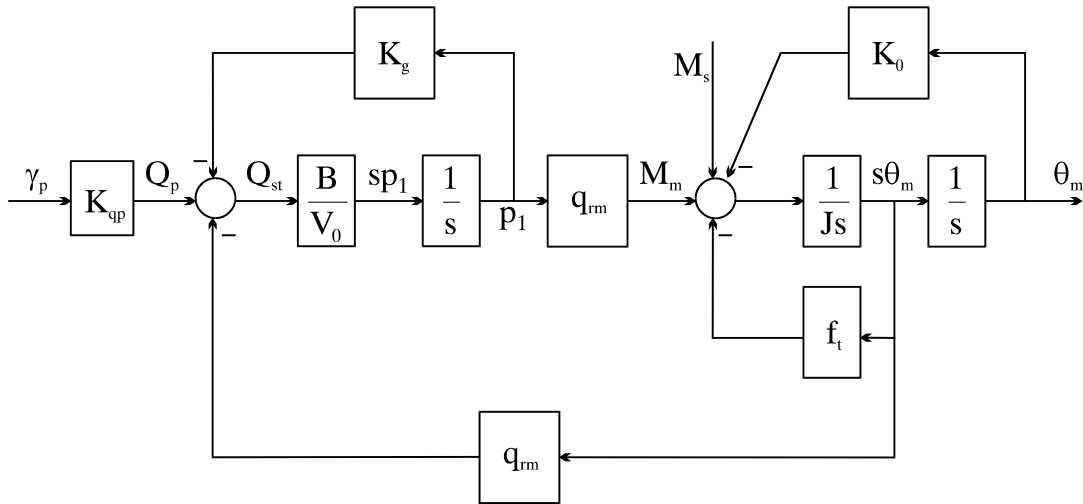
### 5.3.2. Структурни модел сервопумпе и хидромотора

Лапласовим трансформацијама једначина 5.17, 5.26. и 5.27, респективно, за почетне нулте услове, добијају се следеће једначине у операторском облику:

$$Q_p = K_{qp} \gamma_p = q_{mm} s \theta_m + K_g p_1 + \frac{V_0}{B} s p_1 \quad (5.29)$$

$$M_m = p_1 q_{mm} = J s^2 \theta_m + f_t s \theta_m + K_o \theta_m + M_s \quad (5.30)$$

На основу претходних једначина могу се формирати структурна блок-шема и преносна функција зависности угла обртања вратила хидромотора у односу на остале утицајне параметре.



Слика 5.10: Структурна блок-шема сервопумпе и хидромотора

$$\theta_m(s) = \frac{\frac{K_{qp}}{q_{rm}} \gamma_p - \frac{K_g}{q_{rm}^2} \left(1 + \frac{V_0}{BK_g} s\right) M_s}{\frac{V_0 J}{Bq_{rm}^2} s^3 + \left(\frac{K_g J}{q_{rm}^2} + \frac{f_k V_0}{Bq_{rm}^2}\right) s^2 + \left(1 + \frac{f_k K_g}{q_{rm}^2}\right) s} \quad (5.31)$$

Пошто је  $\frac{f_k K_g}{q_{rm}^2} \approx 0$ , (јер се вредност количника  $\frac{f_k}{q_{rm}^2}$ , у односу на остале чланове израза, може сматрати нулом), једначина добија облик:

$$\theta_m(s) = \frac{\frac{K_{qp}}{q_{rm}} \gamma_p - \frac{K_g}{q_{rm}^2} \left(1 + \frac{V_0}{BK_g} s\right) M_s}{s \left(\frac{s^2}{\omega_h^2} + \frac{2\delta_h}{\omega_h} + 1\right)} \quad (5.32)$$

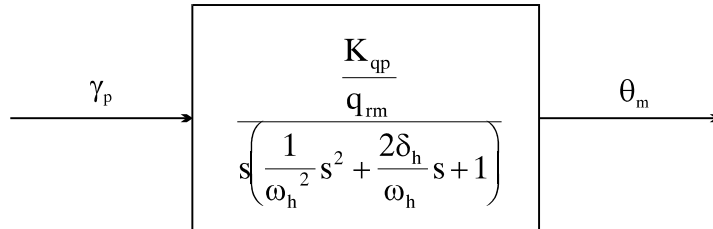
Притом су величине из једначине 5.33. дефинисане следећим изразима:

- $\omega_h = \sqrt{\frac{Bq_{rm}^2}{V_0 J}}$  - непригушена хидрауличка сопствена фреквенција,
- $\delta_h = \frac{K_g}{2q_{rm}} \sqrt{\frac{BJ}{V_0}} + \frac{f_k}{2q_{rm}} \sqrt{\frac{V_0}{BJ}}$  - релативни фактор пригушења.

Конечно, уколико се разматра динамичко понашање хидромотора у односу на величину нагињања ( $\gamma_p$ ) нагибне плоче сервопумпе, преносна функција има облик:

$$W_{PM}(s) = \frac{\theta_m(s)}{\gamma_p(s)} = \frac{\frac{K_{qp}}{q_{rm}}}{s \left( \frac{s^2}{\omega_h^2} + \frac{2\delta_h}{\omega_h} s + 1 \right)} \quad (5.33)$$

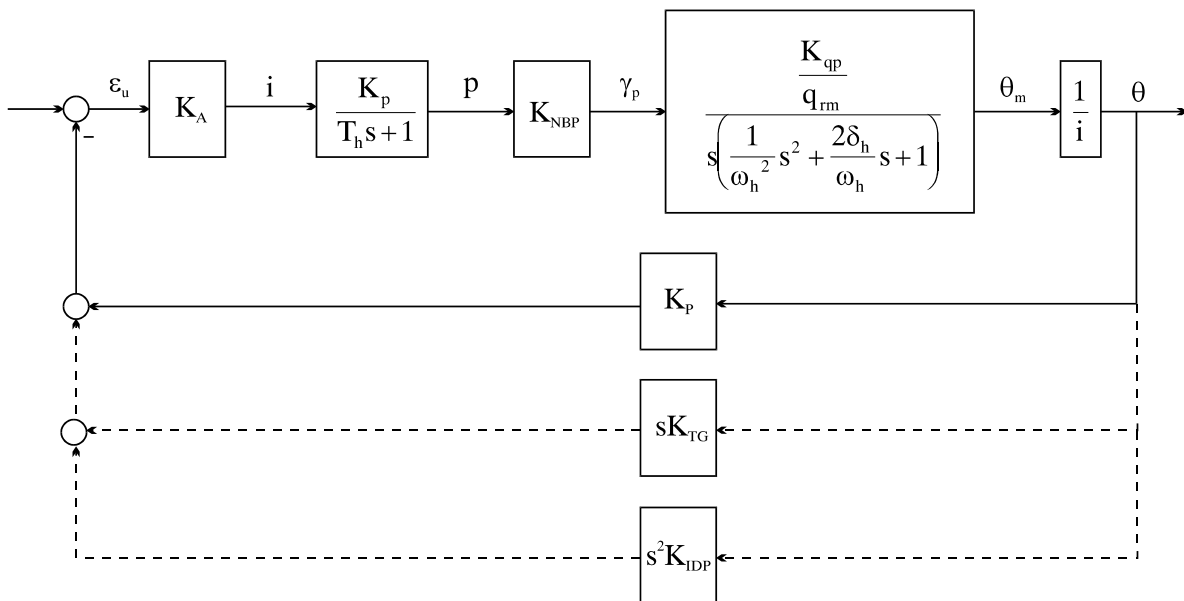
Коначно, из претходне једначине следи структурно поједностављени блок-дијаграм сервопумпе са хидромотором, који је приказан на следећој слици:



Слика 5.11: Структурни блок-дијаграм сервопумпе и хидромотора

### 5.3.3. Обједињени структурни модел у хоризонталној равни навођења

Након последњих разматрања и формирања структурних блок-дијаграма појединих компоненти, може се формирати структурни модел у хоризонталној равни навођења, као на следећој слици.



Слика 5.12: Обједињени структурни блок-дијаграм у хоризонталној равни навођења

Притом, са  $i$  је означен преносни однос редуктора којим се обртни момент хидромотора преноси на покретање куполе.

Према [26], коефицијент појачања протока серво-пумпе је:

$$K_{Q_p} = \frac{\partial Q_p}{\partial \gamma} \approx \frac{Q_p}{\gamma_{\max}}$$

$$K_{Q_p} = \frac{11,016 \cdot 10^{-4} \cdot 0,9}{0,3489} \quad (5.34)$$

$$K_{Q_p} = 28,415 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{rad}} \right]$$

Коефицијент појачања брзине преносника је дат изразом:

$$K_{\dot{\theta}} = \frac{K_{Q_p}}{q_{\text{m}}}$$

$$K_{\dot{\theta}} = \frac{28,415 \cdot 10^{-4}}{7,96 \cdot 10^{-5}} \quad (5.35)$$

$$K_{\dot{\theta}} = 35,697 \left[ \text{s}^{-1} \right]$$

Коефицијент губитака рачуна се према изразу:

$$K_1 = \frac{Q(\%) \cdot \omega_{\text{mmax}} \cdot q_{\text{m}}}{P_{\text{mmax}}}$$

$$K_1 = \frac{0,00533 \cdot 13,083 \cdot 7,96 \cdot 10^{-5}}{13 \cdot 10^6} \quad (5.36)$$

$$K_1 = 42,698 \cdot 10^{-14} \left[ \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{Pa}} \right]$$

У горњој једначини са  $Q(\%)$  означен је процентуални губитак течности, који је добијен преко коефицијента искоришћења хидрауличких водава сервопумпе и хидромотора:  $\eta_g=0,99467$ , према једначини:

$$Q(\%)=1-\eta_g \quad (5.37)$$

Течност која се налази под високим притиском заузима радну запремину  $V_r$  која се рачуна према изразу:

$$V_r \approx \frac{V_{\text{p}}}{2} + \frac{V_{\text{m}}}{2} + V_c \quad (5.38)$$

У горњој једначини налазе се величине:

$V_{\text{p}}$  - радна запремина серво-пумпе под високим притиском,  
 $V_{\text{m}}$  - радна запремина хидромотора под високим притиском,  
 $V_c$  - запремина цревовода који повезује коморе под високим притиском серво-пумпе и хидромотора.

Према вредностима преузетим из [23], радна запремина серво-пумпе која се налази под високим притиском биће:

$$\begin{aligned} V_{rp} &= A_{kp} \cdot h_1 \cdot z_1 \\ V_{rp} &= 132,732 \cdot 10^{-6} \cdot 20,521 \cdot 10^{-3} \cdot 11 \\ V_{rp} &= 29,961 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned} \quad (5.39)$$

Притом у горњој једначини налазе се величине:

$A_{kp}$  - површина клипа серво-пумпе,  
 $h_1$  - дужина хода клипа серво-пумпе и  
 $z_1$  - број клипова серво-пумпе.

Слично описаном, радна запремина хидромотора под високим притиском рачуна се у складу са следећом једначином:

$$\begin{aligned} V_{rm} &= A_{km} \cdot h_2 \cdot z_2 \\ V_{rm} &= 80,425 \cdot 10^{-5} \cdot 15,4 \cdot 10^{-3} \cdot 11 \\ V_{rm} &= 136,24 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned} \quad (5.40)$$

У горњој једначини фигуришу следеће величине:

$A_{km}$  - површина клипа хидромотора,  
 $h_2$  - дужина хода клипа хидромотора и  
 $z_2$  - број клипова хидромотора.

Према [23] цево под високим притиском је унутрашњег пречника:  $d_c=16$  [mm], односно дужине:  $l_c=90$  [cm], одакле следи:

$$\begin{aligned} V_c &= (d_c/2)^2 \cdot \pi \cdot l_c \\ V_c &= (8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3,14 \cdot 0,9 \\ V_c &= 180,864 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned} \quad (5.41)$$

Коначно, радна запремина под високим притиском биће:

$$\begin{aligned} V_r &= \frac{29,961 \cdot 10^{-6}}{2} + \frac{136,24 \cdot 10^{-6}}{2} + 180,864 \cdot 10^{-6} \\ V_r &= 263,965 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned} \quad (5.42)$$

Уколико се посматра угаони окрет вратила хидромотора у односу на угао који заузима нагибна плоча серво-пумпе, може се написати преносна функција према структурној шеми са слике 5.11 у следећем облику:

$$W(s) = \frac{\theta_m(s)}{\gamma(s)} = \frac{K_{\dot{\theta}}}{s \left( \frac{1}{\omega_0^2} s^2 + \frac{2\xi}{\omega_0} s + 1 \right)} \quad (5.43)$$

У горњој једначини са  $\omega_0$  означена је природна кружна фреквенција а са  $\xi$  је означен коефицијент пригушења. Наведене величине биће израчунате у наставку.



$$\omega_0 = q_{\text{m}} \sqrt{\frac{B \cdot k_e}{V_r \cdot J}}$$

$$\omega_0 = 7,96 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{\frac{1400 \cdot 10^6 \cdot 0,5}{263,965 \cdot 10^{-6} \cdot 57,639}} \quad (5.44)$$

$$\omega_0 = 17 \text{ [rad / s]}$$

при чему је вредност коефицијента пропорционалности  $k_e=0,5$  преузета из [26], док је вредност момента инерције  $J = 57,639 \text{ [kgm}^2\text{]}$  преузета из [23].

$$\xi = \frac{K_1}{2 \cdot q_{\text{m}}} \sqrt{\frac{B \cdot J}{V_r}}$$

$$\xi = \frac{42,698 \cdot 10^{-14}}{2 \cdot 7,96 \cdot 10^{-5}} \sqrt{\frac{1400 \cdot 10^6 \cdot 57,639}{263,965 \cdot 10^{-6}}} \quad (5.45)$$

$$\xi = 0,047$$

Преносна функција извршног органа сада се може написати овако:

$$W_1(s) = \frac{35,697}{s(0,00346s^2 + 0,00553s + 1)} \quad (5.46)$$

Рад извршног органа у потпуности је у функцији положаја нагибне плоче серво-пумпе која регулише количину протока на њеном излазу, а тиме и на улазу у хидромотор. Позиционирање нагибне плоче серво-пумпе врши се преко управљачких чахура чије се динамичко понашање може представити радним цилиндром са двостраном клипњачом, као:

$$W(s) = \frac{K_{\text{мп}}}{As} \quad (5.47)$$

У горњој једначини дате су величине:

$K_{\text{мп}}$  - коефицијент механичког преноса и

$A=471,923 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$  - површина управљачке чахуре за позиционирање нагибне плоче серво-пумпе.

С обзиром да нагибна плоча серво-пумпе заузима углове  $\gamma=\pm 20 \text{ [}^\circ\text{]}=\pm 0,3489 \text{ [rad]}$ , може се израчунати да ће бити остварен ход величине:

$$h = a_2 \cdot \text{tg}\gamma$$

$$h = 0,05 \cdot \text{tg}20^\circ \quad (5.48)$$

$$h = 23,658 \cdot 10^{-3} \text{ [m]}$$

У горњој једначини је са  $a_2$  означено осно растојање лежишта нагибне плоче од управљачке чахуре (слика 5.5).

Пошто нагибна плоча заузима одговарајуће углове, израчунава се коефицијент механичког преноса према једначини:

$$K_{mp} = \frac{2\gamma}{h}$$

$$K_{mp} = \frac{2 \cdot 0,3489}{23,658 \cdot 10^{-3}} \quad (5.49)$$

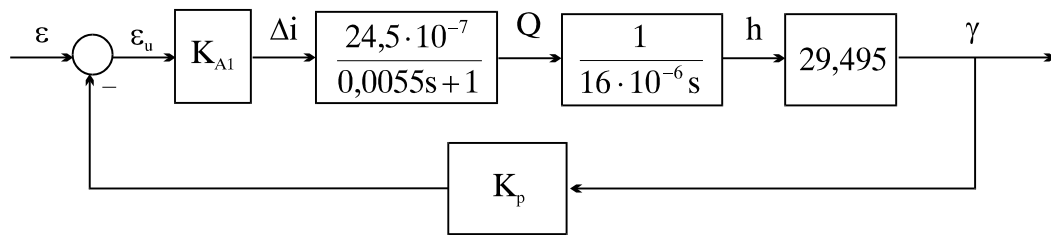
$$K_{mp} = 29,495 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{m}} \right]$$

На основу израчунатих коефицијената може се написати преносна функција управљачког уређаја серво-пумпе:

$$W(s) = \frac{29,495}{471,923 \cdot 10^{-6} s} \quad (5.50)$$

$$W(s) = \frac{1}{16 \cdot 10^{-6} s}$$

У складу са описаним прорачуном појединих коефицијената, део управљачко-рачунарског подсистема и електрохидрауличког серво-разводника може се представити следећим дијаграмом:

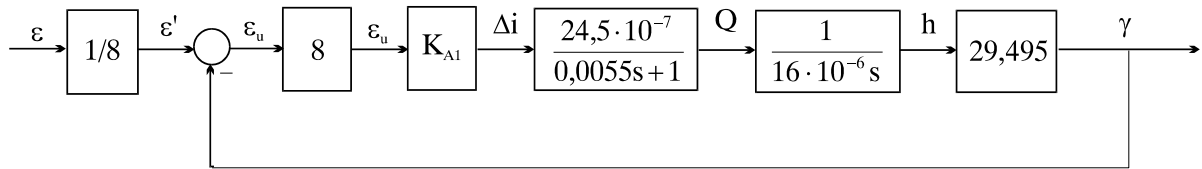


Слика 5.13: Структурни блок-дијаграм управљачког уређаја

У горњем структурном блок-дијаграму приказани су следећи коефицијенти:

$K_{A1}$ - коефицијент појачања електронског појачавача и  
 $K_p=8$  [rad/V] - кефицијент повратне везе.

Пребацивањем коефицијента повратне везе у главну грану, добија се следећа блок-шема:



Слика 5.14: Трансформисана шема управљачког уређаја

Преносна функција отвореног кола управљачког уређаја са горње шеме биће:

$$W_{ok}(s) = \frac{\gamma(s)}{\varepsilon_u(s)} = \frac{8 \cdot K_{A1} \cdot 24,5 \cdot 10^{-7} \cdot 29,495}{(0,005s + 1) \cdot 16 \cdot 10^{-6} s} \quad (5.51)$$

$$W_{ok}(s) = \frac{36,131 \cdot K_{A1}}{s(0,005s + 1)}$$

Преносна функција затвореног кола управљачког уређаја биће:

$$W_{zk}(s) = \frac{\gamma(s)}{\varepsilon'(s)} = \frac{W_{ok}(s)}{1 + W_{ok}(s)}$$

$$W_{zk}(s) = \frac{36,131 \cdot K_{A1}}{0,005s^2 + s + 36,131 \cdot K_{A1}} \quad (5.52)$$

$$W_{zk}(s) = \frac{7226,2 \cdot K_{A1}}{s^2 + 200s + 7226,2 \cdot K_{A1}}$$

Ако се горња преносна функција упореди са преносном функцијом осцилаторног елемента:

$$W(s) = \frac{1}{\frac{1}{\omega_0^2} s^2 + \frac{2\xi}{\omega_0} s + 1} \quad (5.53)$$

упоређивањем одговарајућих коефицијената добиће се:

$$W_{zk}(s) = \frac{1}{\frac{1}{7226,2 \cdot K_{A1}} s^2 + \frac{200}{7226,2 \cdot K_{A1}} s + 1} \quad (5.54)$$

Најзад, добија се:

$$\omega_0^2 = 7226,2 \cdot K_{A1} \quad (5.55)$$

$$\frac{2\xi}{\omega_0} = \frac{200}{7226,2 \cdot K_{A1}} \quad (5.56)$$

Пошто је природна кружна фреквенција  $\omega_0=55$  [rad/s], може се израчунати коефицијент појачања електронског појачавача:

$$K_{A1} = \frac{55^2}{7226,2} \quad (5.57)$$

$$K_{A1} = 0,419 \text{ [mA/V]}$$

Заменом израчунате вредности коефицијента  $K_{A1}$  у одговарајућој једначини, добија се вредност коефицијента релативног пригушења:

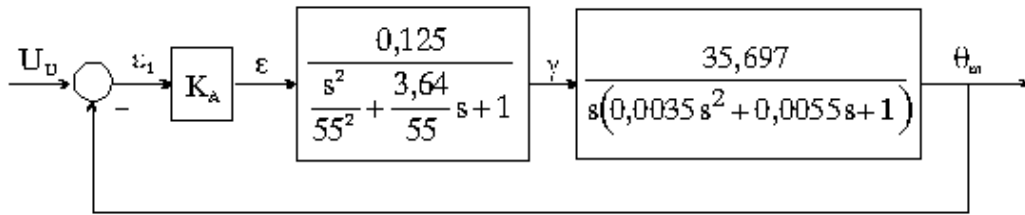
$$\xi = \frac{200 \cdot 55}{2 \cdot 7226,2 \cdot 0,419} \quad (5.58)$$

$$\xi = 1,82$$

Са вредностима природје кружне фреквенције и коефицијента релативног пригушења може се написати преносна функција затвореног кола управљачког уређаја у облику:

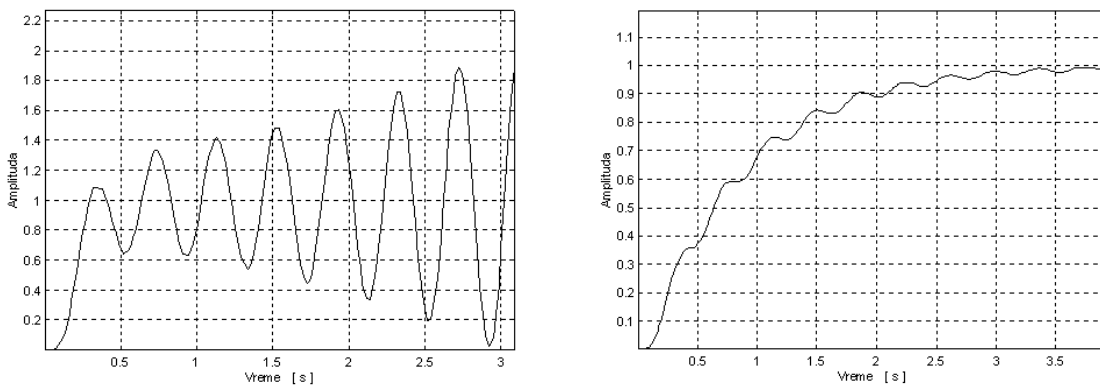
$$W_{zk}(s) = \frac{\gamma(s)}{\varepsilon'(s)} = \frac{1}{\frac{s^2}{55^2} + \frac{3,64}{55} s + 1} \quad (5.59)$$

Спајањем структурне блок-шеме управљачког уређаја и извршног органа добија се следећа структурна блок-шема:



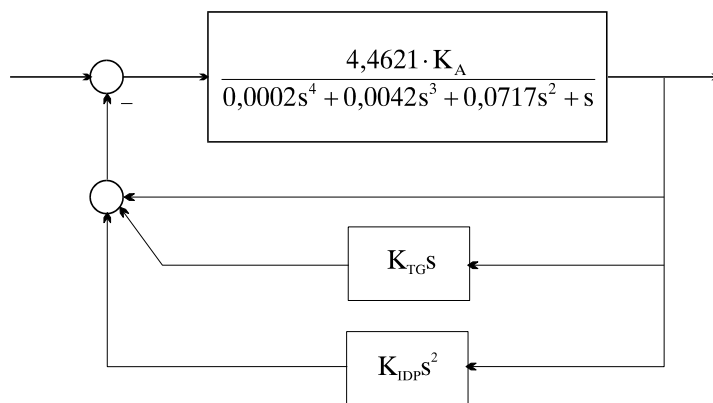
Слика 5.15: Структурна блок-шема управљачког уређаја и извршног органа

Одзиви оваког система на улазни степ-сигнал са појачањима у отвореном колу  $K_A=1$ , односно  $K_A=0,25$  нису задовољавајући јер се одликују израженом осцилаторношћу, која се не може отклонити једноставном променом коефицијента појачања, што се може видети на следећој слици.



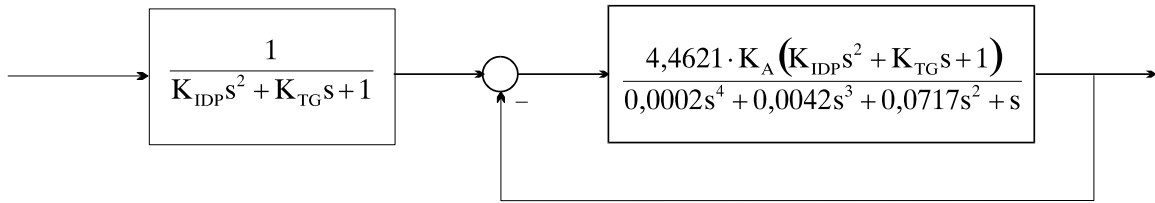
Слика 5.16: Одзив на степ-улаз за  $K_A=1$  (лево) односно  $K_A=0,25$  (десно)

У циљу побољшања динамичког понашања система, као и тачности у прелазном периоду, отклањање испољеног осцилаторног понашања постиже се структурном променом система. Најповољнији начин за то јесте остваривање повратне везе уз коришћење диференцијалних регулатора, тако да блок-дијаграм поприма облик као на следећој слици.



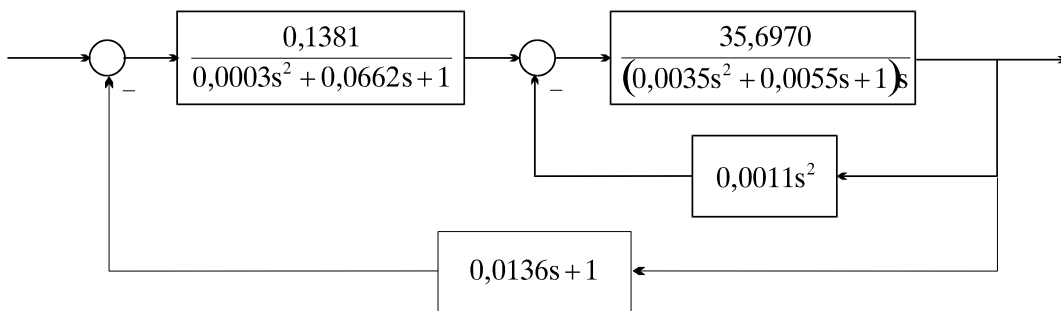
Слика 5.17: Усклађени систем управљачког уређаја и извршног органа

Због компензације наведене осцилаторности (која је последица појаве коњуговано-комплексних полова) променом структуре постиже се "скраћивање" нула и полова, а тиме и побољшање динамичких карактеристика система. Тако се врши накнадна трансформација и кориговани систем управљачког уређаја и извршног органа добија облик као што је приказано на следећој слици.



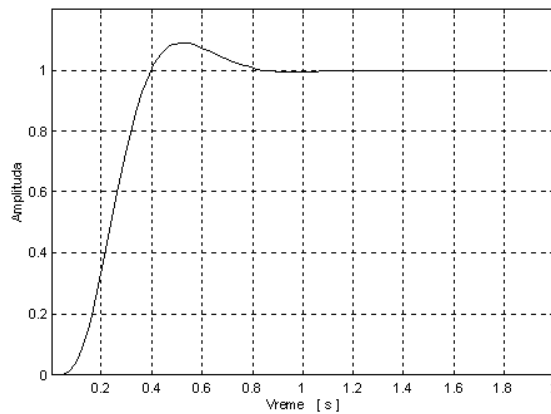
Слика 5.18: Одзив коригованог система управљачког уређаја и извршног органа

Пар коњуговано-комплексних полова неусклађеног система је:  $s_{1,2} = -1,9403 \pm 16,9794 \cdot i$ , па нуле ускладника треба да имају исте вредности, што се постиже уколико коефицијенти повратне везе имају вредности:  $K_{IDP} = 0,0035$ ,  $K_{TG} = 0,0136$  (видети Прилог 11). Такође, врши се допунска корекција променом коефицијента појачања на вредност  $K_A = 2$ , као и увођењем локалне (унутрашње) повратне спреге која уноси побољшање динамичког понашања и још више компензира осцилаторност посматраног система. У том смислу, коначно усклађени систем управљачког уређаја и извршног органа изгледаће као на следећој слици.



Слика 5.19: Одзив коначно усклађеног система управљачког уређаја и извршног органа

Одзив наведеног подсистема на улазну одскачну функцију представљен је на слици 5.7.



Слика 5.20: Одзив коначно усклађеног хидростатичког преносника снаге на улазну одскачну функцију

#### 5.4. МОДЕЛ СИСТЕМА У ПРОСТОРУ СТАЊА

Класична теорија аутоматског управљања заснована је на анализи улазних и излазних величина и грешке управљања. Математички основ овог приступа лежи у Лапласовој трансформацији и фреквентној анализи, као полазиштима при анализи и пројектовању система, при чему се анализа система своди на изучавање односа између излазних и улазних величина, у оквиру преносне функције система, чиме се успоставља веза између прошлих, садашњих и будућих вредности тих величина.

Ипак, овакав опис система има два основна недостатка. Први недостатак је да могућност примене, према [27], постоји једино уколико је систем мировао у почетном тренутку, а други је да овај начин представљања система не пружа никакву информацију о унутрашњој структури система, већ дефинише једино однос између његових терминала.

Уместо на описани начин, систем је могуће представити векторско-матричним једначинама стања, у којима фигурише матрица система –  $A$ , матрица улаза –  $B$ , матрица излаза –  $C$ , и матрица директног преноса –  $D$ . Ове матрице представљају реализацију дотичног система која се представља као  $R(A,B,C,D)$ .

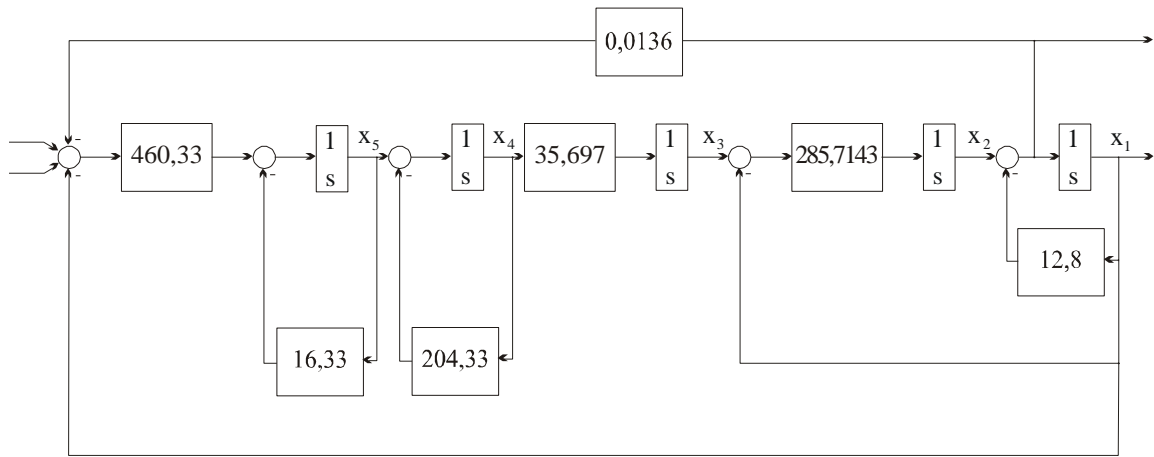
Стање система –  $x(t)$  представља минимум информација о систему које треба познавати, тако да се, уз познати улаз у систем –  $u(t)$ , једнозначно може одредити будуће понашање система. Динамика система може се описати избором различитих променљивих стања, тако да број могућности избора променљивих стања система нема ограничења. Наиме, један физички систем може описивати више апстрактних математичких модела, и обрнуто. Ово потиче од чињенице да се при формирању модела система у простору стања, односно при одабиру његових величина стања, не мора водити рачуна о физичкој заснованости тих величина и њиховој реалној интерпретацији, већ избор може бити и математички формалан. Заједничко за све изборе променљивих стања система је број изабраних променљивих стања, који мора бити минималан, и који дефинише ред (димензију) система.

Претходна разматрања у петом поглављу односила су се на решавање проблема проналажења структуре *SISO* (*single input - single output*) система за остваривање жељеног понашања објекта управљања уз коришћење класичних метода анализе и пројектовања система. У наредним разматрањима посматраћемо систем са две излазне величине: углом обртања и угаоном брзином којом се покреће објекат управљања.

Комплетан поступак пројектовања биће извршен методом система у простору стања.

У том циљу је, на основу раније изложеног, формирана детаљна структурна блок-шема посматраног хидростатичког преносника снаге, приказана на следећој слици, која представља полазиште у креирању модела хидростатичког преносника снаге система за управљање ватром у простору стања.

На улазу постоје две улазне величине које представљају могућност управљања од стране нишанције, као и могућност управљања од стране командира борбеног средства.



Слика 5.21: Детаљна структурна блок-шема мултиваријабилног модела хидростатичког преносника снаге са величинама стања

Са слике 5.21, према одабраним величинама стања, посматрани систем аутоматског управљања представљен је следећим системом диференцијалних једначина:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= -12,8 \cdot x_1 + x_2 \\
 \dot{x}_2 &= 285,7143 \cdot (-x_1 + x_3) \\
 \dot{x}_3 &= 35,697 \cdot x_4 \\
 \dot{x}_4 &= -204,33 \cdot x_4 + x_5 \\
 \dot{x}_5 &= 460,33 \cdot \{u_1 + u_2 - [x_1 + 0,0136 \cdot (-12,8 \cdot x_1 + x_2)]\} - 16,33x_5
 \end{aligned}
 \tag{5.60}$$

Представљени систем једначина може се изразити векторско-матричном једначином:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu}
 \tag{5.61}$$

где фигуришу следеће величине:

$\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5]^T$  – вектор стања система, реда 5x1,

$\mathbf{u} = [u_1 \ u_2]^T$  – вектор улаза, реда 2x1,

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -12,8 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -285,7143 & 0 & 285,7143 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 35,697 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -204,33 & 1 \\ -380,1958 & -6,2605 & 0 & 0 & -16,33 \end{bmatrix} \text{ – матрица система, реда } 5 \times 5,$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 460,33 & 460,33 \end{bmatrix} \text{ – матрица улаза, реда } 5 \times 2.$$

Осим једначине стања (5.61), може се написати и једначина излаза, такође у векторско-матричном облику:

$$\mathbf{y} = \mathbf{Cx} + \mathbf{Du} \quad (5.62)$$

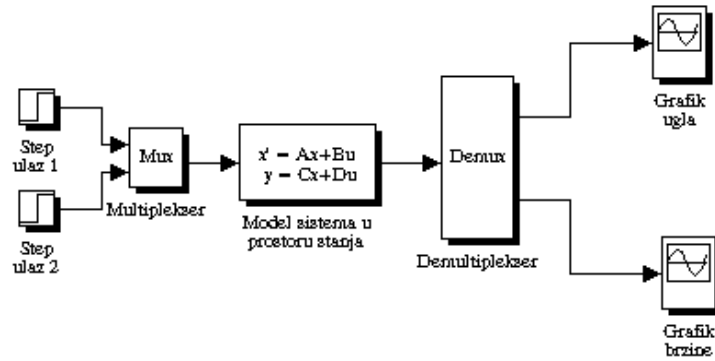
где фигуришу следеће величине:

$$\mathbf{y} = [y_1 \quad y_2]^T - \text{вектор излаза, реда } 2 \times 1,$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -12,8 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{матрица излаза, реда } 2 \times 5, \text{ и}$$

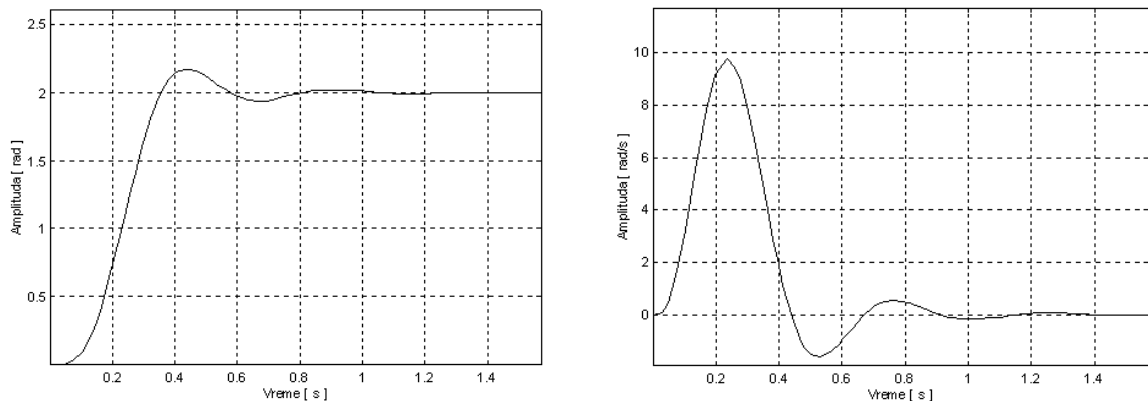
$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{матрица директног преноса, реда } 2 \times 2.$$

На основу овога, посматрани систем је представљен *Simulink* моделом у програму *Matlab* [28], као на слици 5.22, док је резултат симулације приказан на слици 5.23.



Слика 5.22: Шема мултиваријабилног модела система у простору стања

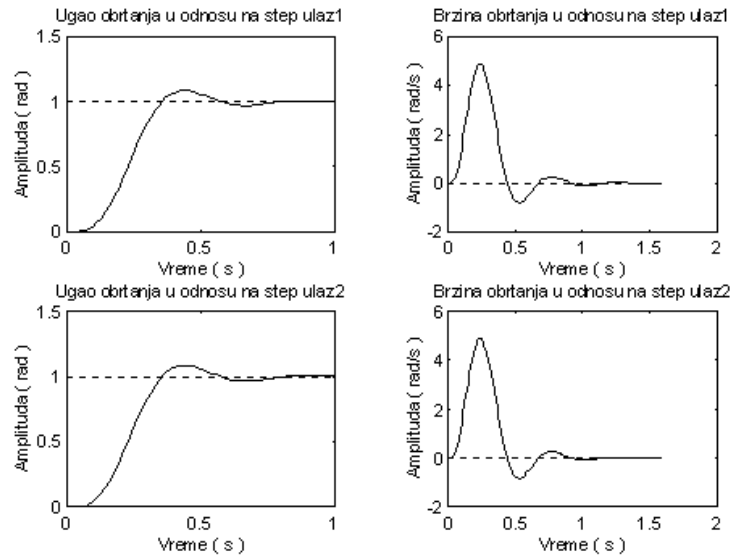
Такође, формиран је и командни *M-file*\* који црта међузависности свих комбинација улазних и излазних величина, чији резултат рада је приказан на слици 5.24.



Слика 5.23: Сумарни приказ одзива мултиваријабилног модела по углу (лево) и по угадној брзини (десно)

\* Прилог број 12.





Слика 5.24: Међузависност свих комбинација улазних и излазних величина мултиваријабилног модела система у простору стања

Овако конципиран мултиваријабилни систем у простору стања биће испитан у смислу стабилности.

#### 5.4.1. Стабилност мултиваријабилног модела представљеног системом у простору стања

Линеарни континуални систем биће стабилан уколико компонента прелазног режима ишчезава с временом, односно, изражено математички, уколико је испуњен услов:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{x}_{pr}(t) = 0 \quad (5.63)$$

Овде се (без доказа) наводи потребан и довољан услов да ће један стационарни континуални линеарни мултиваријабилни систем са концентрисаним параметрима, представљен реализацијом  $\mathbf{R}(A, B, C)$ , бити асимптотски стабилан онда и само онда уколико сви корени његове карактеристичне једначине имају негативне реалне делове, односно уколико сви корени леже у левој полуравни равни комплексног аргумента -  $s$ .

Важно место међу осталим методама за испитивање стабилности има и метод Љапунова, као један од представника алгебарских критеријума стабилности.

У широј литератури може се пронаћи опширно обрађена анализа стабилности, док је овде пажња посвећена конкретним и практичним аспектима провере посматраног система.

У том смислу најпре ће бити усвојена позитивно дефинитна матрица  $\mathbf{Q}_s$ , за коју ће бити решена матрична једначина:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A} = -\mathbf{Q}_s \quad (5.64)$$

Једначина (5.64) позната је као матрична једначина Љапунова [29], чије решење представља матрица  $\mathbf{P}$ , за коју се затим проверава да ли је позитивно дефинитна реална симетрична матрица.

Уколико је овај услов испуњен, тада је посматрани систем стабилан, тј. поседује функцију Љапунова:  $V(\mathbf{x}) = \mathbf{x}^T \mathbf{P} \mathbf{x}$ .

У складу са препорукама из литературе [29], за матрицу  $\mathbf{Q}_s$  биће одабрана јединична матрица петог реда:

$$Q_s = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.65)$$

Као решење матричне једначине Љапунова, за познату матрицу система - А, и усвојену матрицу – Q<sub>s</sub>, добија се матрица Р:

$$P = \begin{bmatrix} 0.2712 & 2.9719 & 0.1543 & -0.0279 & -5.8385 \\ 2.9719 & 71.4623 & 2.9701 & -0.2172 & -48.3451 \\ 0.1543 & 2.9701 & 0.1814 & -0.0140 & -3.0811 \\ -0.0279 & -0.2172 & -0.0140 & 0.0061 & 0.7544 \\ -5.8385 & -48.3451 & -3.0811 & 0.7544 & 154.4964 \end{bmatrix} \quad (5.66)$$

Евидентно је да је матрица Р реална и симетрична, те остаје за проверу (не)постојање особине позитивне дефинитности матрице.

Ова особина биће испитана коришћењем Силвестеровог критеријума, по коме је матрица позитивно дефинитна онда и само онда када су детерминанте свих њених дијагоналних минора веће од нуле.

Израчунавањем детерминаната свих дијагоналних минора матрице Р долази се до следећих вредности:

$$\begin{aligned} m_1 &= 0,2712 \\ m_2 &= 10,5514 \\ m_3 &= 0,5439 \\ m_4 &= 0,0017 \\ m_5 &= 0,0280 \end{aligned} \quad (5.67)$$

где је  $m_j$  - детерминанта дијагоналног минора  $j$ -ог реда, за  $j \in [1,5]$ .

Дакле, према већ наведеном Силвестеровом критеријуму, посматрани систем поседује функцију Љапунова, тј. асимптотски је стабилан.

#### 5.4.2. Пројектовање обсервера пуног реда за модел представљен системом у простору стања

Управљање радом посматраног хидростатичког преносника снаге јесте комплексан задатак, те је стога нужно обезбедити формирање управљачких променљивих величина на основу принципа повратне спреге у систему.

Повратна веза се, код мултиваријабилних система који су представљени у простору стања, може остварити двојачко: 1) као повратна веза по излазу, и 2) као повратна веза по стању.

Логично је да је, на први поглед, повољније и прихватљивије остварити повратну везу по излазу, но и повратна веза по стању има свој несумњиви значај, и то из више разлога.

Пре свега, комплетна информација о систему постоји уз постојање свих величина стања. Затим, могуће је реализовати оптимално, унапред задато управљање, уколико постоји повратна веза по величинама стања, и, коначно, на основу мерења излаза система могуће је извршити реконструкцију стања.

Последња констатација, тј. реконструкција стања, управо је и циљ пројектовања које ће сада бити представљено.

Као што је познато, посматрани систем дат је једначинама (5.61) и (5.62), уз напомену да је матрица  $D$  - нула матрица.

Проблем пројектовања опсервера јесте пројектовање допунског динамичког система, чији су улази вектор улаза -  $u$ , и вектор мерљивих излаза -  $y$ . Излаз самог опсервера треба довољно добро да апроксимативно представи стање система -  $x$ .

Диференцијална једначина опсервера пуног реда, према литератури [29], јесте:

$$\dot{\hat{x}} = A_c x + B_c y + Bu \quad (5.68)$$

Ако се напише да је грешка оцене стања дата изразом:  $e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$ , тада је израз за први извод грешке оцене стања,  $\dot{e}(t)$ , дат следећим једначинама:

$$\dot{e}(t) = \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t) \quad (5.69)$$

$$\dot{e}(t) = Ax + Bu - A_c \hat{x} - B_c y - Bu \quad (5.70)$$

Пошто важи једначина:  $y(t) = Cx$ , горња једначина поприма следећи облик:

$$\dot{e}(t) = (A - B_c C)x - A_c \hat{x} \quad (5.71)$$

Ако се претпостави да је:  $A_c = A - B_c C$ , добија се:

$$\dot{e}(t) = A_c (x - \hat{x}) = A_c e(t) \quad (5.72)$$

Стабилно решење за вектор  $e(t)$  постојаће у ситуацијама када су реални делови сопствених вредности матрице  $A_c$  лево од имагинарне осе, тј. негативни. У том случају, грешка  $e(t)$  ће тежити нули, односно реконструисано стање  $\hat{x}(t)$  тада ће тежити стварном стању  $x(t)$ , када време тежи бесконачности. Брзина "приближавања" реконструисаног стања  $\hat{x}(t)$ , стању  $x(t)$ , може се подешавати избором матрице  $B_c$ , а ово је могуће урадити манипулацијама на карактеристичном полиному опсервера  $\Delta_c(\lambda)$ , уз претпоставку потпуне обсервабилности посматраног система.

Обсервер има карактеристични полином дат следећим изразом:

$$\Delta_c(\lambda) = \Delta(\lambda) \det(I + C\Phi(\lambda)B_c) \quad (5.73)$$

где фигурише матрица:  $\Phi(\lambda) = (\lambda I - A)^{-1}$ .

За произвољно  $\lambda_k$ , које припада жељеном скупу полова  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ , и за које се жели да буде корен карактеристичног полинома  $\Delta_c(\lambda)$ , довољно је да буде испуњен услов да је:  $\det(I + C\Phi(\lambda)B_c) = 0$ . Тада се може одабрати  $n$  линеарно независних врста унутар матрице  $C\Phi(\lambda)$ , при чему ће, за сваки од  $n$  жељених полова, карактеристични полином  $\Delta_c(\lambda)$  бити једнак нули ако је испуњен услов:

$$f_i^T B_c = -e_i^T \quad (5.74)$$

где су:  $f_i^T$  –  $i$ -та врста матрице  $C\Phi(\lambda)$ , и  
 $e_i^T$  –  $i$ -та врста јединичне матрице.

Уколико се усвоје матрице  $G_c$  ( реда  $n \times n$  ), и  $E_c$  ( реда  $n \times m$  ), могуће је израчунати матрицу  $B_c$ :

$$B_c = -G_c^{-1} E_c \quad (5.75)$$

Овде матрицу  $G_c$  сачињава  $n$  одабраних врста из матрица  $C\Phi(\lambda)$  у којима су замењене вредности  $n$  жељених полова обсервера, а  $E_c$  сачињавају врсте јединичне матрице, поређане адекватно избору врста у матрици  $G_c$ .

Дакле, за конкретну реализацију пројектовања обсервера потребно је израчунати матрице  $\Phi(\lambda)$ ,  $A_c$  и  $B_c$ .

У ту сврху направљен је програм *REKON.M*\* који израчунава тражене матрице.

Да би програм *REKON.M* правилно радио, претходно је потребно вектору "*lambda*" доделити жељене вредности полова обсервера.

Да би се овако конципиран обсервер могао пројектовати, потребно је, пре свега, да посматрани систем буде потпуно реконструктибилан (обсервабилан).

Услов обсервабилности дат је захтевом да ранг матрице обсервабилности –  $Q_r$ , буде једнак реду посматраног система, при чему је матрица обсервабилности дата изразом:

$$Q_r = \left[ C^T \mid A^T C^T \mid (A^T)^2 C^T \mid \dots \mid (A^T)^{n-1} C^T \right]_{(n \times nm)} \quad (5.76)$$

За посматрани систем, трансформисана матрица обсервабилности је:

$$Q_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -12,8 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -12,8 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -121,8743 & -12,8 & 285,7143 & 0 & 0 \\ -121,8743 & -12,8 & 285,7143 & 0 & 0 \\ 5217,1 & -121,8743 & -3657,1 & 10199 & 0 \\ 5217,1 & -121,8743 & -3657,1 & 10199 & 0 \\ -31958 & 5217,1 & -34821 & -2,2145 \cdot 10^6 & 10199 \\ -31958 & 5217,1 & -34821 & -2,2145 \cdot 10^6 & 10199 \\ -4,9592 \cdot 10^6 & -95810 & 1,4906 \cdot 10^6 & 4,5125 \cdot 10^8 & -2,3811 \cdot 10^6 \end{bmatrix} \quad (5.77)$$

Како је  $\text{rang}(Q_r)=5$ , може се закључити да је посматрани систем потпуно обсервабилан, па се може пројектовати обсервер, коришћењем поменутог програма *REKON.M*.

Да би овај програм остварио правилно пројектовање, нужно је извршити избор погодних вредности за жељене полове обсервера.

Према препорукама из литературе [29], полове обсервера треба бирати нешто даље улево од полова система у затвореној повратној спрези.

У том смислу, за полове система:  $p_1=-204,32$ ,  $p_{2,3}=-4,61 \pm 12,9i$  и  $p_{4,5}=-9,96 \pm 4,83i$ , одабрани су следећи жељени полови обсервера:

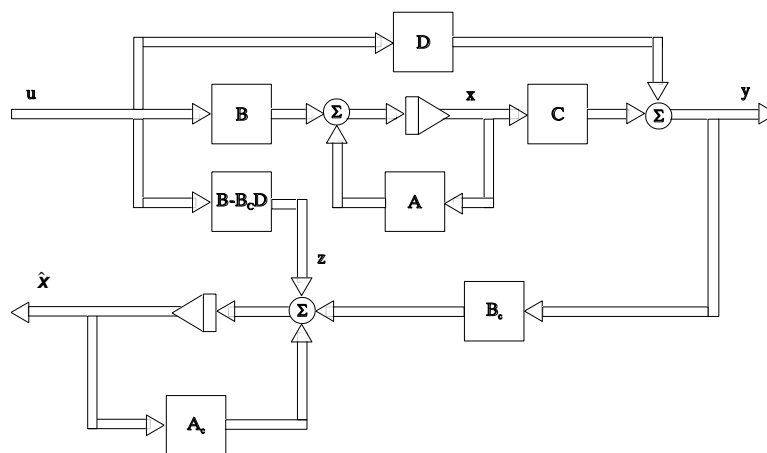
$$p_r = [-220, -10+5i, -10-5i, -15+2i, -15-2i]. \quad (5.78)$$

\* Прилог 13 – програм *REKON.M*

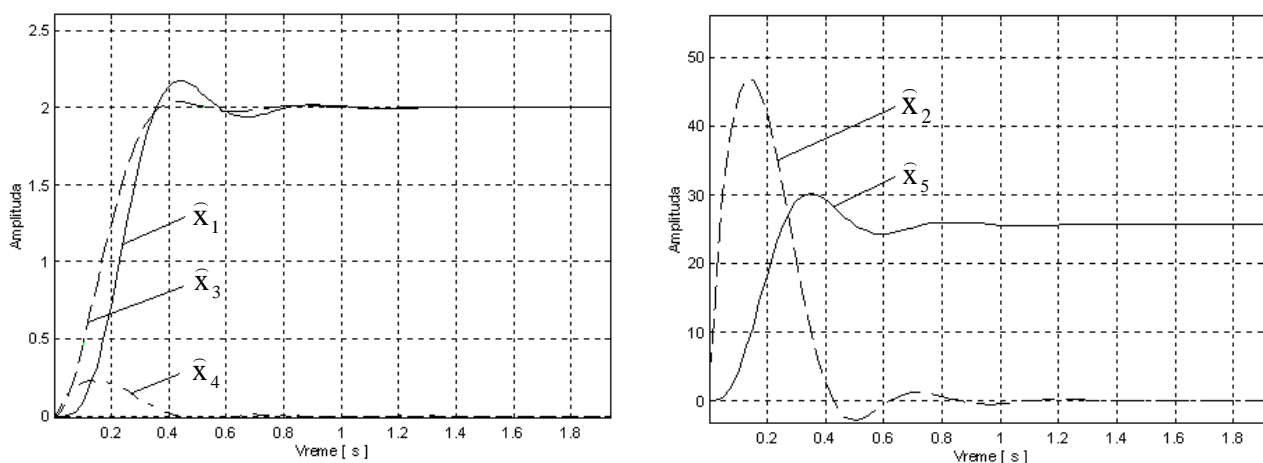
Ових пет вредности, у облику вектора-врсте "*lambda*", додељују се програму *REKON.M*, који реализује пројектовање обсервера.

Коначно, са прорачуном матрица  $A_c$  и  $B_c$ , могуће је направити симулациони модел у *Simulink* прозору *Matlab*-а, који ће представити резултате реконструисања стања система.

Принципијелна шема реконструисања стања приказана је на слици 5.25, и формиран је симулациони модел\*, а резултати симулације, односно реконструисано стање  $\hat{x}(t)$ , приказано је на слици 5.26.



Слика 5.25: Шема посматраног модела са опсервером стања пуног реда



Слика 5.26: Приказ реконструисаног стања

На овај начин формиран је обсервер мултиваријабилног модела система у простору стања.

### 5.4.3. Пројектовање обсервера редукованог реда за модел представљен системом у простору стања

Пројектовање обсервера представљено у претходној тачки представља конструкцију допунског динамичког система којим се реконструирају све величине стања, без обзира на њихову (не)доступност мерењу. Стога се такав обсервер често зове и *обсервер пуног реда* или *обсервер идентитета*.

Иако је обсервер идентитета у великој мери једноставан, он поседује извесан степен редуваности (вишка информација). Ово проистиче из чињенице да обсервер естимира комплетан вектор стања, док су поједине величине стања већ доступне путем директног мерења. Ова појава се може елиминисати пројектовањем *обсервера редукованог реда*.

\* Прилог 14 – симулациони модел обсервера стања пуног реда

Формирање обсервера редукованог реда биће описано у наставку рада.

Посматрани систем дат је једначинама (5.61):  $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu}$  и (5.62):  $\mathbf{y} = \mathbf{Cx} + \mathbf{Du}$ , при чему је матрица  $\mathbf{D}$  – нула матрица.

Ако је излазна величина:  $y(t)$ ,  $m$ -тог реда, пројектује се обсервер реда  $n \times m$  са вектором стања  $z(t)$ . Тада је згодно парцијализовати вектор стања на следећи начин:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{y} \\ \mathbf{w} \end{bmatrix} \quad (5.79)$$

где су:  $\mathbf{y}$  - вектор излазних величина, доступних мерењу, и  
 $\mathbf{w}$  - део вектора стања недоступан мерењу.

У складу са изнетим, диференцирањем вектора величине стања, систем се може представити у следећем облику:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{y}}(t) &= \mathbf{A}_{11}\mathbf{y}(t) + \mathbf{A}_{12}\mathbf{w}(t) + \mathbf{B}_1\mathbf{u}(t) \\ \dot{\mathbf{w}}(t) &= \mathbf{A}_{21}\mathbf{y}(t) + \mathbf{A}_{22}\mathbf{w}(t) + \mathbf{B}_2\mathbf{u}(t) \end{aligned} \quad (5.80)$$

где су:  $A_{ij}$  ( $i, j=1 \div 2$ ) - субматрице матрице система, и  
 $B_i$  ( $i=1 \div 2$ ) - субматрице матрице улаза.

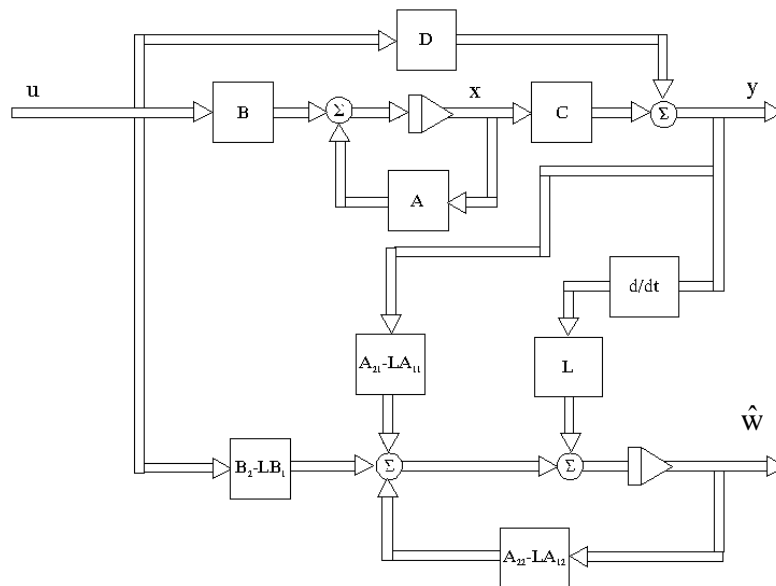
Према [30], формирање обсервера редукованог реда реализовано је као што следи.

Вектор  $\mathbf{y}(t)$  је доступан мерењу, па се може добити и његов први извод  $\dot{\mathbf{y}}(t)$ . Пошто је улазна величина  $\mathbf{u}(t)$  такође мерљива, из прве једначине под (5.80) може се израчунати  $\mathbf{A}_{12}\mathbf{w}(t)$ , а одатле убацити део вектора стања –  $\mathbf{w}(t)$  који се налази у другој једначини под (5.80), уз остатак израза:  $\mathbf{A}_{21}\mathbf{y}(t) + \mathbf{B}_2\mathbf{u}(t)$ .

На тај начин могуће је формирати обсервер идентитета, реда  $n \times m$ , за другу једначину у изразу (5.80), чије је понашање дато следећим изразом:

$$\dot{\hat{\mathbf{w}}}(t) = (\mathbf{A}_{22} - \mathbf{LA}_{12})\hat{\mathbf{w}}(t) + \mathbf{A}_{21}\mathbf{y}(t) + \mathbf{B}_2\mathbf{u}(t) + \mathbf{L}(\dot{\mathbf{y}}(t) - \mathbf{A}_{11}\mathbf{y}(t)) - \mathbf{LB}_1\mathbf{u}(t). \quad (5.81)$$

Овако пројектовани обсервер може се представити и наредним шематским приказом:



Слика 5.27: Посматрани модел система у простору стања са обсервером стања редукованог реда

С обзиром на неповољност захтеваног диференцирања излазне величине  $y(t)$ , може се извршити модификовање претходне шеме, тако да се добија нова шема конфигурације која је приказана на слици 5.28.

Ово даје жељени коначни облик обсервера, што се дефинисати следећом једначином:

$$\dot{\mathbf{z}}(t) = (\mathbf{A}_{22} - \mathbf{L}\mathbf{A}_{12})\mathbf{z}(t) + (\mathbf{A}_{22} - \mathbf{L}\mathbf{A}_{12})\mathbf{L}\mathbf{y}(t) + (\mathbf{A}_{21} - \mathbf{L}\mathbf{A}_{11})\mathbf{y}(t) + (\mathbf{B}_2 - \mathbf{L}\mathbf{B}_1)\mathbf{u}(t) \quad (5.82)$$

где су:

$$\mathbf{z}(t) = \hat{\mathbf{w}}(t) - \mathbf{L}\mathbf{y}(t), \quad (5.83)$$

$\mathbf{L}$  - матрица обсервера.

Парцијализацијом матрица којима је представљен посматрани систем, добијају се следеће субматрице:

$$\mathbf{A}_{11} = \begin{bmatrix} -12,8 & 1 \\ -285,7143 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.84)$$

$$\mathbf{A}_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 285,7143 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.85)$$

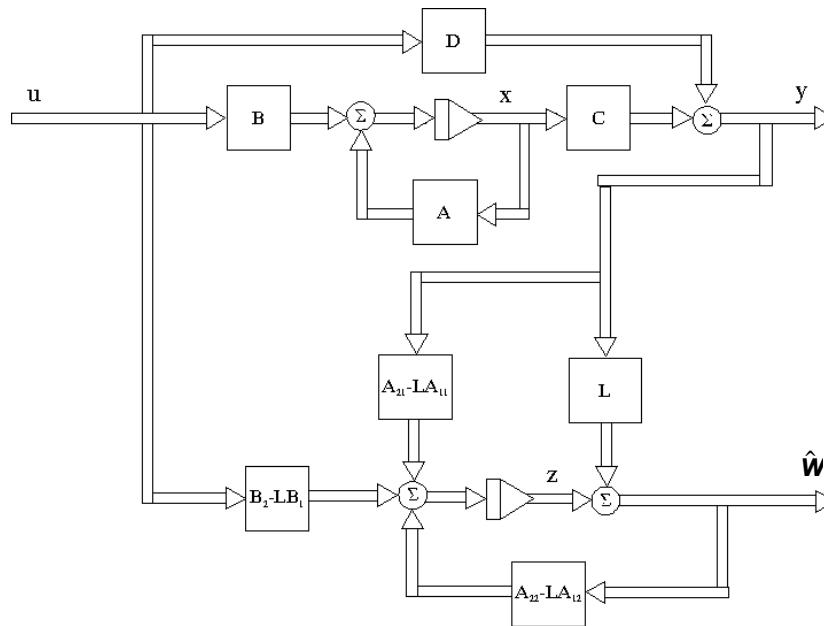
$$\mathbf{A}_{21} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -380,1958 & -6,2605 \end{bmatrix} \quad (5.86)$$

$$\mathbf{A}_{22} = \begin{bmatrix} 0 & 35,697 & 0 \\ 0 & -204,33 & 1 \\ 0 & 0 & -16,33 \end{bmatrix} \quad (5.87)$$

$$\mathbf{B}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.88)$$

$$\mathbf{B}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 460,33 & 460,33 \end{bmatrix} \quad (5.89)$$

Рedefинисани обсервер који је у односу на  $\hat{\mathbf{w}}(t)$  еквивалентан обсерверу приказаном на слици 5.27, шематски је приказан као на следећој слици:



Слика 5.28: Посматрани модел система стања са коначним обликом обсервера стања редукованог реда

Према [30], матрица  $L$  може бити одабрана тако да матрица:  $A_{22}-LA_{12}$  има произвољне сопствене вредности, а из математичких услова који произилазе из операција множења и сабирања матрица, следи да матрица  $L$  мора бити реда  $3 \times 2$ , тј. облика

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} \\ l_{21} & l_{22} \\ l_{31} & l_{32} \end{bmatrix}.$$

Рад пројектованог обсервера редукованог реда симулиран је у *Matlab-y*\*. Најпре се симулационом моделу додељују вредности у главном прозору *Matlab*-а, стартовањем програма *RDKV\_MAT.M*,\*\* уз претходно додељивање вредности матрици  $L$ .

Изложеним поступком пројектовања заокружен је приказ реконструкције оних величина стања посматраног система које су недоступне мерењу, коришћењем обсервера редукованог реда, пошто је најпре био пројектован обсервер пуног реда.

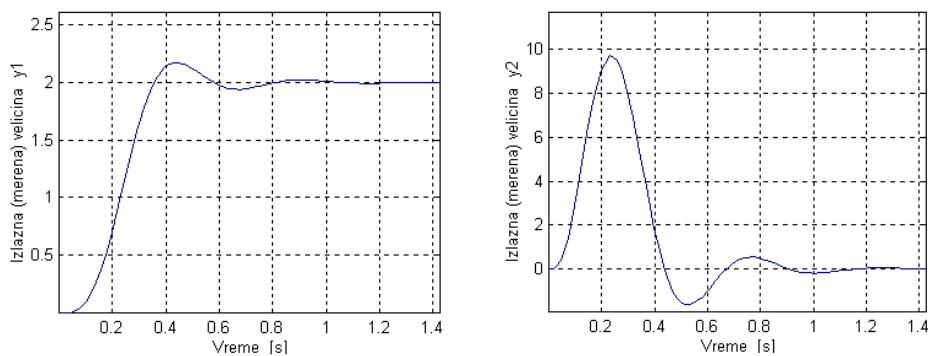
Од бројних начина пројектовања обсервера, овом приликом одабран је алгоритам изложен у литератури [30]. Својом једноставношћу тај алгоритам је омогућио реконструкцију недоступних величина стања, уз могућност варирања динамичких карактеристика обсервера у зависности од износа сопствених вредности матрице обсервера:  $A_{22}-LA_{12}$ .

Ипак, без обзира на избор сопствених вредности, излазне (мерене) величине стања система исте су за било које сопствене вредности матрице обсервера, и дате су на слици 5.29.

\* Прилог 15 – симулациони модел обсервера стања редукованог реда

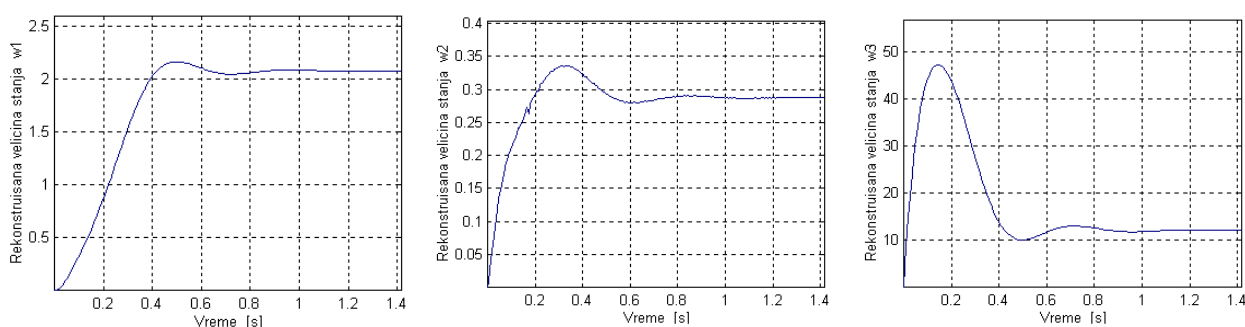
\*\* Прилог 16 – програм за одређивање коефицијената матрице обсервера стања редукованог реда



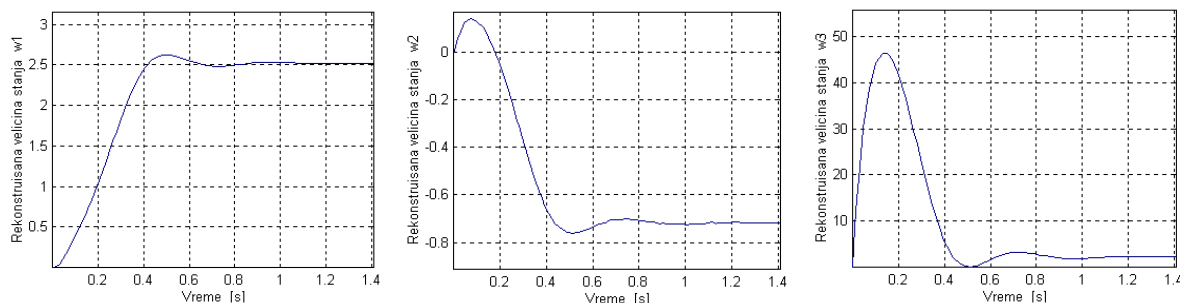


Слика 5.29: Излазне (мерене) величине стања

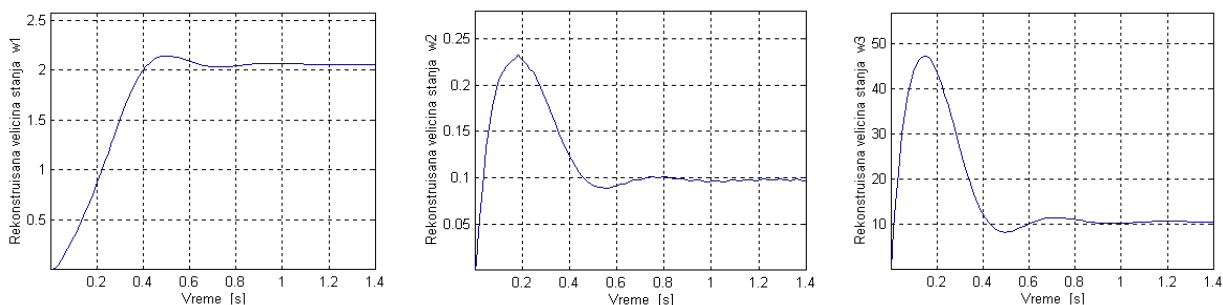
Остале (реконструисане) величине стања система узимају одређени облик сходно избору сопствених вредности матрице обсервера, и на следећим сликама су изложене неке од њих.



Слика 5.30: Реконструисане величине стања за сопствене вредности матрице обсервера:  $-493,7412$ ;  $-253,1754$ ;  $-16,6006$ .



Слика 5.31: Реконструисане величине стања за сопствене вредности матрице обсервера:  $-82,3394$ ;  $-120,5075$ ;  $-17,8131$ .



Слика 5.32: Реконструисане величине стања за сопствене вредности матрице обсервера:  $-0,1633$ ;  $-2,4502+0,9243i$ ;  $-2,4502-0,9243i$ .

Са претходних слика јасно се уочава важност избора сопствених вредности, а тиме и будућег динамичког понашања обсервера, па тако и обликовања реконструисаних величина.

#### 5.4.4. Оптимално управљање

Један од важних модалитета пројектовања мултиваријабилних система аутоматског управљања јесте теорија оптималног управљања.

Основни задатак теорије оптималног управљања јесте превођење система у стационарно стање дуж оптималних трајекторија у простору стања, а ово је могуће када одређени показатељ квалитета понашања система поприма оптималну вредност. Поменути показатељи квалитета понашања система могу се дефинисати на више начина, а овде ће се применити оптимално управљање на основу минимизације квадратног индекса перформанси, који је дат следећим изразом:

$$J = \int_0^{\infty} (\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}) dt \quad (5.90)$$

где су:  $\mathbf{Q}$  – позитивно (семи)дефинитна, реална, симетрична матрица, реда  $n \times n$ , и  $\mathbf{R}$  – позитивно дефинитна, реална, симетрична матрица, реда  $p \times p$ .

Од великог значаја је избор пондеришућих матрица  $\mathbf{Q}$  и  $\mathbf{R}$ , зато што елементи матрице  $\mathbf{Q}$  дају значај одговарајућим величинама стања, док елементи матрице  $\mathbf{R}$  пондеришу одговарајуће елементе вектора управљања.

Ове матрице се често задају као дијагоналне.

Примењено на посматрани модел система у простору стања, који је дат једначинама (5.61) и (5.62), треба решити постављени проблем оптималног управљања.

У теорији аутоматског управљања показано је (*Kalman*) да ће индекс перформанси, наведен једначином (5.90), бити минималан за добијени линеарни закон управљања:

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{K}\mathbf{x}(t). \quad (5.91)$$

Зато ће проблем оптимизације система који је дат реализацијом  $\mathbf{R}(A, B, C)$  бити решен проналажењем матрице  $\mathbf{K}$  која ће омогућити пројектовање коректора (регулатора) у повратној спрези система, а тиме и прорачун оптималних управљачких променљивих на основу величина стања система.

У току самог одређивања оптималних управљачких променљивих, пројектовањем коректора у повратној спрези система, биће искоришћен обсервер стања пуног реда, пројектован у претходној тачки рада.

Да би се приступило пројектовању оптималног система, потребно је да постоји потпуна управљивост, односно да ранг матрице управљивости ( $\mathbf{Q}_u$ ) буде једнак реду система.

Матрица управљивости дата је једначином:

$$\mathbf{Q}_u = \begin{bmatrix} \mathbf{B} | \mathbf{A}\mathbf{B} | \mathbf{A}^2\mathbf{B} | \dots | \mathbf{A}^{n-1}\mathbf{B} \end{bmatrix}_{(n \times np)} \quad (5.92)$$

што за конкретно разматрани систем јесте:

$$\mathbf{Q}_u = \begin{bmatrix} \mathbf{B} | \mathbf{A}\mathbf{B} | \mathbf{A}^2\mathbf{B} | \mathbf{A}^3\mathbf{B} | \mathbf{A}^4\mathbf{B} \end{bmatrix} \quad (5.93)$$

Елементарним трансформацијама над колонама матрице  $Q_u$ , на крају се добија:

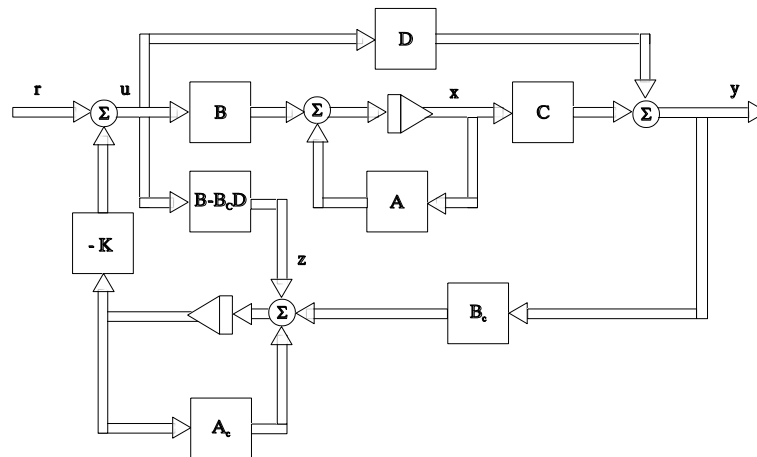
$$Q_u = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4,695 \cdot 10^6 & 4,695 \cdot 10^6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4,695 \cdot 10^6 & 4,695 \cdot 10^6 & -1,036 \cdot 10^9 & -1,036 \cdot 10^9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 16,432 & 16,432 & -3,626 \cdot 10^6 & -3,626 \cdot 10^6 & 7,4528 \cdot 10^8 & 7,4528 \cdot 10^8 \\ 0 & 0 & 460,33 & 460,33 & -1,0158 \cdot 10^5 & -1,0158 \cdot 10^5 & 2,0878 \cdot 10^7 & 2,0878 \cdot 10^7 & -4,268 \cdot 10^9 & -4,268 \cdot 10^9 \\ 460,33 & 460,33 & -7517,2 & -7517,2 & 1,2276 \cdot 10^5 & 1,2276 \cdot 10^5 & -2,0046 \cdot 10^6 & -2,0046 \cdot 10^6 & 3,3423 \cdot 10^6 & 3,3423 \cdot 10^6 \end{bmatrix} \quad (5.94)$$

Пошто је  $\text{rang}(Q_u)=5$ , закључак је да је посматрани систем, описан реализацијом  $R(A,B,C)$ , потпуно управљив (контролабилан), те се стога може приступити пројектовању оптималног система.

При пројектовању оптималног система искористиће се реконструисано стање  $\hat{x}(t)$ .

### 5.4.5. Оптимални систем са коректором на бази обсервера пуног реда

Имајући у виду модел посматраног система са обсервером пуног реда, приказан на слици 5.25, могуће је формирати модел оптималног система са коректором (регулатором) на бази обсервера пуног реда, што је приказано на следећој блок-шеми:



Слика 5.33: Оптимални систем са коректором на бази обсервера пуног реда

Овако приказан систем где се матрицом појачања у повратној спреси врши корекција, путем минимизације квадратног индекса перформанси, датог једначином (5.90), зове се још и систем са линеарним квадратним регулатором, тј. Калмановим регулатором, за који ће бити одређена матрица појачања.

Уколико је  $u(t) = -Kx(t)$ , заменом тог израза у једначини (5.61), добија се:

$$\dot{x} = Ax - BKx = (A - BK)x \quad (5.95)$$

Такође, заменом израза за  $u(t)$  у једначину (5.90) добија се:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + x^T K^T R K x) dt = \int_0^{\infty} x^T (Q + K^T R K) x dt \quad (5.96)$$

Горња једначина представља полазиште при прорачуну матрице појачања  $K$ , па се може добити редукована матрична једначина:

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0 \quad (5.97)$$

Ова једначина је у теорији аутоматског управљања позната као Рикатијева (*Riccati*) матрична алгебарска једначина. У њој, поред матрица система  $(A,B)$  и тежинских матрица  $(Q,R)$ , фигурише још и матрица  $P$ . Матрица  $P$  је реална, симетрична и позитивно дефинитна матрица која представља решење Рикатијеве једначине.

Стога је потребно најпре решити Рикатијеву једначину по матрици  $P$ , а онда ту матрицу заменити у једначини за израчунавање матрице  $K$ :

$$K = R^{-1}B^T P \quad (5.98)$$

Основна претпоставка пројектовања оптималног система са коректором на бази обсервера пуног реда јесте стабилност матрице  $A-BK$ , која постоји уколико постоји особина обсервабилности пара  $[A,S]$ , при чему је матрица  $S$  дефинисана једначином:

$$Q = S^T S. \quad (5.99)$$

Из практичних разлога, за матрицу  $S$  бира се јединична матрица, што значајно поједностављује поступак креирања пондеришуће матрице  $Q$ , јер је тада:  $Q=S$ , уз испуњен услов дефинисаности, дат једначином (5.99).

За разлику од поступка при пројектовању обсервера, када су задавани жељени полови, овде се користи итеративно проналажење оптималних вредности коефицијената матрица  $Q$  и  $R$ . Постоје препоруке које указују на одабир ових матрица у дијагоналном облику, где треба водити рачуна о томе да веће вредности матрице  $R$  смањују управљачки напор, док веће вредности матрице  $Q$  смањују време смирења одговарајућих променљивих стања.

У ту сврху креиран је програм *OPT\_SIST.M*<sup>\*</sup> којим је извршено опитовање и пројектовање оптималног система са коректором на бази обсервера пуног реда, за различите вредности пондеришућих матрица  $Q$  и  $R$ .

Након више итерација прорачунати су параметри потребни за стартовање симулационог модела<sup>\*\*</sup>, и то за коефицијенте  $q=1$ , и  $r=10^6$  (из програма *OPT\_SIST.M*).

За наведене вредности поменутих коефицијената добијају се следеће вредности:

$$Q = S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10^6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10^6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10^6 \end{bmatrix}. \quad (5.100)$$

С обзиром да је пар  $[A,S]$  потпуно обсервабилан, приступа се решавању Рикатијевој матричној једначини, (5.97), чије је решење матрица  $P$ :

\* Прилог 17 – програм за пројектовање оптималног система

\*\* Прилог 18 – симулациони модел оптималног система

$$P = \begin{bmatrix} 30,5448 & -0,7909 & -53,5198 & -9,1190 & -0,4328 \\ -0,7909 & 0,2137 & -0,0007 & -0,0515 & -0,0465 \\ -53,5198 & -0,0007 & 189,6230 & 33,0551 & 1,2086 \\ -9,1190 & -0,0515 & 33,0551 & 5,7772 & 0,2217 \\ -0,4328 & -0,0465 & 1,2086 & 0,2217 & 0,0442 \end{bmatrix}. \quad (5.101)$$

Добијена матрица  $P$  је очигледно реална и симетрична, те остаје провера њене позитивне дефинитности. Провера се врши на основу познатог Силвестеровог критеријума по коме је матрица позитивно дефинитна онда и само онда кад су детерминанте свих њених дијагоналних минора веће од нуле.

Ако се са  $M_i$  означи детерминанта дијагоналног минора  $i$ -тог реда матрице  $P$ , тада је:

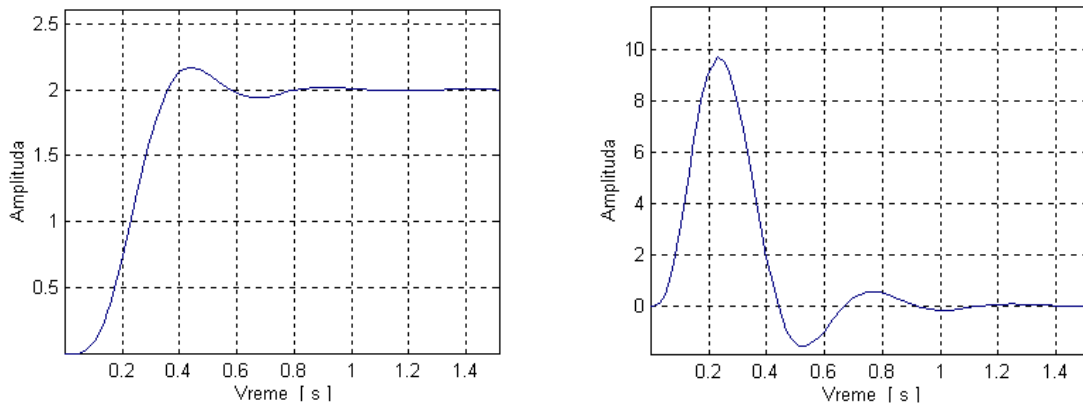
$$M_1=30,5448, M_2=5,9019, M_3=506,9612, M_4=1,3415 \text{ и } M_5=0,0279. \quad (5.102)$$

У складу са наведеним критеријумом, и у односу на (5.102), може се закључити да матрица  $P$  јесте решење Рикатијеве једначине, те се као таква може заменити у једначини (5.98), ради израчунавања матрице  $K$  (Калмановог) линеарног квадратног регулатора.

Реализацијом поменуте замене добија се вредност за матрицу  $K$ :

$$K = \begin{bmatrix} -0,1992 & -0,0214 & 0,5563 & 0,1020 & 0,0203 \\ -0,1992 & -0,0214 & 0,5563 & 0,1020 & 0,0203 \end{bmatrix}. \quad (5.103)$$

На тај начин, оптимални систем са коректором на бази обсервера пуног реда, приказан на слици 5.33, и пројектован програмом *OPT\_SIST.M*, након стартовања симулационог модела даје резултат приказан на следећој слици:

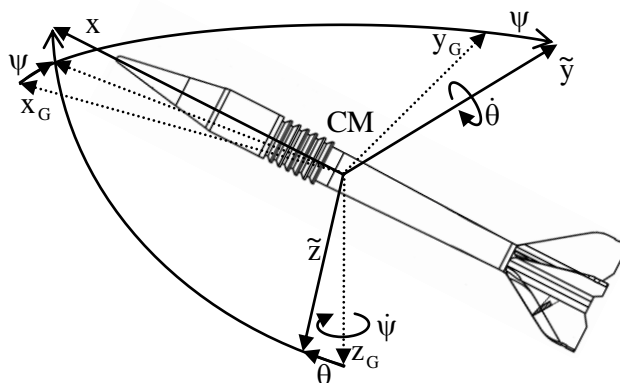


Слика 5.34: Резултати симулације оптималног система са коректором на бази обсервера пуног реда

## 6. АЕРОДИНАМИЧКА ИСПИТИВАЊА И СПОЉНОБАЛИСТИЧКИ ПРОРАЧУН ЗА НЕПОСРЕДНО ГАЂАЊЕ ПОТКАЛИБАРНИМ ПРОЈЕКТИЛОМ

### 6.1. АЕРОДИНАМИЧКО ИСПИТИВАЊЕ ПРОЈЕКТИЛА ПКО 125 mm M88

Поткалибарни пројектил на слици 5.1, приказан у аеробалистичком координатном систему [1], са координатним почетком у центру масе, представља осносиметрични пројектил са пет стабилизационих крилаца стандардне геометрије.



Слика 6.1: Поткалибарни пројектил ПКО 125mm M88 у аеробалистичком координатном систему

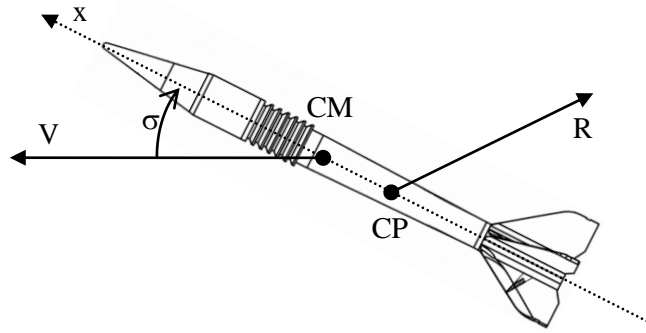
Координатне осе су обележене према следећем:

- $x$  – уздужна главна оса инерције пројектила,
- $\tilde{y}$  – оса која чини десни триедар у хоризонталној равни (односно поглед надесно у правцу лета пројектила),
- $\tilde{z}$  – оса усмерена на доле у вертикалној равни.

На слици 5.1. уочава се и угао скретања у хоризонталној равни ( $\psi$ ) око осе  $z_G$ , као и угао пропињања ( $\theta$ ) у вертикалној равни око осе  $\tilde{y}$ . Променама наведених углова настају и угаона брзина  $\dot{\psi}$ , односно угаона брзина  $\dot{\theta}$ , приказане на истој слици.

Поткалибарни пројектил испитиван је у лабораторијама Војнотехничког института, у циљу одређивања аеродинамичких коефицијената и њихових дериватива. Поједини резултати наведених испитивања, дати у литератури [16], искоришћени су у овој дисертацији током извршења симулација гађања, а подаци од значаја за реализацију наведених симулација (конструктивни подаци и геометријске и физичке величине) дати су у Прилогу 5.

Као што је познато, од узајамног положаја центра масе и центра притиска зависи да ли ће пројектил бити статички стабилан или нестабилан [31]. Код класичних артиљеријских пројектила центар притиска налази се испред центра масе, што изазива повећање нападног угла а тиме и дестабилишући момент, па су такви пројектили статички нестабилни. Повећање статичке стабилности у том случају постиже жироскопским ефектом, односно ротацијом око уздужне осе која се пројектилу саопштава унутар цеви оруђа, ожлебљене одређеним углом увијања, што је детаљно размотрено у литератури [32].



Слика 6.2: Принциуска шема стабилизације поткалибарног пројектила у вертикалној равни

На горњој слици је видљиво да се центар притиска налази иза центра масе поткалибарног пројектила, због чега негативни аеродинамички момент делује на смањење нападног угла  $\sigma$ . Зато у овом случају није нужна додатна ротација ради повећања стабилности лета пројектила, јер је он већ статички стабилан.

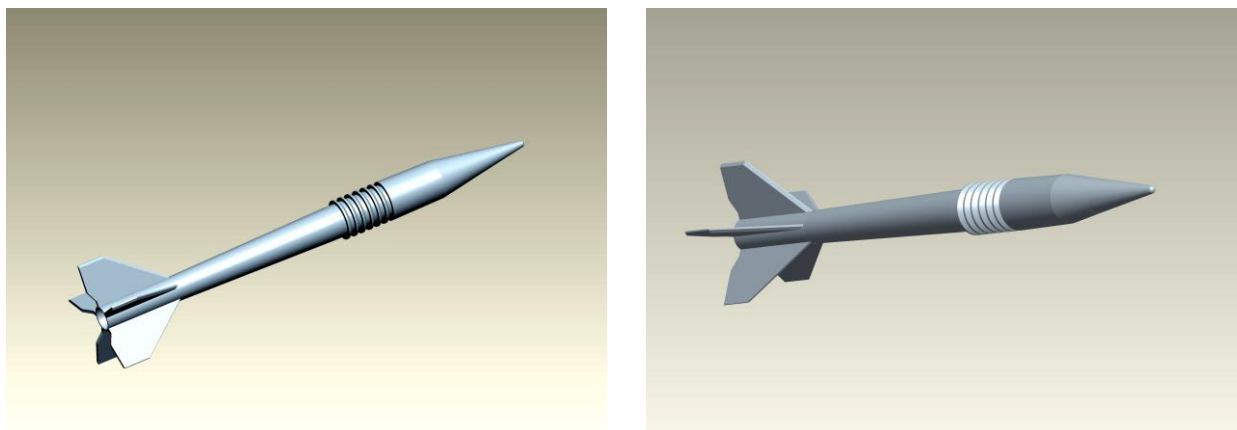
Приликом непосредног гађања из тенковског топа 125 mm на тенку М84, ефикасност гађања може се разматрати у односу на тачност и прецизност на циљу, при чему тачност представља однос одступања средњег поготка испалених пројектила кроз вертикалну раван, у односу на нишанску тачку, док се прецизност може представити расподелом статистичке густине одступања у односу на средњи погодак.

Више параметара утичу на тачност и прецизност ватре тенковског топа при непосредном гађању, где се, према [33], може усвојити следећа подела:

- параметри спољашњих утицаја (атмосфера, ветар и слично),
- параметри пројектила,
- параметри цеви тенковског топа,
- параметри система за управљање ватром.

Уколико се посматра утицај компоненти система за управљање ватром, уз истовремено занемаривање утицаја осталих параметара, симулацијом се може извршити анализа утицаја граничних толеранција тих компоненти. На тај начин анализа ће бити изолована од осталих утицајних параметара.

Симулације су вршене коришћењем програмског решења модела кретања пројектила са шест степени слободе кретања, из литературе [14]. Наведено програмско решење модификовано је у складу са специфичностима ове дисертације, а током симулације су коришћени конструктивни подаци и резултати експерименталних мерења Војнотехничког института за поткалибарни пројектил ПКО 125 mm М88.

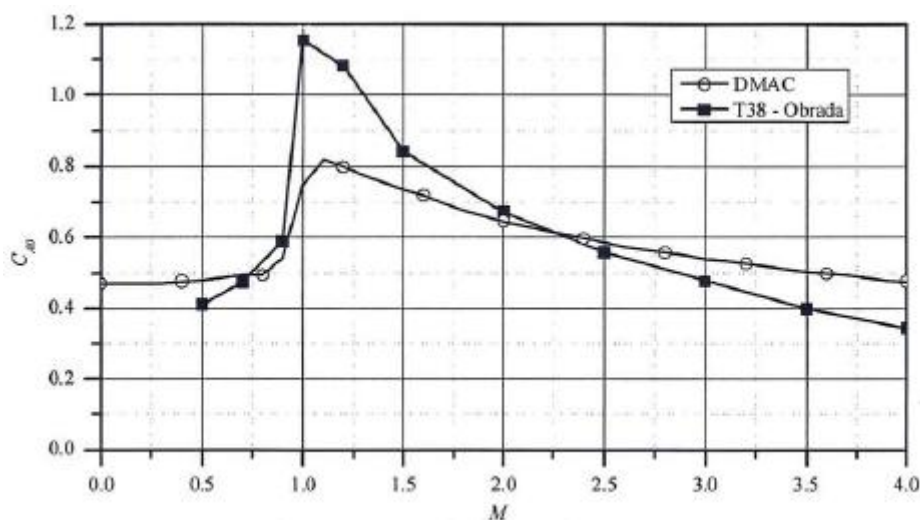


Слика 6.3: Модел поткалибарног пројектила ПКО 125mm М88

На слици 6.3. приказан је модел поткалибарног пројектила ПКО 125mm М88 израђен у програмском пакету *ProEngineer Wildfire M090*, на основу радионичких цртежа и података из конструктивне документације Војнотехничког института и искустава из литературе [34]. Подаци потребни за рад програмског решења модела кретања пројектила са шест степени слободе кретања налазе се у Прилогу 5 дисертације.

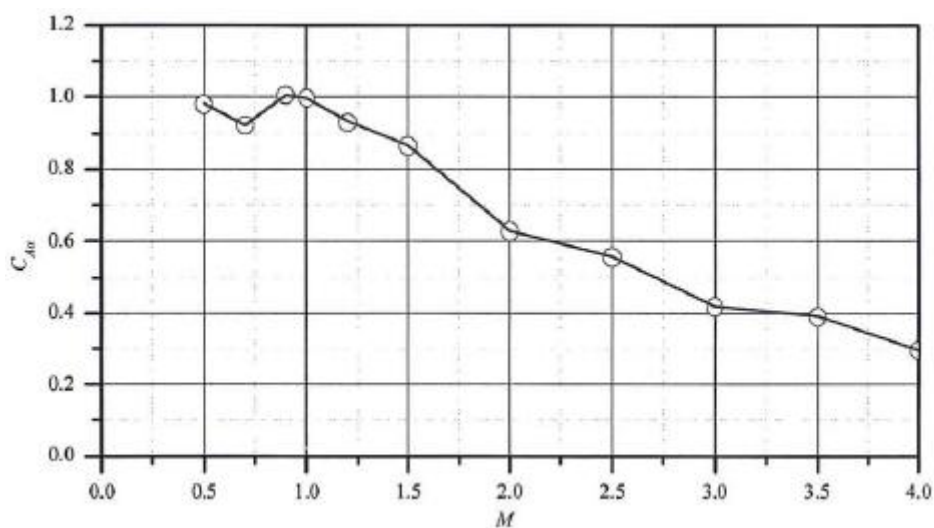
У литератури [35] детаљно су представљени аеродинамички коефицијенти и њихова важност при аеродинамичким испитивањима. Прорачуном (у програму DMAC), као и експерименталним мерењима у ваздушном трисоничном тунелу Т-38 Војнотехничког института, добијени су подаци аеродинамичких коефицијената чији су графици представљени на следећим сликама, а поједине нумеричке вредности искоришћене током реализовања симулација [16].

Мерења су извршена на моделу који је испитан у субсоничној, трансоничној и суперсоничној области брзина, при чему је Махов број вариран у распону од 0,5 до 4,0, док су нападни углови мењани у опсегу од  $-6^\circ$  до  $+6^\circ$ , и на углу ваљања од  $0^\circ$ .

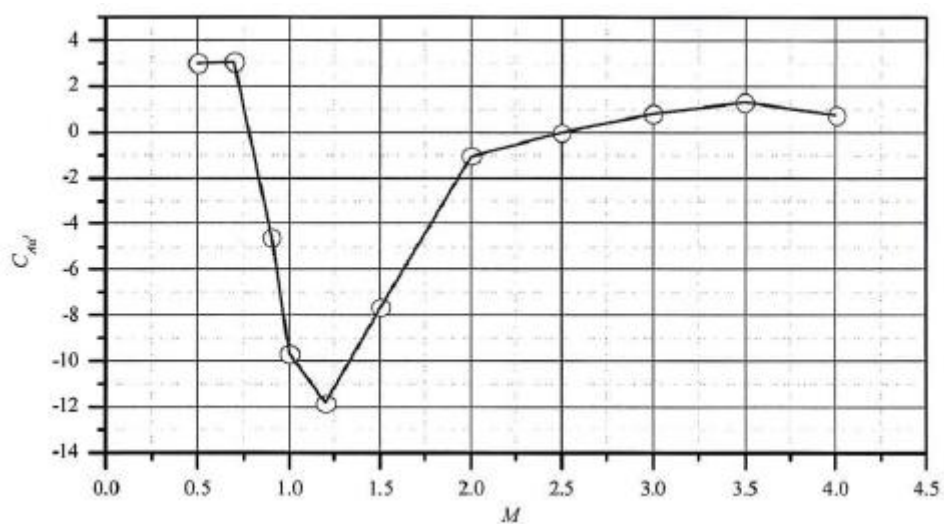


Слика 6.4: Аеродинамички коефицијент аксијалне силе за нападни угао  $\alpha=0^\circ$  ( $C_{A0}$ )

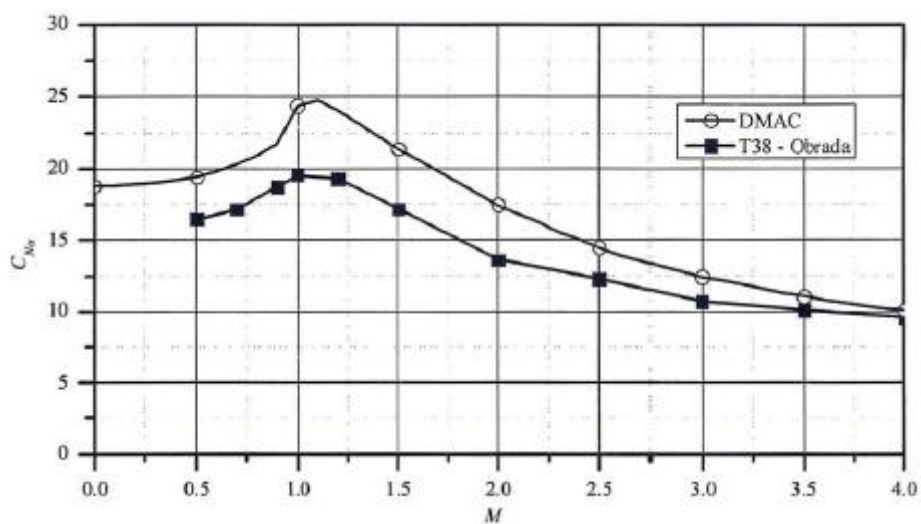




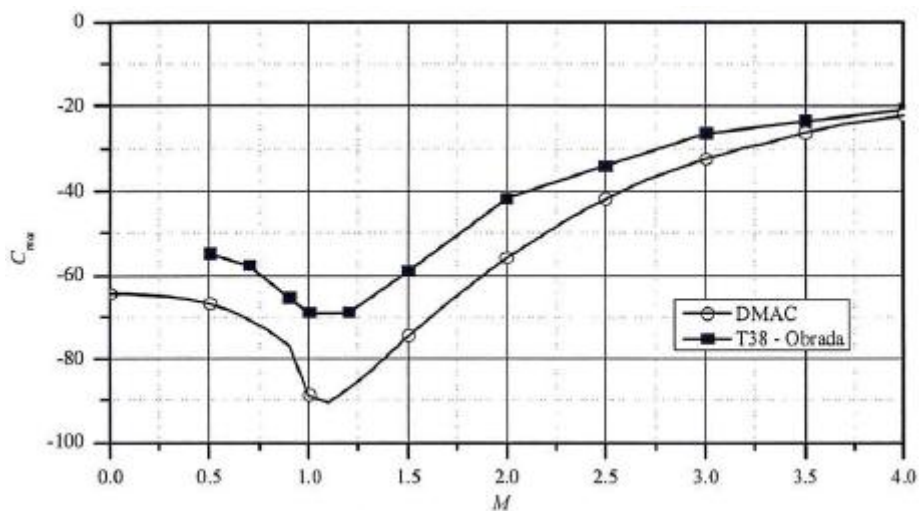
Слика 6.5: Градијент аеродинамичког коефицијента аксијалне силе по нападном углу  $\alpha$  ( $C_{A\alpha}$ )



Слика 6.6: Дериватив аеродинамичког коефицијента аксијалне силе по  $\alpha^2$  ( $C_{A\alpha^2}$ )



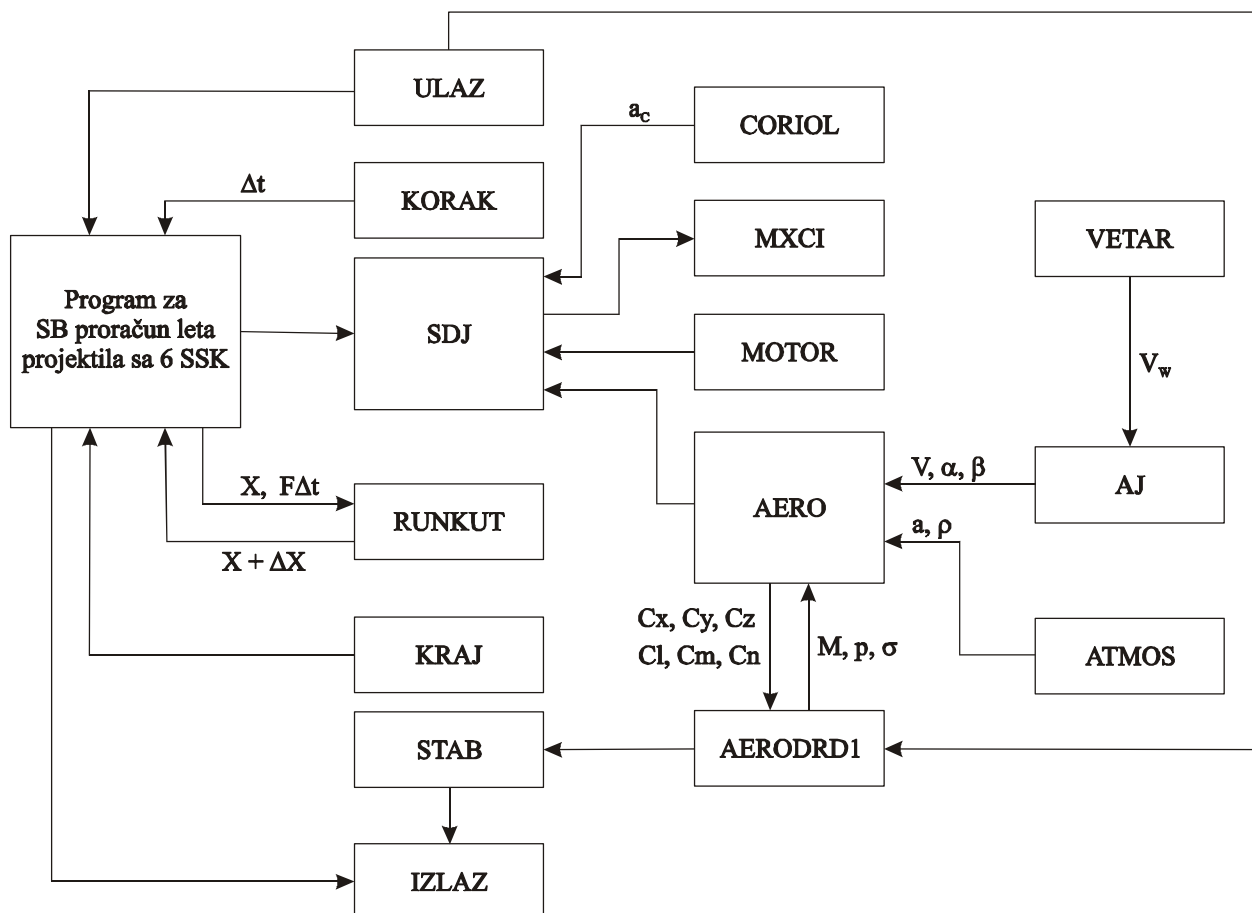
Слика 6.7: Градијент аеродинамичког коефицијента нормалне силе по нападном углу  $\alpha$  ( $C_{N\alpha}$ )



Слика 6.8: Градијент аеродинамичког коефицијента момента пропињања по нападном углу α ( $C_{m\alpha}$ )

## 6.2. СПОЉНОБАЛИСТИЧКИ ПРОРАЧУН И СИМУЛАЦИЈА НЕПОСРЕДНОГ ГАЂАЊА ПРОЈЕКТИЛОМ ПКО 125 mm M88

Програмско решење спољнобалистичког прорачуна преузето је из литературе [14], а његов концепт приказан је на слици 6.9.



Слика 6.9: Алгоритам програмског решења спољнобалистичког прорачуна

Програм се састоји из више целина: основни програм са граничним условима за прорачун лета пројектила, улазна датотека и више потпрограма који се позивају током прорачуна. Након извршења прорачуна, излазни подаци уписују се у две излазне датотеке.

**ULAZ** дефинише улазне податке за прорачун и додељује почетне вредности.

**KORAK** одређује тренутну вредност корака интеграције.

**SDJ** дефинише систем основних диференцијалних једначина лета у балистичком координатном систему (у даљем тексту: БКС).

**RUNKUT** врши нумеричку интеграцију диференцијалних једначина у четири приближења.

**KRAJ** одређује завршетак рада програма у односу на унапред дефинисане услове.

**STAB** врши прорачун стабилности лета пројектила.

**IZLAZ** врши прорачун и уписивање свих излазних података у вези са пројектилом.

**CORIOI** израчунава компоненте Кориолисовог убрзања.

**MXCI** одређује масу, центар масе и моменте инерције пројектила.

**MOTOR** дефинише вредности компонената реактивне силе и момената у БКС.

**AERO** одређује вредности аеродинамичке силе и момента у БКС.

**AERODRD1** израчунава деривативе аеродинамичких коефицијената сила и момената у функцији Маховог броја линеарном интерполацијом у струјном координатном систему.

**VETAR** одређује компоненте брзине ветра у геодетском координатном систему.

**AJ** одређује основне алгебарске једначине у БКС.

**ATMOS** израчунава параметре атмосфере за стандардне атмосферске услове у геодетском координатном систему.

Програм је написан у програмском језику FORTRAN, при чему се током прорачуна интеграција диференцијалних једначина врши методом Рунге - Кута, са четири приближења.

Тачност прорачуна условљена је кораком интеграције, тачношћу и бројем дериватива аеродинамичких коефицијената, дефинисаном брзином ветра и реактивним силама.

Ради илустрације, на слици 6.10. приказан је изглед једног од улазних фајлова који су коришћени током рачунарских симулација.

0.0,	0.0001,	15.,	4000.,	0.0	
0.0,	2.51,	100,	1		
0.0,	0.0,	0.0,	0.0,	0.0,	0.0
0.0,	0.0,	0.0,			
1800.0,	0.0,	0.0,			
0.,	0.0,	0.0,			
0.,	0.0545,	0.0			
READ(11,*) T0,H,TK,XK,ZK					
READ(11,*) T1,T2,NDT,NSTAB					
READ(11,*) VW0,DVW,AW0S,DAWS,FW,HI0S					
READ(11,*) (X(K),K=1,3)					
READ(11,*) (X(K),K=4,6)					
READ(11,*) (X(K),K=7,9)					
READ(11,*) FIOS,TETA0S,PSIOS					

Слика 6.10: Изглед улазног фајла

Стартовањем програмског решења кроз апликацију *Visual Fortran 5.0* [26] добијене су вредности које су сажето представљене у Табели 6.1, а њихов детаљан приказ изложен је у Прилогу 7 (иако су, због обимности комплетних листинга, приказани само подаци за резултате симулација на даљини од 700 метара).

Табела 6.1.

Даљина [m]		200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000
Таб. угао [°] и [']	Сим.	0° 1'	0° 2'	0° 3'	0° 4'	0° 5'	0° 7'	0° 8'	0° 9'	0°10'	0°11'	0°13'	0°14'	0°15'	0°16'	0°18'	0°19'	0°20'	0°22'	0°23'	0°25'
	ТГ	0° 1'	0° 2'	0° 3'	0° 4'	0° 5'	0° 7'	0° 8'	0° 9'	0°10'	0°11'	0°13'	0°14'	0°15'	0°16'	0°18'	0°19'	0°20'	0°22'	0°23'	0°25'
Таб. угао [°]	Сим.	0.0167°	0.0333°	0.05°	0.0667°	0.0833°	0.1167°	0.1333°	0.15°	0.1667°	0.1833°	0.2167°	0.2333°	0.2500°	0.2667°	0.3°	0.3167°	0.3333°	0.3667°	0.3833°	0.4167°
	ТГ	0.0167°	0.0333°	0.05°	0.0667°	0.0833°	0.1167°	0.1333°	0.15°	0.1667°	0.1833°	0.2167°	0.2333°	0.2500°	0.2667°	0.3°	0.3167°	0.3333°	0.3667°	0.3833°	0.4167°
Време лета [s]	Сим.	0.104	0.21	0.32	0.42	0.55	0.73	0.83	0.94	1.04	1.14	1.34	1.44	1.54	1.64	1.83	1.93	2.03	2.22	2.32	2.51
	ТГ	0.11	0.23	0.34	0.46	0.57	0.69	0.81	0.93	1.06	1.18	1.31	1.44	1.57	1.70	1.83	1.97	2.10	2.24	2.38	2.52
Ордин. темена [m]	Сим.	0.013	0.054	0.12	0.22	0.34	0.65	0.83	1.08	1.023	1.59	2.20	2.54	2.91	3.30	4.13	4.58	5.06	6.07	6.60	7.73
	ТГ	0.01	0.06	0.14	0.25	0.40	0.58	0.81	1.07	1.37	1.71	2.10	2.53	3.01	3.53	4.11	4.74	5.42	6.15	6.94	7.79
Крајња брзина [m/s]	Сим.	1773	1745	1720	1694	1670	1622	1600	1577	1555	1533	1495	1476	1459	1441	1408	1392	1376	1345	1331	1302
	ТГ	1778	1756	1735	1714	1693	1672	1651	1631	1611	1591	1572	1553	1534	1515	1497	1478	1460	1442	1425	1407
Крајњи домет [m]	Сим.	186	373	554	732	908	1248	1413	1576	1735	1890	2195	2343	2489	2632	2911	3048	3182	3444	3572	3822
	ТГ	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000

Вредности наведене у редовима са ознаком "Сим" (симулација) у Табели 6.1. упоређиване су са одговарајућим вредностима у редовима са ознаком "ТГ" (таблице гађања) из литературе [11], чији је извод (Табела Ц4) приказан у Прилогу 8.

На основу извршене анализе закључено је да поједине величине, добијене симулацијама, имају превелика одступања у односу на табличне вредности, што се посебно односи на крајњу брзину и крајњи домет (упоредни приказ изложен је у Табели 6.1).

У циљу отклањања наведених неслагања, извршене су једноставне корекције програмског решења. Мењан је седми ред улазног фајла за извршење симулација, тако што је полазни угао ( $\theta_{0s} = X(8)$ ) вариран у циљу прихватљивог апроксимовања излазних резултата.

Табела 6.2.

Даљина [m]		200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000
Таб. угао [°]	Сим.	0.018°	0.036°	0.0545°	0.0732°	0.0922°	0.1125°	0.1322°	0.153°	0.1735°	0.1952°	0.2175°	0.24°	0.2628°	0.2867°	0.3107°	0.336°	0.3616°	0.3875°	0.4142°	0.4444°
	ТГ	0.0167°	0.0333°	0.05°	0.0667°	0.0833°	0.1167°	0.1333°	0.15°	0.1667°	0.1833°	0.2167°	0.2333°	0.2500°	0.2667°	0.3°	0.3167°	0.3333°	0.3667°	0.3833°	0.4167°
Време лета [s]	Сим.	0.11	0.23	0.34	0.46	0.58	0.70	0.83	0.96	1.08	1.21	1.34	1.48	1.61	1.75	1.89	2.04	2.19	2.34	2.49	2.64
	ТГ	0.11	0.23	0.34	0.46	0.57	0.69	0.81	0.93	1.06	1.18	1.31	1.44	1.57	1.70	1.83	1.97	2.10	2.24	2.38	2.52
Ордин. темена [m]	Сим.	0.016	0.063	0.14	0.26	0.41	0.61	0.84	1.12	1.43	1.79	2.22	2.69	3.20	3.79	4.42	5.13	5.91	6.74	7.65	8.74
	ТГ	0.01	0.06	0.14	0.25	0.40	0.58	0.81	1.07	1.37	1.71	2.10	2.53	3.01	3.53	4.11	4.74	5.42	6.15	6.94	7.79
Крајња брзина [m/s]	Сим.	1770	1741	1713	1685	1657	1628	1601	1573	1546	1519	1494	1469	1445	1421	1397	1373	1350	1327	1304	1282
	ТГ	1778	1756	1735	1714	1693	1672	1651	1631	1611	1591	1572	1553	1534	1515	1497	1478	1460	1442	1425	1407
Крајњи домет [m]	Сим.	201	401	603	802	999	1206	1402	1604	1799	2001	2202	2402	2599	2801	2999	3203	3404	3603	3804	4000
	ТГ	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000

У првом реду Табеле 6.2. приказане су све промене улазног фајла које су извршене пре стартовања сваке појединачне симулације. У том смислу, након наведених промена и реализације новог циклуса симулација добијени су нови резултати.

Упоредни приказ новодобијених симулираних и табличних вредности изложен је, такође, у Табели 6.2, где се може уочити прихватљив степен сагласности за вредности добијене симулацијом у односу на вредности из таблица гађања.

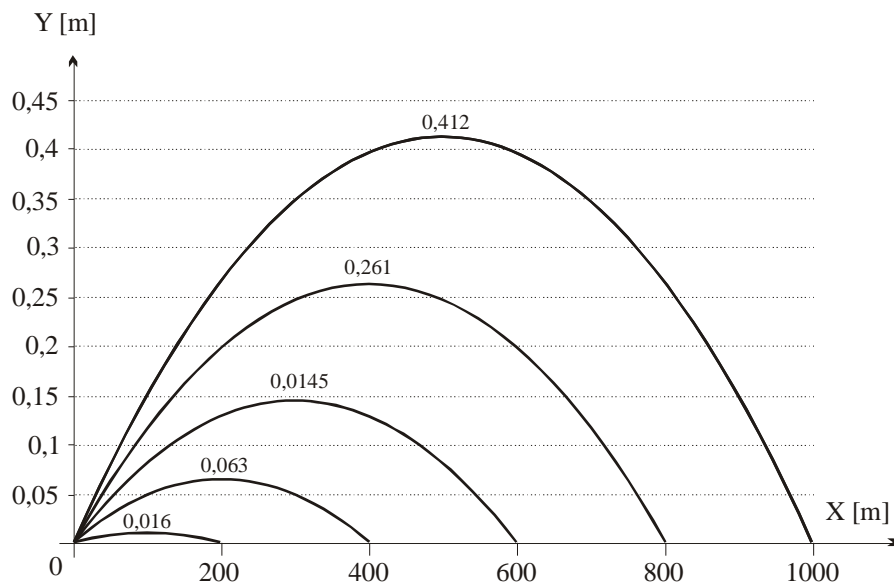
Овако конципирана коригована еталон-симулација коришћена је у наставку рада ради реализације истраживања утицаја грешака позиционирања (као последице рада СУВ) на растурање погодака.

### 6.3. АНАЛИЗА РЕШЕЊА СПОЉНОБАЛИСТИЧКОГ ПРОРАЧУНА И СИМУЛАЦИЈЕ НЕПОСРЕДНОГ ГАЂАЊА ПРОЈЕКТИЛОМ ПКО 125 mm M88

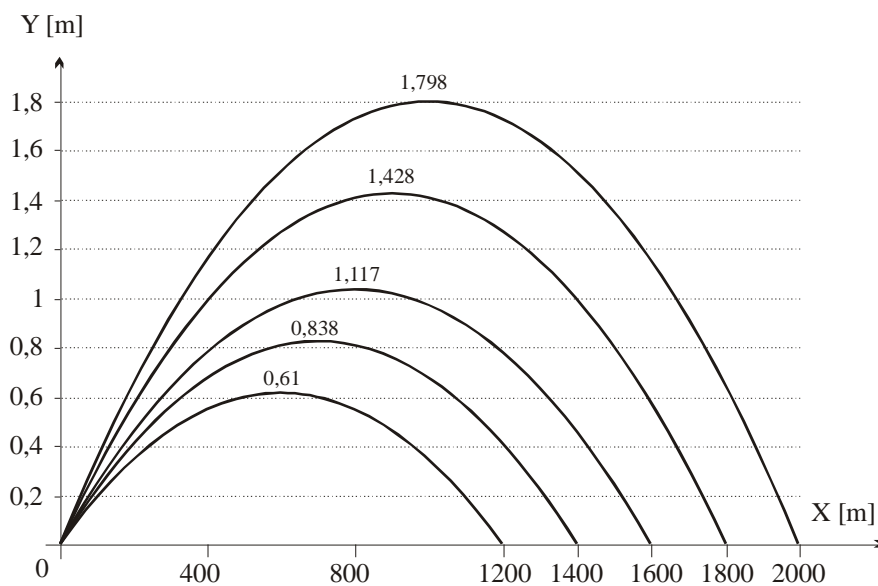
Спољнобалистичким прорачуном и извршењем симулација непосредног гађања пројектилом ПКО 125 mm M88 биће створени услови за испитивање утицаја СУВ М84 на прецизност гађања и растурање погодака.

У циљу верификације веродостојности наведених испитивања, у наредним разматрањима биће анализиран достигнути квалитет постигнутог решења, кроз упоређивање са резултатима и вредностима из Таблица гађања.

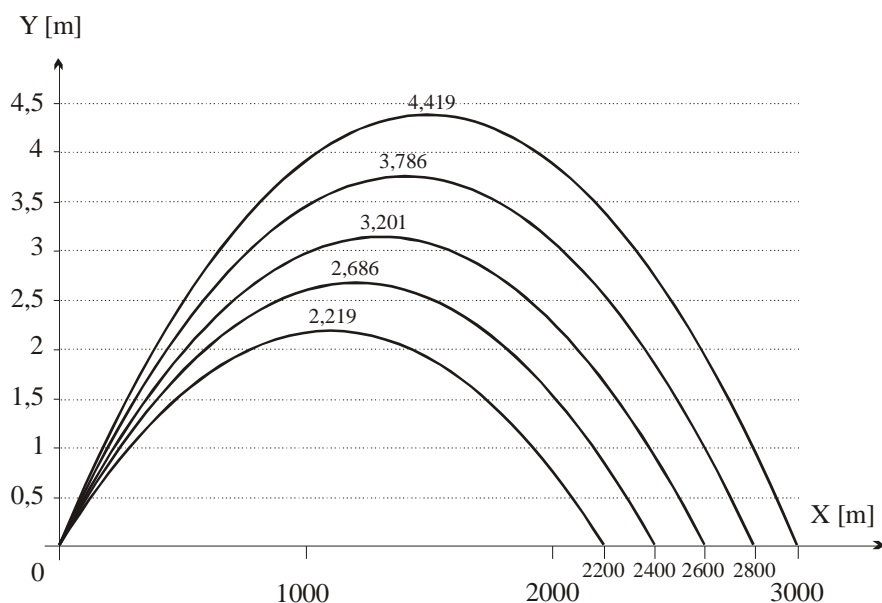
На сликама од 6.11. до 6.14. приказане су симулиране путање пројектила на даљинама од 200 до 4000 метара.



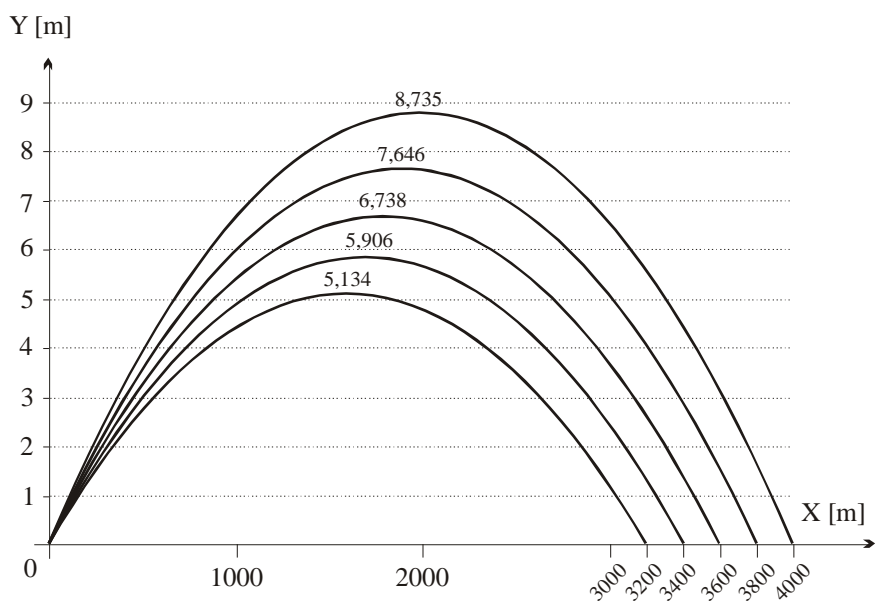
Слика 6.11: Симулиране путање ПКО пројектила при гађању на даљинама од 200 m, 400 m, 600 m, 800 m и 1000 m



Слика 6.12: Симулиране путање ПКО пројектила при гађању на даљинама од 1200 m, 1400 m, 1600 m, 1800 m и 2000 m



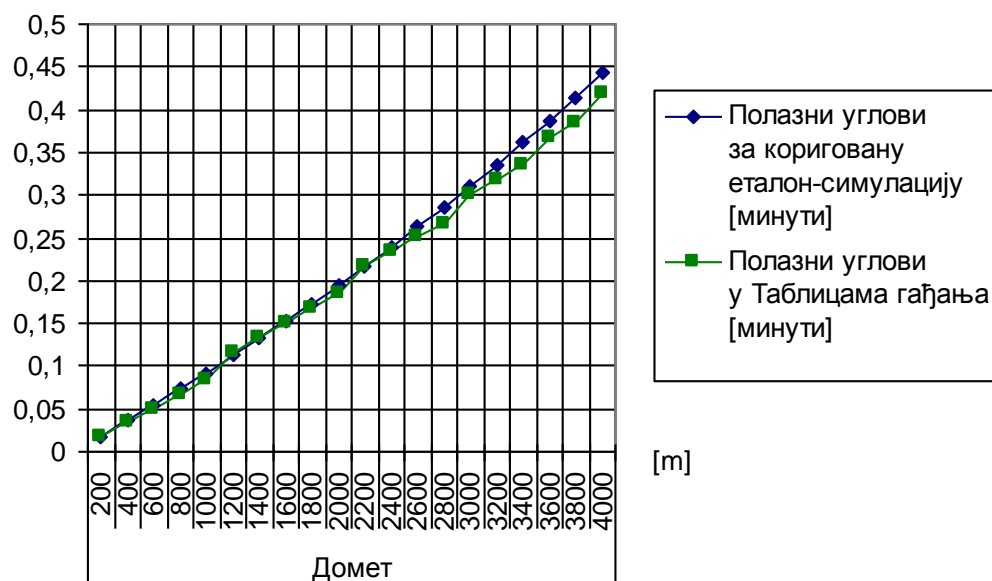
Слика 6.13: Симулиране путање ПКО пројектила при гађању на даљинама од 2200 m, 2400 m, 2600 m, 2800 m и 3000 m



Слика 6.14: Симулиране путање ПКО пројектила при гађању на даљинама од 3200 m, 3400 m, 3600 m, 3800 m и 4000 m

Након што је изложен репрезентативни узорак симулираних путања ПКО пројектила 125 mm M88, на наредним сликама биће упоређени поједини подаци из реализованих симулација у односу на одговарајуће податке из Таблица гађања.

Полазни угао  
[минути]



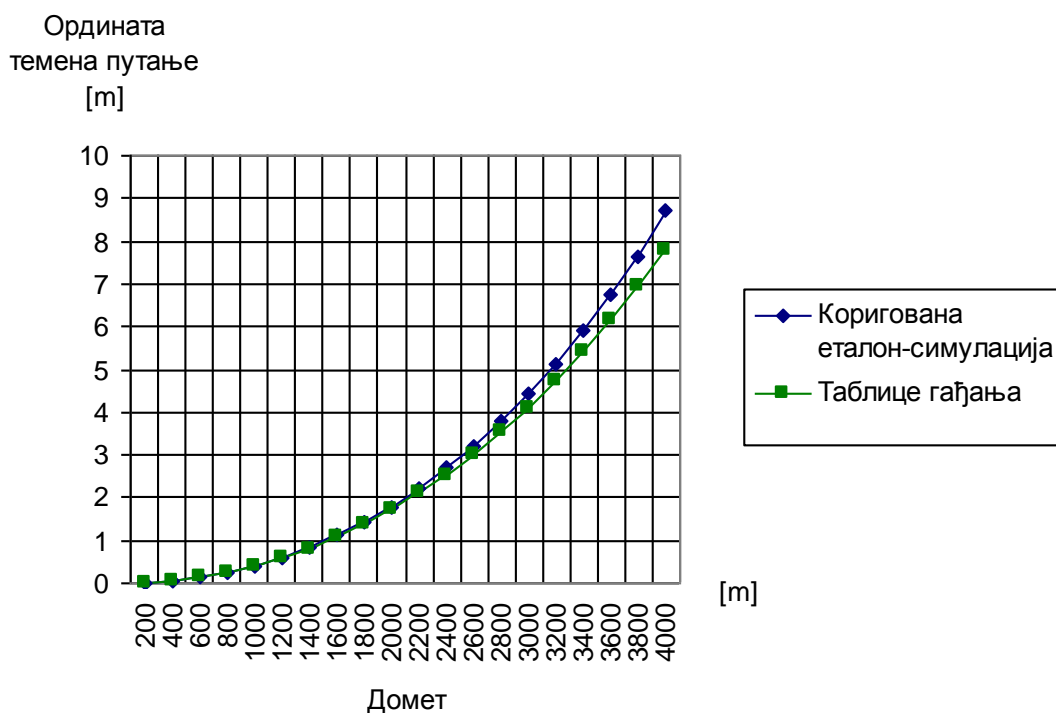
Слика 6.15: Упоредни приказ полазних углова при гађању за домете до 4000 m

На слици 6.15. представљен је упоредни приказ коришћених полазних углова при гађању, како током симулација, тако и у Таблицама гађања. Бројчане вредности које представљају базу за наведени график дате су у следећој табели.

Табела 6.3.

	Дамет [m]	Полазни углови за кориговану еталон-симулацију [минути]	Полазни углови у Таблицама гађања [минути]	$\Delta\theta_0$ [%]
	200	0.018	0.0167	7.22
	400	0.036	0.0334	7.22
	600	0.0545	0.0501	8.07
	800	0.0732	0.0668	8.74
	1000	0.0922	0.0835	9.44
	1200	0.1125	0.1169	3.91
	1400	0.1322	0.1336	1.06
	1600	0.153	0.1503	1.76
	1800	0.1735	0.167	3.75
	2000	0.1952	0.1837	5.89
	2200	0.2175	0.2171	0.18
	2400	0.24	0.2338	2.58
	2600	0.2628	0.2505	4.68
	2800	0.2867	0.2672	6.80
	3000	0.3107	0.3006	3.25
	3200	0.336	0.3173	5.57
	3400	0.3616	0.334	7.63
	3600	0.3875	0.3674	5.19
	3800	0.4142	0.3841	7.27
	4000	0.4444	0.4175	6.05



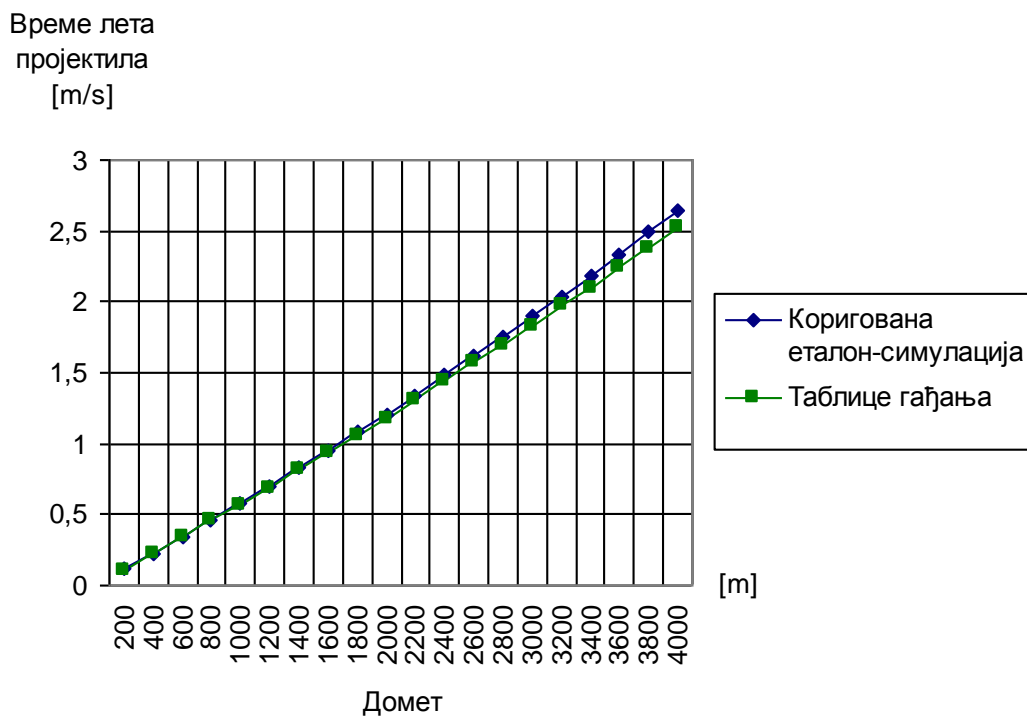


Слика 6.16: Упоредни приказ ордината темена путање при гађању за домете до 4000 m

Упоредни приказ ордината темена путање при гађању за домете до 4000 m, приказан на слици 6.16. узима бројчане вредности из наредне табеле.

Табела 6.4.

	Ординате темена путање за кориговану еталон- симулацију [m]	Ординате темена путање у Таблицама гађања [m]	$\Delta Y$ [m]	
Домет [m]	200	0.016	0.01	0.006
	400	0.063	0.06	0.003
	600	0.145	0.14	0.005
	800	0.261	0.25	0.011
	1000	0.411	0.4	0.011
	1200	0.61	0.58	0.03
	1400	0.838	0.81	0.028
	1600	1.117	1.07	0.047
	1800	1.429	1.37	0.059
	2000	1.798	1.71	0.088
	2200	2.219	2.1	0.119
	2400	2.686	2.53	0.156
	2600	3.202	3.01	0.192
	2800	3.786	3.53	0.256
	3000	4.419	4.11	0.309
	3200	5.134	4.74	0.394
	3400	5.907	5.42	0.487
3600	6.738	6.15	0.588	
3800	7.646	6.94	0.706	
4000	8.735	7.79	0.945	

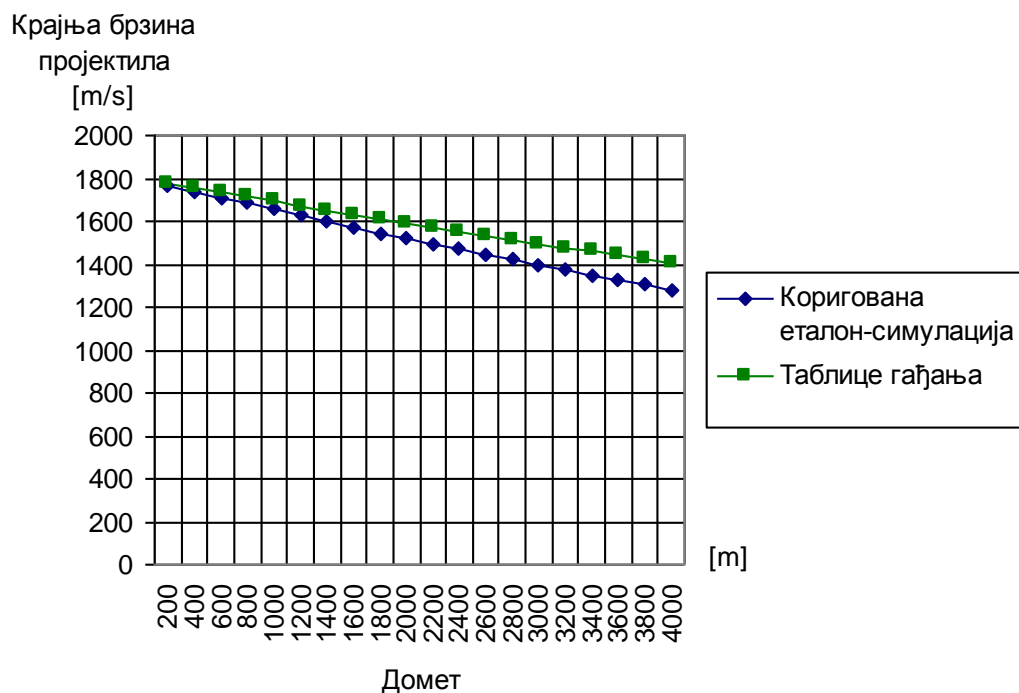


Слика 6.17: Упоредни приказ времена лета пројектила при гађању за домете до 4000 m

Упоредни приказ времена лета пројектила при гађању за домете до 4000 m, који је приказан на слици 6.17, формиран је на основу бројчаних вредности из наредне табеле.

Табела 6.5.

		Време лета ПКО пројектила у коригованој еталон-симулацији [s]	Време лета ПКО пројектила у Таблицама гађања [s]	Разлика $\Delta t$ [s]
Домет [m]	200	0.113	0.11	0.003
	400	0.227	0.23	0.003
	600	0.343	0.34	0.003
	800	0.461	0.46	0.001
	1000	0.579	0.57	0.009
	1200	0.705	0.69	0.015
	1400	0.826	0.81	0.016
	1600	0.954	0.93	0.024
	1800	1.079	1.06	0.019
	2000	1.21	1.18	0.03
	2200	1.344	1.31	0.034
	2400	1.478	1.44	0.038
	2600	1.613	1.57	0.043
	2800	1.754	1.7	0.054
	3000	1.894	1.83	0.064
	3200	2.042	1.97	0.072
3400	2.19	2.1	0.09	
3600	2.339	2.24	0.099	
3800	2.491	2.38	0.111	
4000	2.643	2.52	0.123	



Слика 6.18: Упоредни приказ крајње брзине пројектила при гађању за домете до 4000 m

У Табели 6.6. налазе се резултати полигонских опитних гађања поткалибарним пројектилом на даљини од 1000 m, преузети из литературе [15].

Табела 6.6.

Ред. број	Правац [cm]	Висина [cm]	$v_0$	$v_{50}$	$v_{1000}$	Време лета [s]	$v_{50}$	$v_{967,5}$	$p_m$ [bar]
			[m/s]	[m/s]	[m/s]		[m/s]	[m/s]	
			Доплер радар <i>OPOS BS-850</i>				Оптичка баријера		
1.	-14	-90	1789,5	1782,9	1651,5	0,581	1785,2	1655,7	4741
2.	-24	-80	1792,7	1785,9	1648,2	0,581	1787,8	1656,5	4572
3.	-64	-50	1785,9	1779,4	1674,0	0,581	1782,4	---	4496
4.	-36	-80	1787,8	1781,3	1667,6	0,581	1784,3	1656,0	4721
5.	-81	-85	1782,7	1776,0	1635,7	0,583	1777,7	1648,7	4417
Ср.вред.	-44	-77	1787,7	1781,1	1655,4	0,581	1783,5	1654,2	4589
Растур.	18,9	10,6	2,53	2,51	10,39	0,001	2,54	2,49	---
Макс.	-14	-50	1792,7	1785,9	1674,0	0,583	1787,8	1656,5	4741
Мин.	-81	-90	1782,7	1776,0	1635,7	0,581	1777,7	1648,7	4417
Распон	67	40	10,0	9,9	38,3	0,002	10,1	7,8	324

Упоредивањем измерених са израчунатим величинама уочљиво је да су разлике занемарљиве, чиме је потврђено да су створени услови за наставак истраживања.

На основу упоређивања теоретских резултата добијених симулацијама, података у таблицама гађања и експерименталних података добијених са контролних полигонских гађања, може се извести закључак да је искоришћено програмско решење погодно за коришћење као еталон за испитивање утицаја елемената СУВ М84 на растурање погодака при непосредном гађању.

Такође, уочене су могућности за допуну и модификацију постојећег програмског решења, које је реализовано увођењем елемената стохастике односно симулирањем појаве грешака, насталих радом СУВ-а при заузимању елемената гађања. Наведене могућности искоришћене су у седмом поглављу овог рада, које описује симулацију гађања поткалибарним пројектилом 125 mm ПКО М88.

## 7. СИМУЛАЦИЈЕ ГАЂАЊА ИЗ ТЕНКОВСКОГ ТОПА НА ТЕНКУ М84 И УТИЦАЈ ЕЛЕМЕНАТА СУВ НА РЕЗУЛТАТЕ

Симулације гађања тенковским топом на тенку М84 извршене су према програмском решењу спољнобалистичког прорачуна са шест степени слободе кретања, датом у Прилогу 6 ове дисертације. Наведено програмско решење преузето је из литературе [14], уз неопходне измене и допуне, како би били обухваћени стохастички процеси условљени радом СУВ-а (појава случајних грешака при позиционирању оруђа у обе равни навођења).

У циљу извршења симулација гађања, уз уважавање наведених стохастичких процеса, указала се потреба за генерисањем случајних величина које ће се понашати по законитостима нормалне (Гаусове) расподеле. У ту сврху искоришћена је нумеричка инверзна метода, објашњена у литератури [37].

Ова метода подразумева генерисање случајних бројева са нормалном расподелом, Бокс-Милер-Винеровим алгоритмом (*Box-Muller-Wiener*), при чему је математичко очекивање  $\mu = 0$ , а дисперзија (варијанса)  $\sigma^2 = 1$ .

За потребе прорачуна случајних бројева са нормалном расподелом најпре се користе два, такође случајно одабрана броја ( $\xi_1$  и  $\xi_2$ ), али по униформној расподели (што значи да је вероватноћа избора тих бројева у задатом опсегу униформно расподељена, односно једнака).

Уколико су  $\xi_1$  и  $\xi_2$  та два случајно одабрана броја, са униформном расподелом, тада се може прорачунати случајни број са нормалном расподелом, према следећој једначини:

$$r_1 = \sqrt{-2\ln(2\pi\xi_1)} \cos(2\pi\xi_2) \quad (7.1)$$

Да би прорачун по горњој једначини могао бити реализован, унете су незнатне допуне постојећег програмског решења прорачуна лета пројектила са шест степени слободе кретања. Програмски код је измењен тако да су бројеви  $\xi_1$  и  $\xi_2$  прорачунати коришћењем за ту сврху креиране функције SLB(seed2), у оквиру које се извршава команда ran(seed2), програмског језика FORTRAN.

Најпре је извршен прорачун великих непарних бројева (seed1 и seed2), који се добијају када се иницијални велики непарни бројеви seed1v=7654321 и seed1p=9876543 (одабрани у складу са препорукама из литературе [14]), саберу са парним вредностима прорачунатим на основу системског сата рачунара. Затим су тако прорачунати велики непарни бројеви искоришћени као аргументи поменуте команде ran(seed2), чиме су добијени униформно расподељени случајни бројеви  $\xi_1$  и  $\xi_2$ . Након тога, коришћењем једначине 7.1. којом је реализован поменути Бокс-Милер-Винеров алгоритам, израчунат је и случајни број  $r_1$ , са нормалном расподелом.

Ова процедура генерисања случајних бројева са нормалном расподелом може се реализовати произвољан број пута током сваке симулације. Притом, број  $r_1$  представља износ случајне грешке рада СУВ-а при позиционирању у односу на жељени положај оруђа.

У складу са применом "правила  $3\sigma$ " нормалне расподеле, вероватноћа да ће се током извршења симулација све реализације наћи у границама троструких вредности стандардног одступања износи 99,7% и може се подвести под готово сигуран догађај.

Симулације су реализоване са довољним бројем понављања (40) тако да је обезбеђена репрезентативност експеримента.

У циљу потврде ваљаности примењене методе формиран су хистограми, како би се графички приказало расипање грешака позиционирања цеви тенковског топа током

симулација, по нормалној расподели. За потребе конструисања хистограма у програмском пакету EXCEL, прво су одређени број интервала и ширина интервала (тј. ширина класе) појављивања одређених грешака, респективно, у складу са препорукама из литературе [14], а на основу следећих једначина:

$$n = 1 + 3,3 \cdot \ln 40, \quad (7.2)$$

$$\Delta_{\text{int}} = \frac{r_{1\text{max}} - r_{1\text{min}}}{n}.$$

Осим наведеног, на хистограмима је приказана и фреквенција појављивања појединих грешака у односу на одговарајућу класу.

Улазни подаци мењани су у фајлу ULAZ.DAT, сходно симулираној даљини гађања. За сваку даљину гађања регистровано је свих 40 "продора" кроз вертикалну раван, на основу чега је формирана слика погодака. Свака слика погодака допуњена је елипсом растурања из Таблица гађања, чије су полуосе четири вероватна скретања по висини и по правцу (4Vv и 4Vp). Пошто у Таблицама гађања вероватна скретања по висини и по правцу за исте даљине имају исте вредности, елипсе растурања погодака су, у ствари, кружнице растурања.

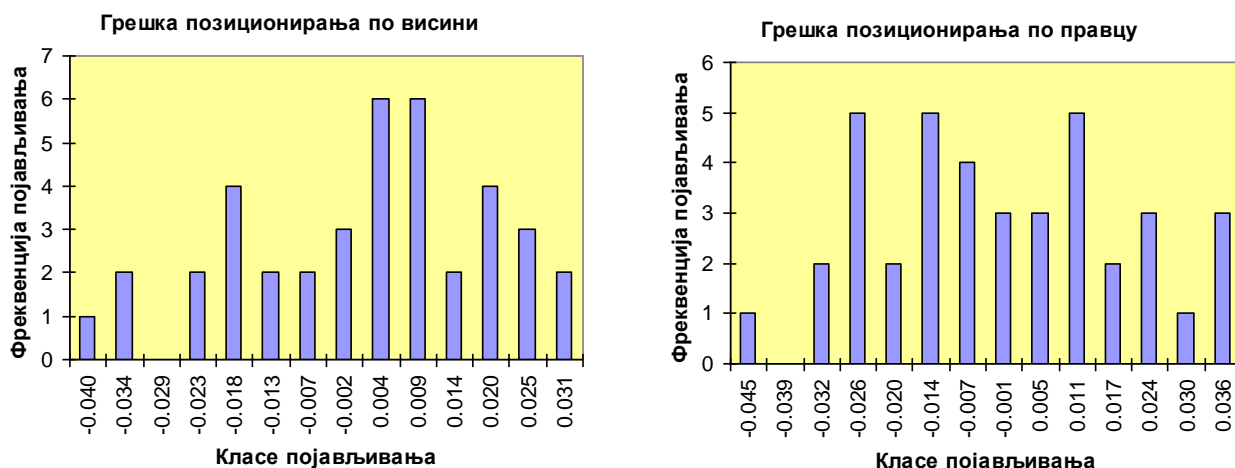
## 7.1. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈА ГАЂАЊА УЗ ГРЕШКУ ПОЗИЦИОНИРАЊА ОД 0,06 СТЕПЕНИ

Стартовањем модификованог програмског решења спољнобалистичког прорачуна добијени су резултати који су представљени у наставку рада, уз уважавање претпоставке да грешка позиционарања куполе у хоризонталној, односно цеви тенковског топа у вертикалној равни навођења може износити највише  $\pm 0-01$  (један хиљадити), односно 0,06 степени.

### 7.1.1. Симулација гађања на 100 m

Симулација гађања реализована је за полазни угао у вертикалној равни од 0,01667 степени.

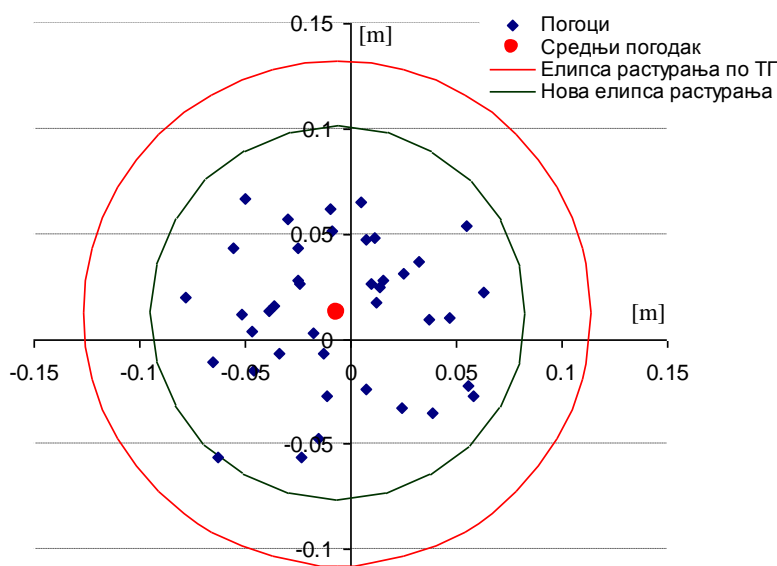
Као што је наведено, при покретању оруђа услед рада СУВ-а долази до појављивања грешке током позиционирања, и по висини и по правцу. Случајне грешке позиционирања имају нормалну расподелу, као што је илустровано на следећој слици.



Слика 7.1: Нормална расподела грешака позиционирања по висини и по правцу при симулацији гађања на 100 m

Услед појаве грешака позиционирања доћи ће до расипања трајекторија путања пројектила, а тиме и до расипања погодака на циљу. У том смислу, а уз уважавање општих напомена о

реализацији симулација гађања, датих у уводним разматрањима овог поглавља, формирана је слика погодака као на следећој слици:



Слика 7.2: Елипса растурања и слика погодака за симулацију гађања на 100 m

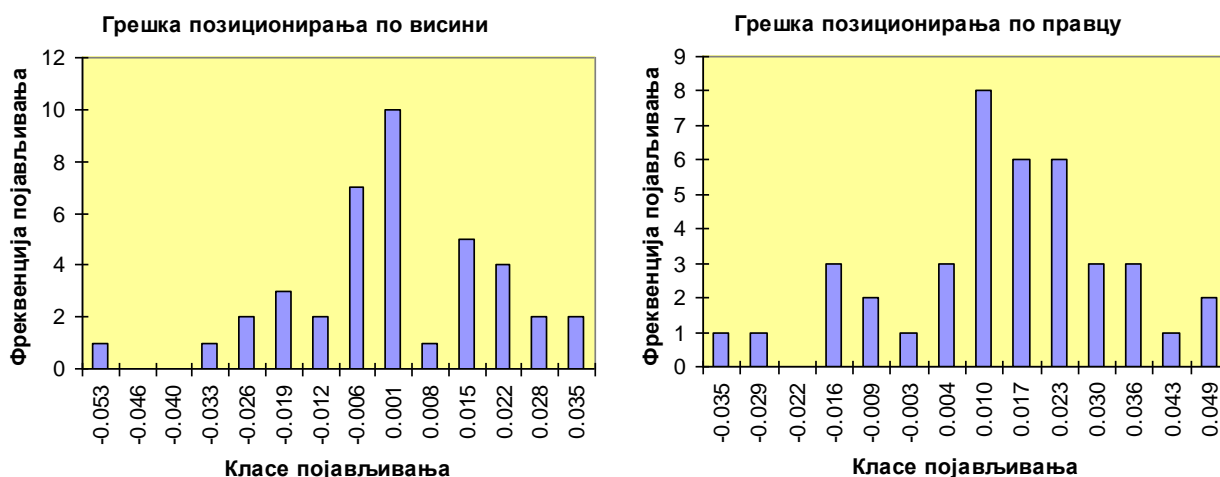
Са слике погодака видљиво је да су сви погоци груписани у оквиру елипсе растурања, при чему средњи погодак одступа од нишанске тачке 15,25 mm по висини и -6,95 mm по правцу, док четворострука вредност вероватног скретања по висини и по правцу, према Таблицама гађања, износи 0,12 m.

Треба напоменути да се сви резултати добијени за даљину од 100 m примењују и на даљину од 200 m, с обзиром да према Таблицама гађања треба заузети исти угао при гађању на обе даљине (уз различито заузимање подеока: 1 – за 100 m, односно 2 – за 200 m).

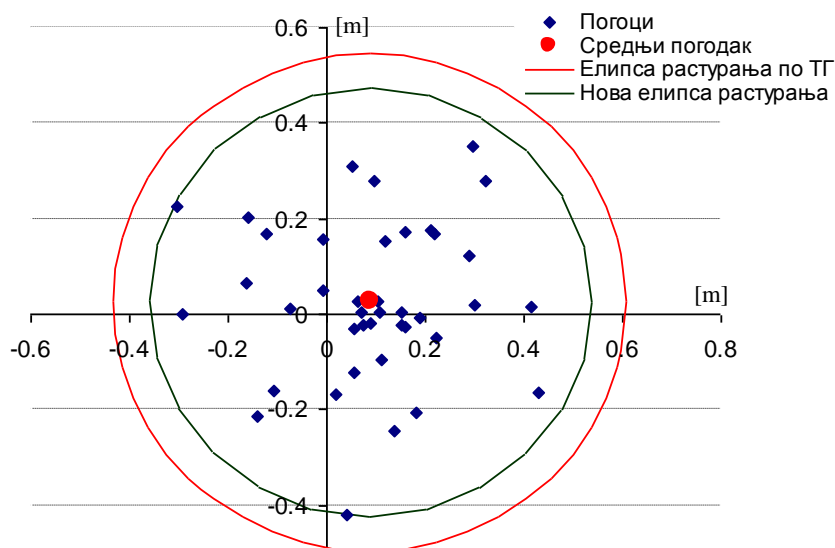
### 7.1.2. Симулација гађања на 500 m

Симулација гађања на 500 m извршена је за полазни угао у вертикалној равни од 0,05 степени.

Грешке позиционирања у овом случају биће илустроване као на следећој слици:



Слика 7.3: Нормална расподела грешака позиционирања по висини и по правцу при симулацији гађања на 500 m



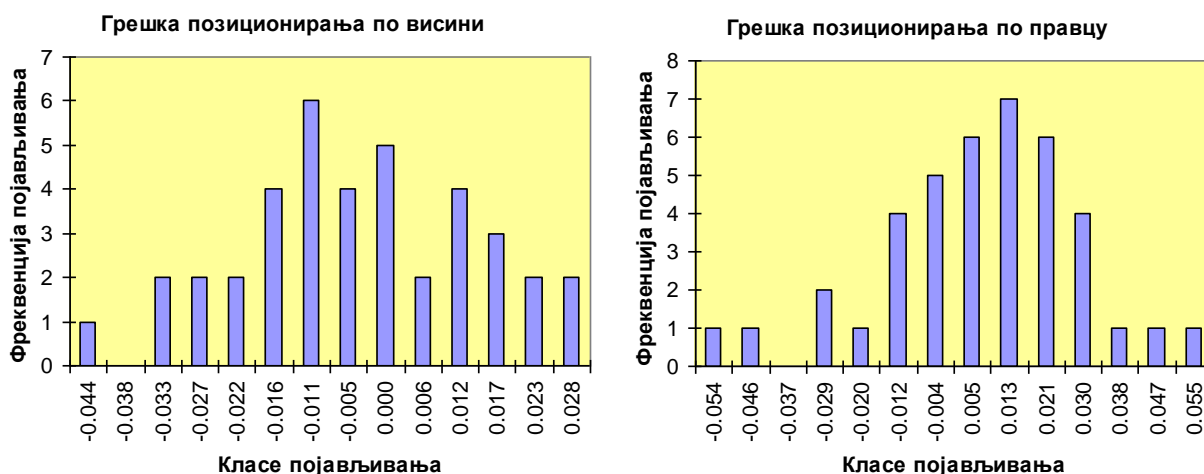
Слика 7.4: Елипса растурања и слика погодака за симулацију гађања на 500 m

Елипса растурања, коју одређују полуосе у износу четвороструких вредности вероватних скретања по висини и по правцу према Таблицама гађања износе 0,52 m, док полуосе елипсе растурања добијене након симулација износе 0,45 m. Средњи погодак удаљен је 9,14 cm од нишанске тачке.

### 7.1.3. Симулација гађања на 700 m

Симулација гађања реализована је за полазни угао у вертикалној равни од 0,0667 степени. Слично као и за неке друге блиске даљине гађања, и овде је полазни угао исти за даљине од 700 m и 800 m. С тим у вези, интересантно је да за укупно 40 даљина у Таблицама гађања, у опсегу од 100 m до 4000 m, постоји чак 15 парова даљина које имају исти полазни угао.

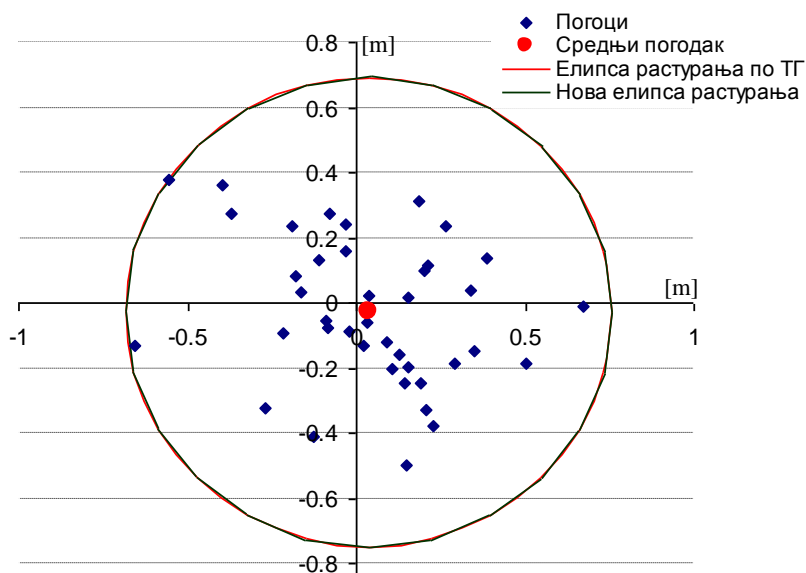
У складу са наведеним, растурање грешке позиционирања за симулацију гађања на 700 m може се представити на следећи начин:



Слика 7.5: Нормална расподела грешака позиционирања по висини и по правцу при симулацији гађања на 700 m

За овако расподељене грешке позиционирања оруђа у вертикалној и хоризонталној равни, биће формирана слика погодака као на следећој слици.





Слика 7.6: Елипса растурања и слика погодака за симулацију гађања на 700 m

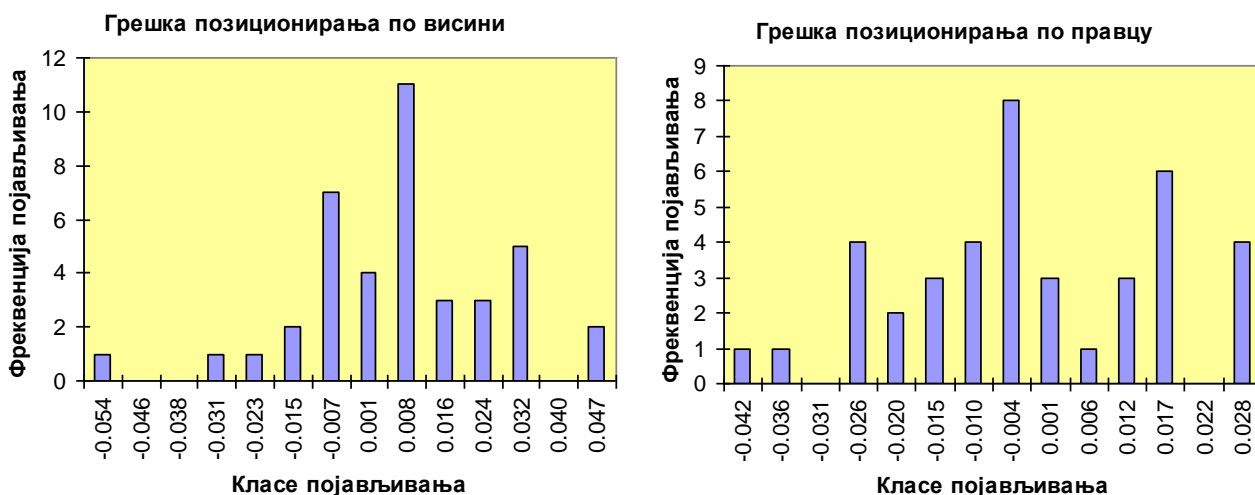
Елипса растурања са полуосама исте дужине (0,72 m) и средњим поготком чије су координате 3,66 cm и  $-2,74$  cm приказује резултате симулације гађања на 700 m.

Куриозитет за ову симулацију јесте да је дошло до поклапања нове елипсе растурања која представља слику симулираних погодака у односу на елипсу растурања по Таблицама гађања.

#### 7.1.4. Симулација гађања на 1600 m

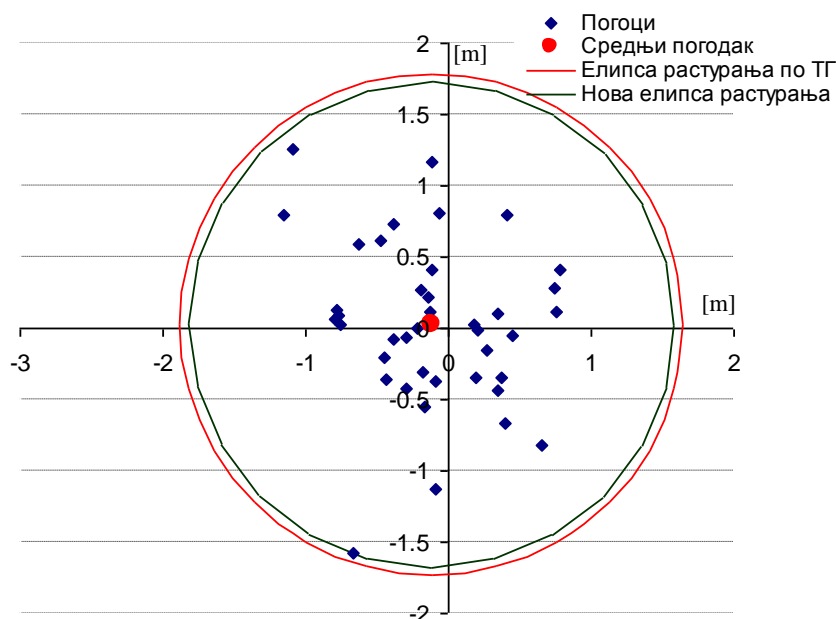
Симулација гађања на даљини од 1600 m реализована је за полазни угао у вертикалној равни од 0,15 степени.

Вероватна скретања по даљини и по правцу износе по 0,44 m, тако да полуосе елипсе растурања износе по 1,76 m.



Слика 7.7: Нормална расподела грешака позиционирања по висини и по правцу при симулацији гађања на 1600 m

За описане услове симулације гађања, резултати су приказани на следећој слици.



Слика 7.8: Елипса растурања и слика погодака за симулацију гађања на 1600 m

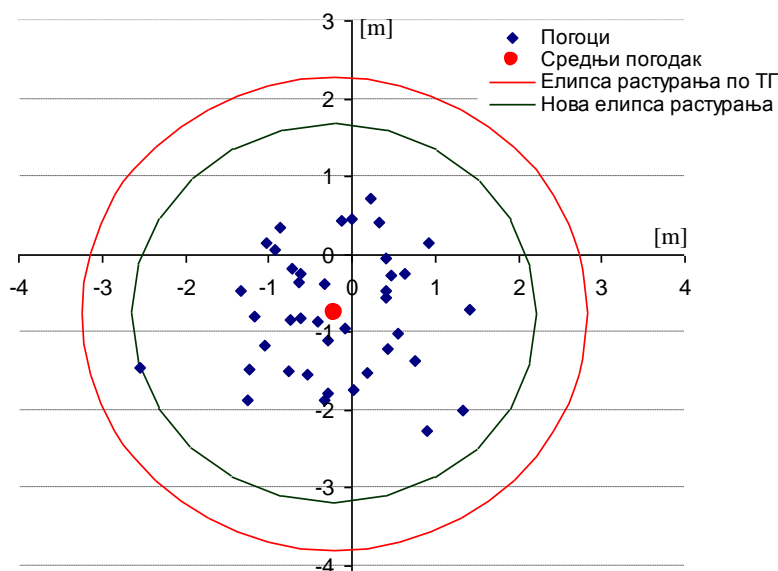
### 7.1.5. Симулација гађања на 2800 m

Симулација гађања на даљини од 2800 m реализована је за полазни угао у вертикалној равни од 0,26667 степени.

Вероватна скретања по даљини и по правцу износе по 0,76 m, тако да полуосе елипсе растурања износе по 3,04 m.



Слика 7.9: Нормална расподела грешака позиционирања по висини и по правцу при симулацији гађања на 2800 m



Слика 7.10: Елипса растурања и слика погодака за симулацију гађања на 2800 m

## 7.2. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈА ГАЂАЊА УЗ ГРЕШКЕ ПОЗИЦИОНИРАЊА ОД 0,045 СТЕПЕНИ И 0,03 СТЕПЕНА

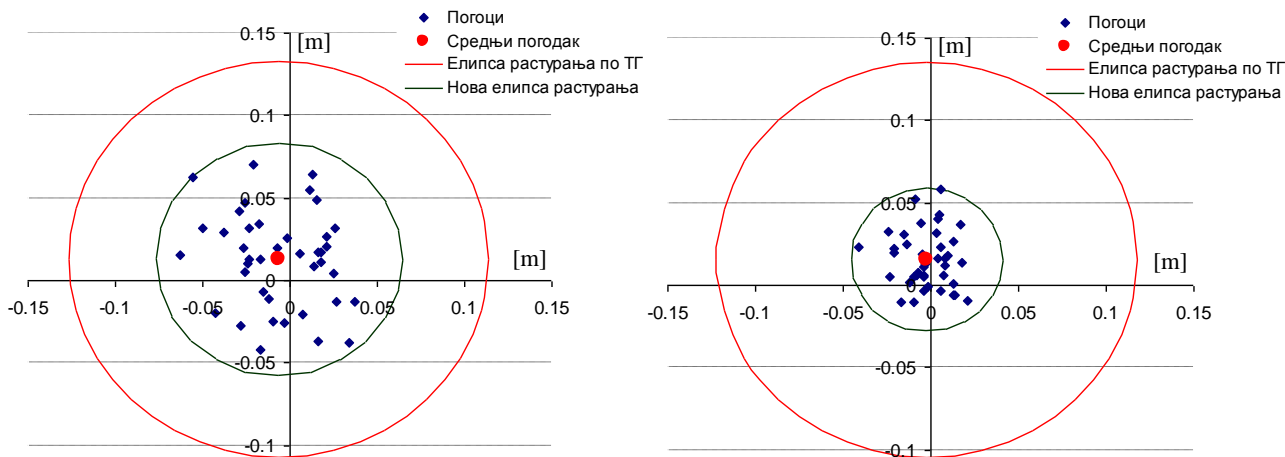
У претходној тачки рада симулације су реализоване уз претпоставку случајне појаве максималне допуштене грешке позиционирања у износу од једног хиљадитог тј. 0,06 степени.

Овде су приказани резултати симулације гађања уз претпоставку да је грешка позиционирања оруђа у хоризонталној и вертикалној равни навођења 25%, односно 50% мања од максимално допуштене. У складу са наведеним, презентовани су резултати симулација са могућом грешком позиционирања до 0,045 степени (25% мања од максималне грешке позиционирања) односно 0,03 степена (50% мања од максималне грешке позиционирања).

Након стартовања модификованог програмског решења спољнобалистичког прорачуна, добијени су резултати који су обједињено представљени у наставку рада. У овом случају нису приказани хистограми, како рад не би био сувише оптерећен.

### 7.2.1. Симулације гађања на 100 m

Симулације гађања реализоване су за полазни угао у вертикалној равни од 0,01667 степени.

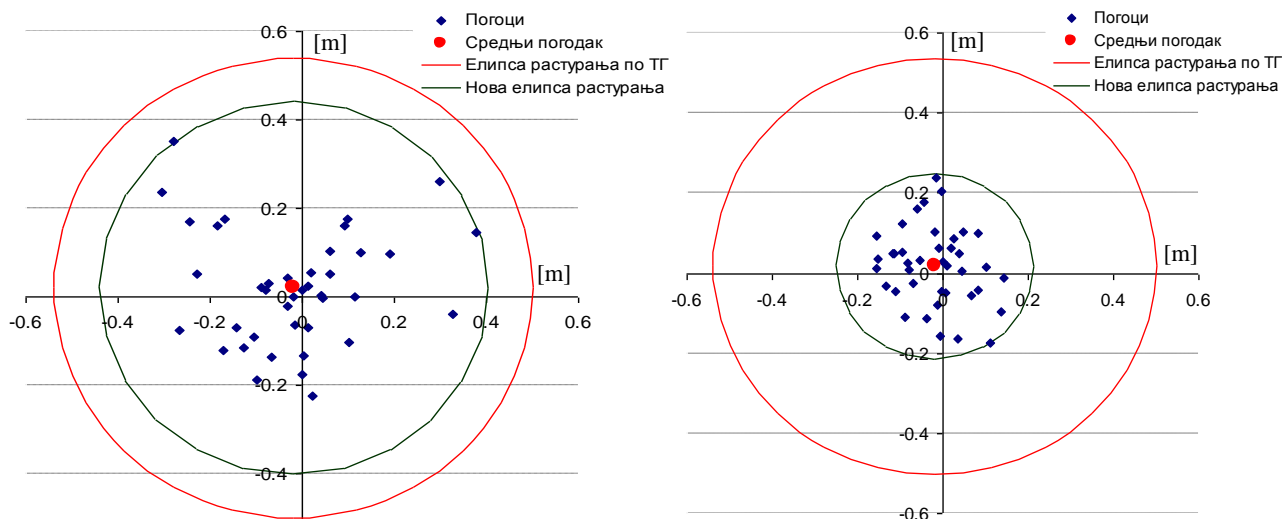


Слика 7.11: Елипсе растурања и слике погодака за симулације гађања на 100 m уз грешке позиционирања од 75% (лево) и 50% (десно) у односу на максимално допуштену грешку

У случају грешке позиционирања до 0,045 степени, полуоса слике погодака износи 70,6 mm што је 59% у односу на полуосу елипсе растурања из Таблица гађања. Уколико је грешка позиционирања 0,03 степена, тада је полуоса слике погодака само 43,3 mm, а полуоса слике погодака износи тек нешто више од трећине величине (36%) полуосе елипсе растурања из Таблица гађања.

### 7.2.2. Симулације гађања на 500 m

Симулације гађања реализоване су за полазни угао у вертикалној равни од 0,05 степени.

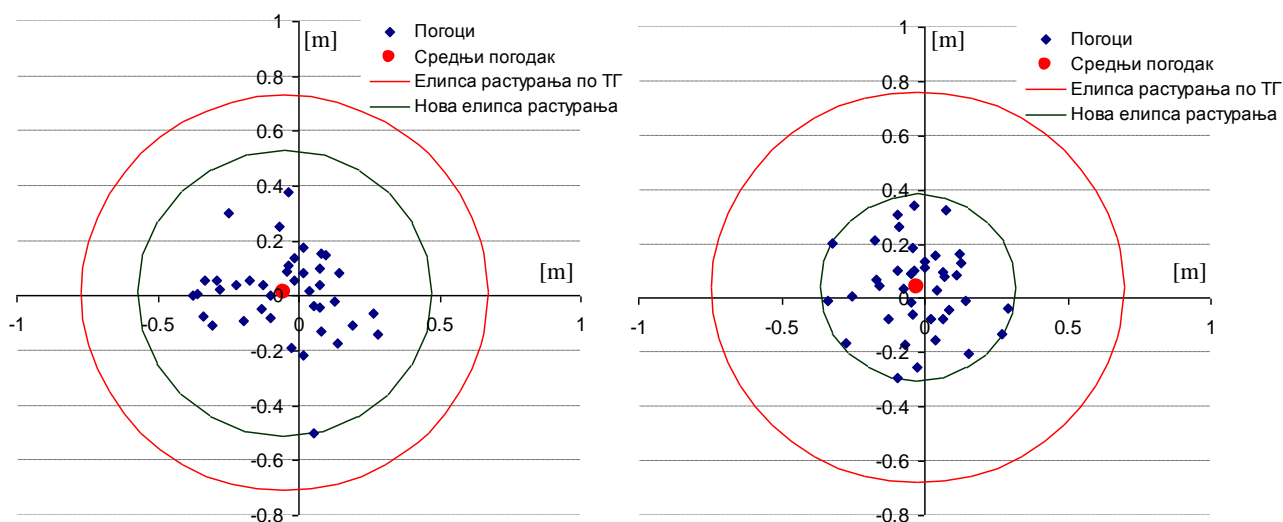


Слика 7.11: Елипсе растурања и слике погодака за симулације гађања на 500 m уз грешке позиционирања од 75% (лево) и 50% (десно) у односу на максимално допуштену грешку

Овде је за грешке позиционирања до 0,045 степени, полуоса слике погодака 42,18 mm (81% у односу на полуосу елипсе растурања из Таблица гађања), док је за грешке позиционирања до 0,03 степена полуоса слике погодака 23,14 mm (44% полуосе елипсе растурања из Таблица гађања).

### 7.2.3. Симулације гађања на 700 m

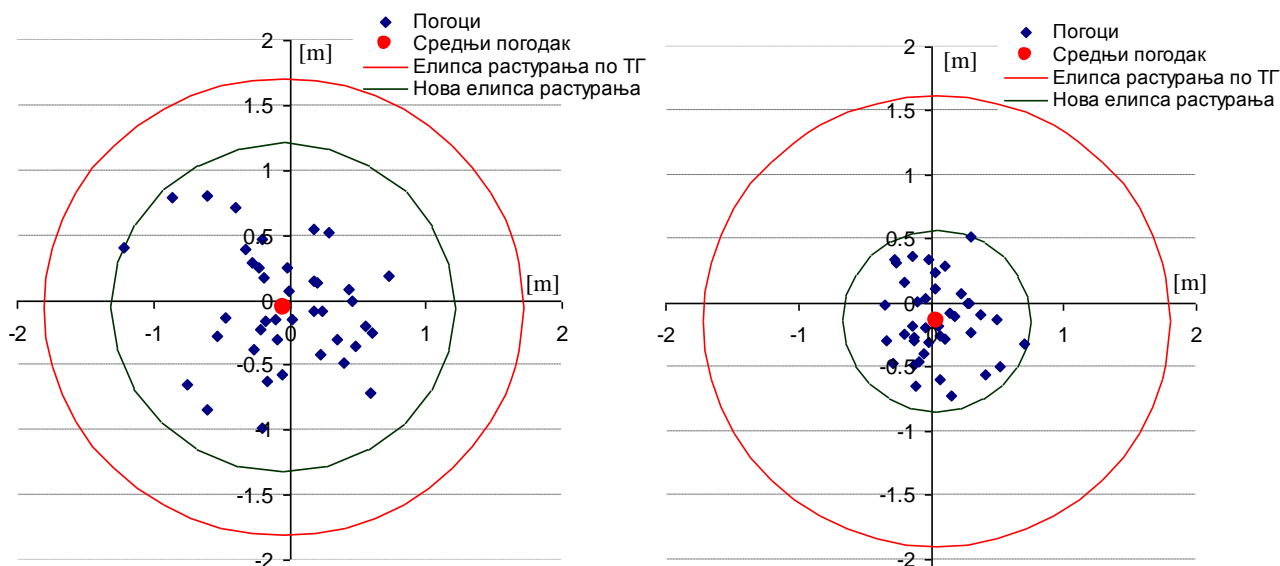
Симулације гађања реализоване су за полазни угао у вертикалној равни од 0,06667 степени.



Слика 7.12: Елипсе растурања и слике погодака за симулације гађања на 700 m уз грешке позиционирања од 75% (лево) и 50% (десно) у односу на максимално допуштену грешку

### 7.2.4. Симулације гађања на 1600 m

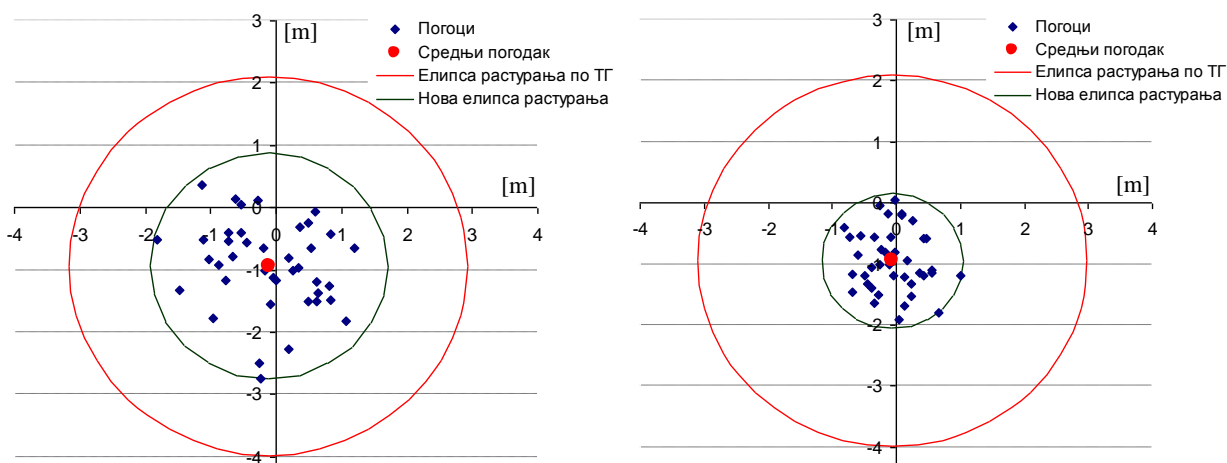
Симулације гађања реализоване су за полазни угао у вертикалној равни од 0,15 степени.



Слика 7.13: Елипсе растурања и слике погодака за симулације гађања на 1600 m уз грешке позиционирања од 75% (лево) и 50% (десно) у односу на максимално допуштену грешку

### 7.2.5. Симулације гађања на 2800 m

Симулације гађања реализоване су за полазни угао у вертикалној равни од 0,26667 степени.



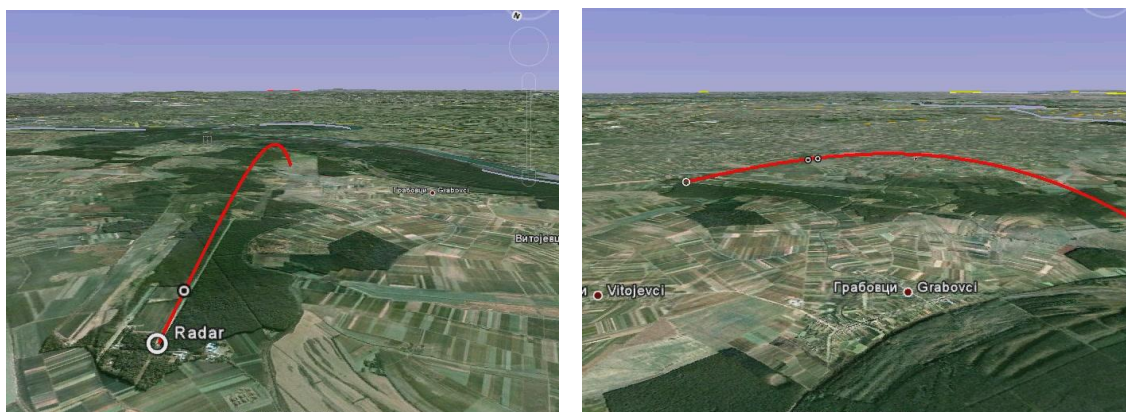
Слика 7.14: Елипсе растурања и слике погодака за симулације гађања на 2800 m уз грешке позиционирања од 75% (лево) и 50% (десно) у односу на максимално допуштену

## 7.3. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА СИМУЛАЦИЈА ГАЂАЊА

### 7.3.1. Могућности коришћења 3Д доплер радара

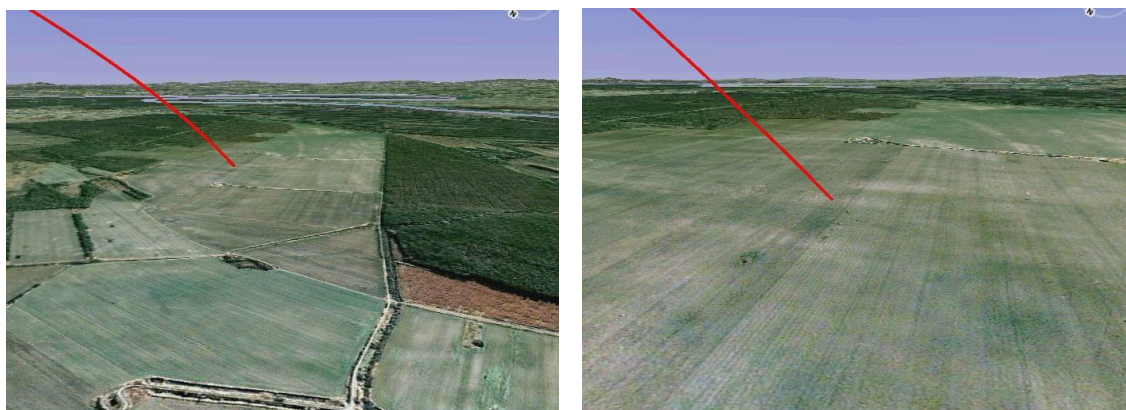
За верификацију теоретских истраживања неопходна је реализација практичних испитивања и мерења савременом процесном опремом. Имајући у виду да је реализација наведених испитивања и мерења условљена извршењем бојевих гађања који су веома скупи, у дисертацији су коришћени резултати опитних гађања извршених у Техничком опитном центру Војске Србије.

Недавно прибављени 3Д доплер радар Техничког опитног центра пружа огромне могућности у том смислу. Проучавање карактеристика путање пројектила, као и других балистичких параметара, омогућено је од самог опаљења и изласка из цеви оруђа, па све до сусрета пројектила са циљем. Регистровани параметри памте се у меморији рачунара и могу се касније репродуковати и анализирати, као што је и приказано на следећим сликама.



Слика 7.16: Тренутно-фугасни пројектил на узлазном делу путање (приказ у две различите перспективе)

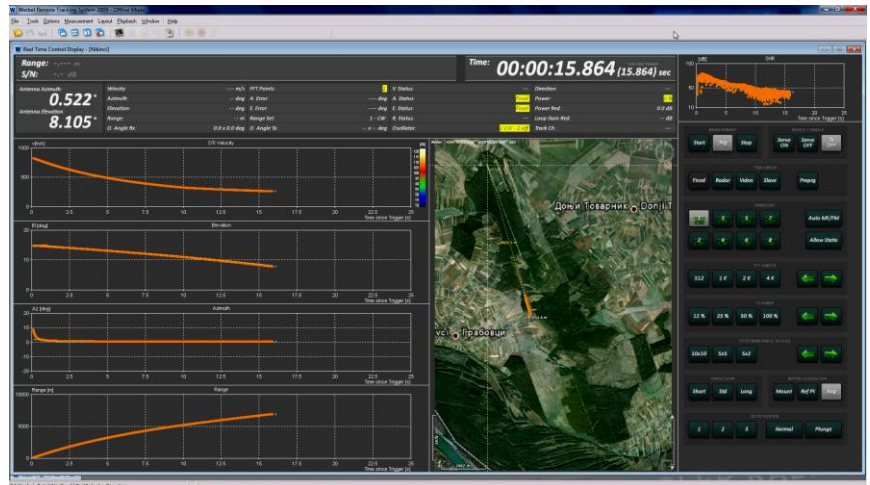
Осим тога, нови радар омогућава *user-friendly* коришћење интерфејса (слика 7.18), где корисник задавањем конкретних параметара може добити графичке приказе жељених величина у функцији одабране величине. Повезивањем са *GPS* уређајима и приступом глобалној рачунарској мрежи, могуће је цртање прецизних тродимензионалних графика, који су приказани на реалном рељефу, на сликама 7.16. и 7.17.



Слика 7.17: Падни део путање тренутно-фугасног пројектила - шири и зумирани приказ

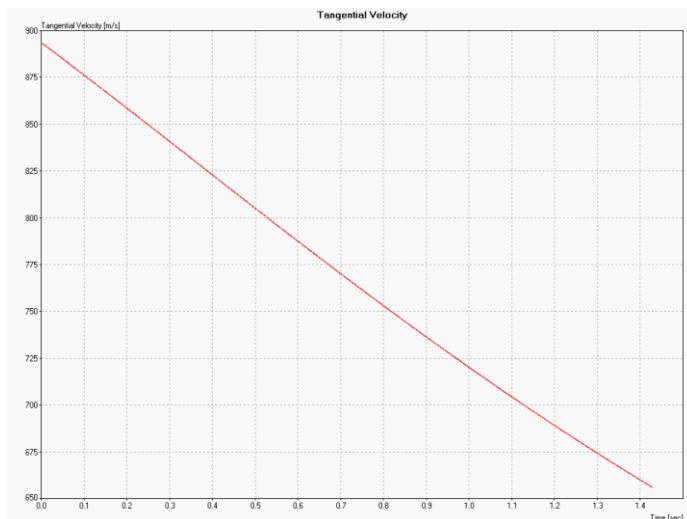


Нови радар омогућава снимање и регистровање података који су потребни за каснију реконструкцију лета пројектила у свим фазама. Тако се при лету пројектила снимају балистички параметри у реалном времену (углови елевације и азимута у односу на антену радара, домет и брзина пројектила и друго). Такође, врши се и прецизно лоцирање радара на терену (координате, углови елевације и азимута антене и слично), што омогућава касније анализе у складу са захтевима корисника.



Слика 7.18: Балистички подаци током лета пројектила у реалном времену

На сликама 7.18. и 7.19. представљене су могућности радара, и то: изглед "контролне табле" за праћење података у реалном времену, односно график брзине пројектила снимљен радаром при гађању тренутно-фугасним пројектилом калибра 125 mm.



Слика 7.19: График брзине тренутно-фугасног пројектила снимљен на радару

На жалост, досадашњом применом новог радара још увек нису обухваћена бојева гађања поткалибарним пројектилом калибра 125 mm, имајући у виду њихову изузетно високу економску цену.

Због тога ће за верификацију истраживања дисертације бити употребљени постојећи резултати опитних гађања из Техничког опитног центра.

### 7.3.2. Запажања о реализованим симулацијама гађања

Уколико се посматрају хистограми приказани у оквиру тачке 7.1. овог рада, може се уочити да фреквенција појављивања "прати" контуре препознатљиве криве густине нормалне расподеле, али и да на појединим хистограмима постоји тренд њеног "померања" у неку од две стране, као и благе "дисторзије" препознатљивог облика. То потврђује природу случајног појављивања грешака а, с друге стране, указује и на величину узорка (40 понављања).

Анализом табеларно сортираних података у излазним фајловима (а за сваку симулацију гађања на свакој даљини формира се по 40 излазних фајлова - укупно 200 табела) може се закључивати о репрезентативности реализованог експеримента. Тако, на пример, излазни фајл број 22 који је добијен приликом симулације гађања на 700 m (чији је комплетан листинг дат у Прилогу 7) у колони "Y" показује да ордината темена путање износи 0,114 m. Вредност овог податка у Таблицама гађања износи 0,19 m, па се може констатовати да је примењена метода потпуно прихватљива, с обзиром да се вредност ординате темена симулиране путање разликује од вредности ординате темена путање у Таблицама гађања за само 0,076 m.

Након реализације симулација гађања потребно је анализирати њихове резултате и упоредити их са резултатима извршених теренских опитних гађања.

За ту сврху сачињена је Табела 7.1. са обједињеним резултатима симулација, где се уочавају чињенице од значаја за предметно истраживање, које ће бити коментарисане нешто касније.

Табела 7.1.

Редни број	Даљина [m]	Полазни угао		4Vv=4Vp – полуоса елипсе растурања по ПП [m]	Полуоса слике погодака симулација			Удаљеност средњег погодка симулација од нишанске тачке			Однос величина полуоса слике погодака симулација и елипсе растурања из Таблица гађања		
		[под / мин]	[°]		за 100% грешке [m]	за 75% грешке [m]	за 50% грешке [m]	за 100% грешке [m]	за 75% грешке [m]	за 50% грешке [m]	за 100% грешке [%]	за 75% грешке [%]	за 50% грешке [%]
1.	100	1/1	0,01667	0,12	0,0889	0,0706	0,0433	0,0139	0,0143	0,0156	74	59	36
2.	500	5/3	0,05	0,52	0,4485	0,4218	0,2314	0,0914	0,0273	0,0258	86	81	44
3.	700	7/4	0,06667	0,72	0,7213	0,5221	0,3434	0,0457	0,0517	0,0474	100	72	48
4.	1600	16/9	0,15	1,76	1,7003	1,2630	0,7093	0,1214	0,0711	0,1454	97	72	40
5.	2800	28/16	0,26667	3,04	2,4354	1,8175	1,1081	0,7935	0,9418	0,9522	80	60	36
<b>ПРОСЕЧНЕ ВРЕДНОСТИ</b>								<b>0,2132</b>	<b>0,2212</b>	<b>0,2373</b>	<b>87,4</b>	<b>68,8</b>	<b>40,8</b>



### 7.3.3. Резултати теренских опитних гађања

У претходним разматрањима квантификован је утицај компонената СУВ-а на резултате гађања поткалибарним пројектилом из тенковског топа 125 mm, како појединачно, тако и у сумарном дејству. У четвртом поглављу дисертације детаљно су образложени утицајни фактори СУВ-а који доприносе грешкама непосредног гађања, а тиме и појави растурања погодака. Ови фактори су систематизовани, а њихово дејство концентрисано у циљу спречавања разубјености истраживања. Уочено је да претпостављене грешке компонената СУВ-а утичу на прецизност и појаву растурања погодака, али да тај утицај није изразито одлучујући у односу на друге утицајне факторе.

Може се закључити да највећи утицај на прецизност гађања имају рачунар, дневно-ноћна нишанска справа ДННС-2, паралелограм и хидростатички преносници снаге по правцу и елевацији, што се односи на гађање у полустабелисаном и стабелисаном режиму рада СУВ М84.

Као што је раније наглашено, економска неисплативост условила је немогућност практичне верификације истраживања, извођењем посебних гађања за потребе дисертације. У ту сврху искоришћени су резултати ранијих опитних гађања, која су извршена и анализирана у Техничком опитном центру, а дата у литератури [38], тако да ће изведени закључци представљати допринос проучавању утицаја система за управљање ватром на растурање погодака и прецизност гађања.

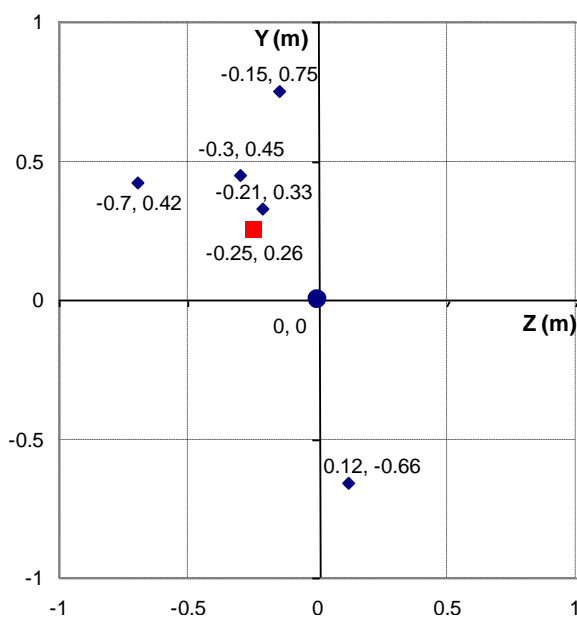
У Табели 7.2. представљен је резултат гађања из тенка у вертикалну мету, на 1600 m, коришћењем пет поткалибарних пројектила, из места, са укљученим СУВ-ом. Гађање је реализовано на температури ваздуха од +26°C, а пре приступања мерењима у циљу загревања цеви испален је један ТФ метак. Слика погодака дата је на слици 7.20, где је средњи погодак означен квадратом, а нишанска тачка кругом.

Такав начин означавања средњег поготка и нишанске тачке примењен је и на осталим графицима.

У Табели 7.3. приказана су одступања од нишанске тачке при гађању из тенка у вертикалну мету, на 2780 m, коришћењем три поткалибарна пројектила, из места, са укљученим СУВ-ом.

Табела 7.2.

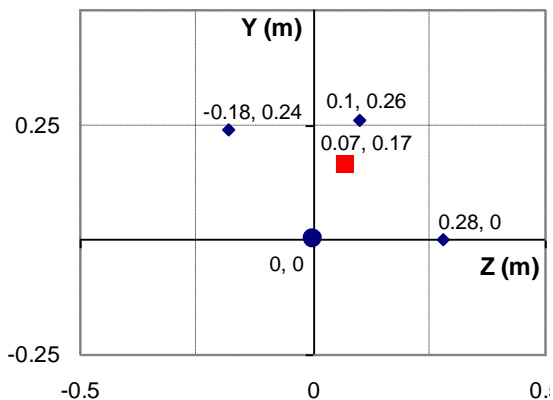
Ред. број	Правац [m]	Висина [m]
1.	-0,30	0,45
2.	-0,15	0,75
3.	-0,70	0,42
4.	-0,21	0,33
5.	0,12	-0,66
Ср.вред.	-0,25	0,26
Растур.	0,20	0,36
Макс.	-0,70	-0,66
Мин.	0,12	0,75
Распон	0,82	0,141



Слика 7.20: Слика погодака за гађање на 1600 m, из места, са укљученим СУВ-ом

Табела 7.3.

Ред. број	Правац [m]	Висина [m]
1.	0,28	0
2.	0,10	0,26
3.	-0,18	0,24
Ср.вред.	0,07	0,17
Растур.	0,10	0,01
Макс.	-0,18	0,24
Мин.	0,10	0,26
Распон	0,28	0,02



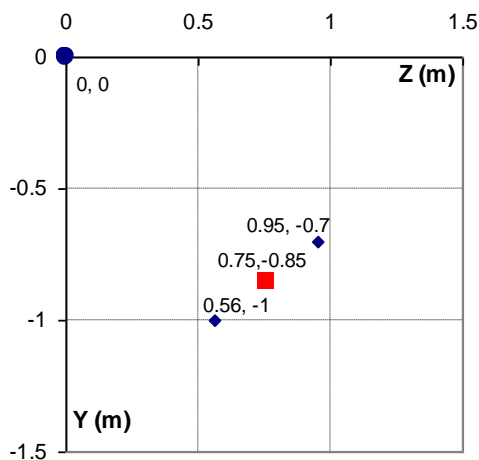
Слика 7.21: Слика погодака за гађање на 2780 m, из места, са укљученим СУВ-ом

Гађање је реализовано на температури ваздуха од  $+33^{\circ}\text{C}$ , а пре приступања мерењима, у циљу загревања цеви, испаљен је један метак. Слика погодака приказана је на слици 7.21.

У Табели 7.4. дати су резултати гађања из тенка у вертикалну мету, на 2800 m, коришћењем два поткалибарна пројектила, из места, са укљученим СУВ-ом, при температури ваздуха од  $+28^{\circ}\text{C}$ . Слика погодака дата је на слици 7.22.

Табела 7.4.

Ред. број	Правац [m]	Висина [m]
1.	0,95	-0,70
2.	0,56	-0,10
Ср.вред.	0,76	-0,85
Растур.	0,19	0,14
Макс.	0,56	-1
Мин.	0,95	-0,70
Распон	0,39	0,30



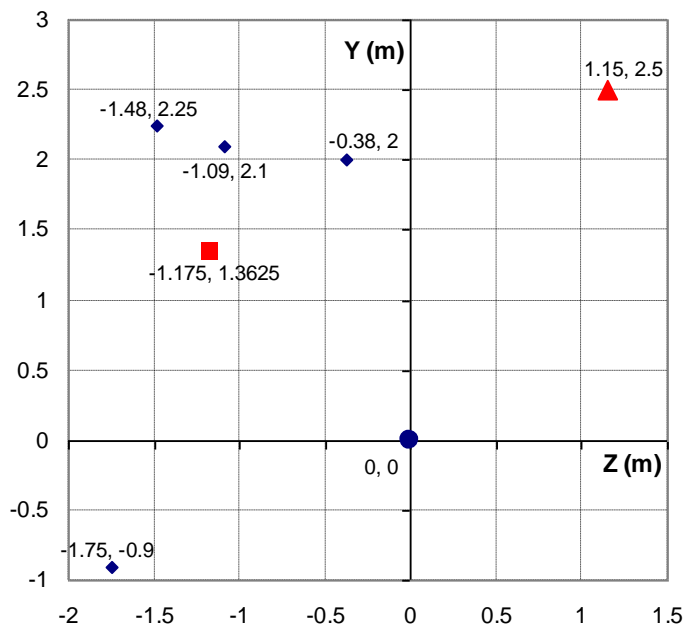
Слика 7.22: Слика погодака за гађање на 2800 m, из места, са укљученим СУВ-ом

У Табели 7.5. приказан је резултат гађања из тенка у вертикалну мету, на 2800 m и 1950 m, коришћењем пет поткалибарних пројектила. Прва четири пројектила испаљена су из места, са укљученим СУВ-ом, на циљ на даљини од 2800 m, док је пети пројектил испаљен из покрета, на циљ на даљини од 1950 m.

Средња вредност (погодак означен квадратом) израчуната је за прва четири пројектила, испаљена из места, и приказана на слици 7.23, заједно са нишанском тачком (означеном кругом).

Табела 7.5.

Ред. број	Правац [m]	Висина [m]	Напомена
1.	-1,75	-0,90	из места, на 2800 m
2.	-1,09	2,10	
3.	-0,38	2,00	
4.	-1,48	2,25	
5.	1,15	2,50	из покрета, на 1950 m
Ср.вред.	-1,175	1,3625	за редне бројеве од 1 до 4
Растур.	0,40	1,02	
Макс.	-1,75	-0,90	
Мин.	-0,38	2,25	
Распон	1,37	3,15	

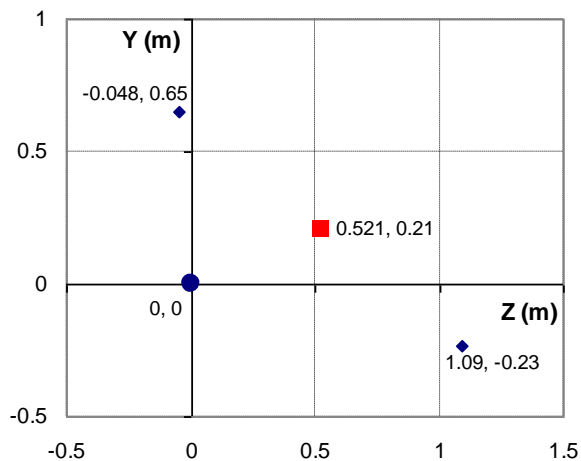


Слика 7.23: Слика погодака за гађање са укљученим СУВ-ом (из места - на 2800 m, из покрета - на 1950 m) (Пет погодак, из покрета, представљен троуглом, није узет у обзир током прорачуна)

У Табели 7.6. и на слици 7.24. дати су резултати гађања из покрета, на даљини од 2000 m. Гађање је реализовано коришћењем два поткалибарна пројектила на температури ваздуха од +34°C.

Табела 7.6.

Ред. број	Правац [m]	Висина [m]
1.	-0,048	0,65
2.	1,09	-0,23
Ср.вред.	0,521	0,21
Растур.	0,78	0,44
Макс.	1,09	0,65
Мин.	-0,048	-0,23
Распон	1,57	0,88



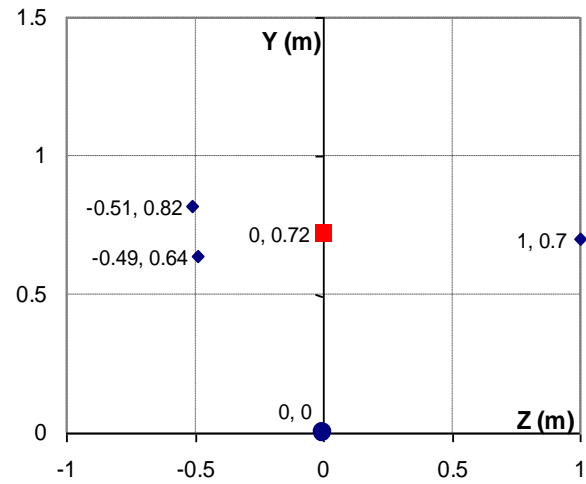
Слика 7.24: Слика погодака за гађање на 2000 m, из покрета, са укљученим СУВ-ом

На крају, у Табели 7.7. и на слици 7.25. приказани су резултати гађања из покрета, на даљини од 2000 m. Гађање је реализовано коришћењем три поткалибарна пројектила на температури ваздуха од + 28°C.

Ово гађање није приказано заједно са претходним, иако су оба реализована на даљини од 2000 m, зато што су извршена у два различита дана, уз коришћење различитих серија муниције и на различитим температурама.

Табела 7.7.

Ред. број	Правац [m]	Висина [m]
1.	-0,51	0,82
2.	-0,49	0,64
3.	1	0,70
Ср.вред.	0	0,72
Растур.	0,58	0,06
Макс.	-0,51	0,64
Мин.	1	0,82
Распон	1,51	0,18



Слика 7.25: Слика погодака за гађање на 2000 m, из покрета, са укљученим СУВ-ом

#### 7.4. НАУЧНИ ДОПРИНОС И ПРЕДЛОЗИ ЗА ПОБОЉШАЊЕ

Током истраживања утицаја дејства СУВ-а на растурање погодака при непосредном гађању тенковским топом тенка М84 реализована је симулација гађања поткалибарним пројектилом 125 mm на даљинама од 100, (200), 500, 700, (800), 1600 и 2800 m, са комбинованим дејством утицаја СУВ-а, уз претпостављене грешке у позиционирању оруђа у обе равни навођења, чија је вероватноћа појављивања генерисана на основу нормалне расподеле.

Нису узимани у обзир остали значајни фактори који утичу на растурање погодака (промена почетне брзине, промена температуре барута, разлика у маси пројектила, утицај ветра, промена надморске висине итд), већ је издвојен и анализиран утицај СУВ-а кроз коначно позиционирање тенковског топа.

Након тога, приказани су доступни резултати бојевих опитних гађања са укљученим СУВ-ом, због немогућности да у циљу истраживања буду извршена контролна бојева гађања.

Имајући у виду да су бојева гађања на 1600 m и 2800 m реализована са највише метака (те су зато и најрепрезентативнија) анализиран је однос између резултата тих гађања и резултата симулација гађања на истим даљинама, док су остали резултати констатовани.

У Табели 7.8. дат је упоредни приказ резултата опитног гађања и симулација гађања на 1600 m, а у Табели 7.9. приказ резултата опитног гађања и симулација гађања на 2800 m.

Табела 7.8.

Координате средњег поготка и врста гађања на даљини од 1600 m		Координате средњег поготка [ m ]		Удаљеност средњег поготка од нишанске тачке [ m ]	Полуоса елипсе растурања из ТГ [ m ]
		[ Z ]	[ Y ]		
Опитно гађање	5 метака	-0,25	0,26	0,3607	1,76
Симулације гађања	100% могуће грешке	-0,1184	0,0270	0,1214	
	75% могуће грешке	-0,0470	-0,0534	0,0711	
	50% могуће грешке	0,0438	-0,1387	0,1454	

Уочава се да су сви погоци, без обзира да ли се ради о опитном гађању или симулацијама гађања, унутар елипсе растурања која је дефинисана са по четири полуосе вероватног скретања по висини, односно по правцу, и то за обе наведене даљине.

Такође, приметна је велика разлика у величини удаљености средњег поготка од нишанске тачке (која је за даљину од 1600 m - од скоро 2,5 до чак 5 пута већа код опитног гађања него код симулација гађања). За даљину гађања од 2800 m величина удаљености средњег поготка од нишанске тачке већа је од тачно 1,19 до 2,27 пута код опитног гађања

него код симулација гађања, што поступком интерполације доводи до усредњене вредности од 1,695 што значи да је та удаљеност већа за готово 70%.

Ипак, описани односи су потпуно очекивани, имајући у виду претпоставке симулација гађања у односу на реалне услове под којима је опитно гађање реализовано (јер је разматран само утицај СУВ-а).

Табела 7.9.

Координате средњег поготка и врста гађања на даљини од 2800 m		Координате средњег поготка [ m ]		Удаљеност средњег поготка од нишанске тачке [ m ]	Полуоса елипсе растурања из ТГ [ m ]
		[ Z ]	[ Y ]		
Опитно гађање	4 метка	-1,1750	1,3625	1,7992	3,04
	2 метка	0,7500	-0,8500	1,1336	
Симулације гађања	100% могуће грешке	-0,2104	-0,7650	0,7935	
	75% могуће грешке	-0,1156	-0,9346	0,9418	
	50% могуће грешке	-0,0568	-0,9505	0,9522	

Осим тога, анализирајући резултате из Табеле 7.1. може се уочити да је само у једном случају дошло до поклапања слике погодака са елипсом растурања из Таблица гађања (при симулацији гађања на 700 m, уз претпоставку максималне грешке позиционирања), док је у осталих 13 случајева слика погодака заузимала површину од 36% до 86% (уз само још један издвојен случај од 97%) површине елипсе растурања из Таблица гађања.

Уколико се обрати посебна пажња на последњи ред Табеле 7.1. уочавају се и битне чињенице које представљају научни допринос реализованих истраживања.

Наиме, просечне вредности удаљености средњег поготка симулација од нишанске тачке (без обзира на то колика је била грешка позиционирања) биле су веома блиске вредности, и то: 0,2132 m, 0,2212 m и 0,2373 m.

С друге стране, уочава се јасан утицај износа грешке позиционирања на величину нове елипсе растурања у односу на елипсу растурања која је прописана Таблицама гађања, и то:

- за могућу појаву максималне грешке позиционирања, полуоса нове елипсе растурања износи 87,4% полуосе елипсе растурања из Таблица гађања,
- за могућу појаву грешке позиционирања у износу од 75% максималне грешке позиционирања, полуоса нове елипсе растурања износи 68,8% полуосе елипсе растурања из Таблица гађања,

- за могућу појаву грешке позиционирања у износу од 50% максималне грешке позиционирања, полуоса нове елипсе растурања износи 40,8% полуосе елипсе растурања из Таблица гађања.

**Из последњих наведених разматрања може се закључити да ће смањењем случајне грешке позиционирања (на шта примарно утиче СУВ) прецизност гађања бити осетно повећана, док у исто време тачност гађања неће бити битније нарушена.**

Дакле, применом описаног научног истраживања установљени су квантитативни показатељи који успостављају јасну везу између утицаја грешке позиционирања тенковског топа (која представља резултат рада СУВ-а) на тачност и прецизност при гађању поткалибарним пројектилом, а тиме и на вероватноћу погађања циља, што се може користити у даљим истраживањима у овој и сродним областима.

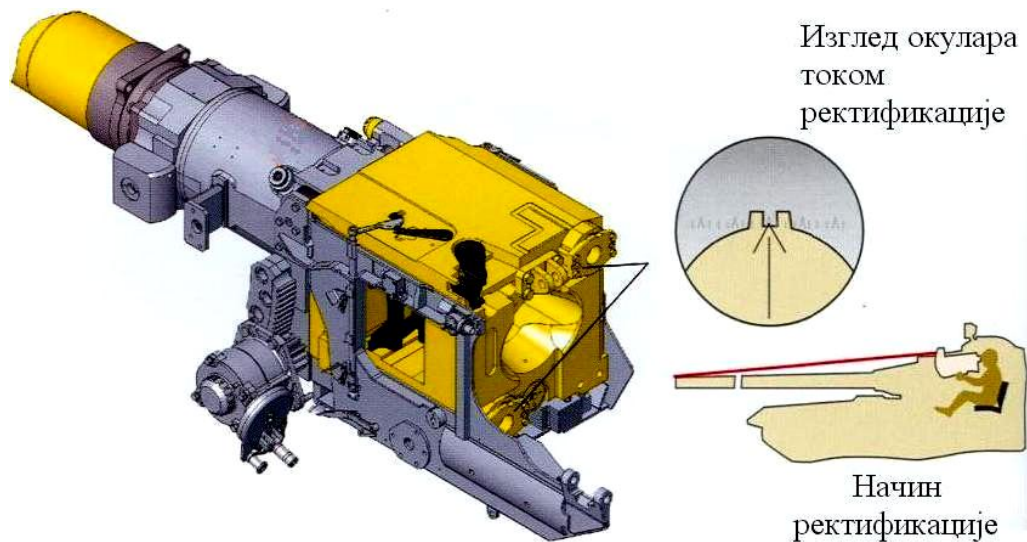
Уколико се зна да је дужина тенка 6,86 m (крајњи габарити блатобрана, при чему дужина цеви није урачуната), као и да ширина тенка износи 3,59 m, а његова висина 2,19 m, може се закључити да ће смањење ефикасности непосредног гађања поткалибарним пројектилом услед грешака изазваних СУВ-ом бити незнатно.

Упркос технолошком развоју и новим решењима у примени СУВ-а, тенк М84, са актуелном концепцијом која важи за тенкове на употреби у оперативним јединицама Војске Србије, достигао је зенит оптималних решења која се код њега примењују. То, практично, значи да се без примене нових решења не може очекивати значајан напредак ефикасности гађања тенковским топом.

Као што је документовано резултатима практичних гађања- не могу се јасно уочити нити предвидети правилности у начину одступања слике погодака у односу на нишанску тачку. Штавише, практична теренска испитивања и опитовања гађањем тенковским топом на тенку М84 указују да прецизност гађања и растурање погодака нису условљени системским грешкама СУВ-а већ другим, раније побројаним, факторима. Грешке које се могу класификовати као грешке СУВ-а (иако то, заправо, нису) јесу грешке настале погрешним руковањем или другим разлозима на које се, објективно не може утицати. Тако, на пример, може доћи до раздешавања нишанске справе или паралелограма услед вибрација током интензивног гађања. Наведени проблем није увек лако уочити, нити решити, посебно када су борбена дејства у току.

Ипак, један од начина који се може применити јесте измењени поступак ректификације (провере паралелности осе цеви топа и нишанске линије).

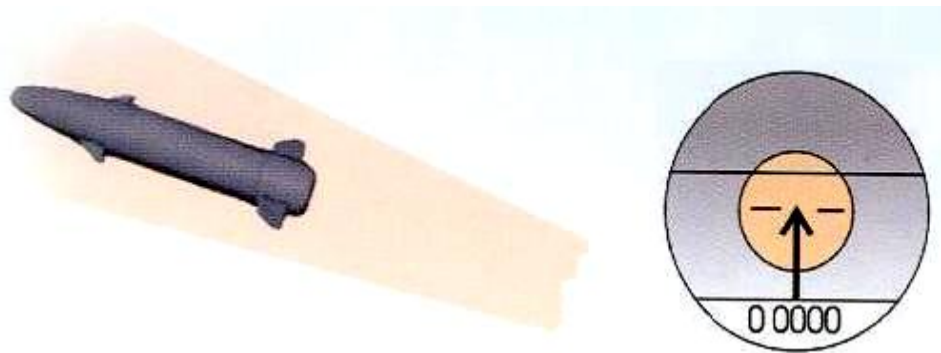
Као што је познато, ректификација код тенка М84 врши се подешавањем у односу на ознаке на ректификационој табли, која се поставља на 13,5 m испред уста цеви. У складу са наведеним поступком, јасно је да се поступак ректификације не може реализовати у зони борбених дејстава.



Слика 7.30: Принцип ректификације без напуштања тенка

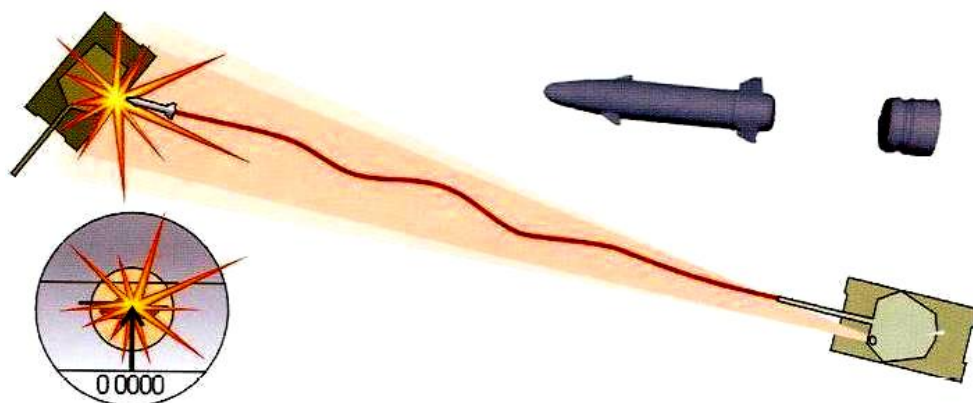
Решење за овакву ситуацију може се постићи променом концепта ректификације, и њеном реализацијом без напуштања тенка. Идејно решење таквог поступка приказано је на слици 7.30.

Применом овако конципираног поступка, ректификација би била бржа и ефикаснија, а тиме би и прецизност била очувана на оптималном нивоу. Осим наведеног, повећање прецизности гађања током борбене употребе тенка може се постићи применом већ познатих решења модификовања СУВ-а коришћењем ТВ или ласерски навођених ракета које би биле испалјиване из цеви тенковског топа.



Слика 7.31: (Само)навођена ракета и изглед окулара

На тај начин, било би омогућена корекција путање пројектила (ракете) током лета ка циљу, као што је приказано на сликама 7.31. и 7.32.



Слика 7.32: Корекција путање пројектила (ракете) током лета ка циљу



## 8. ЗАКЉУЧАК

Тенк М84 представља једино оклопно борбено возило те врсте у оперативној употреби у јединицама Војске Србије, па његова улога у савременим борбеним дејствима и даље има велику важност. Имајући у виду да борбена дејства могу бити вођена различитим интензитетом у специфичним климатским, земљишним и другим условима, модернизација и подизање нивоа ефикасности ватре представљају стални задатак за пројектанте.

Познато је да тенк М84 са својим СУВ-ом представља борбено средство треће генерације, што поставља извесне специфичности и ограничења у смислу побољшања његових перформанси. Наиме, нишањење и гађање код тенка М84 јесу полуаутоматски процеси који у савременим условима ратовања треба да буду резултат рада аутоматизованог СУВ-а, почев од мерења метеоролошких података и прорачуна рачунара, па све до акција покретања оруђа и куполе.

Стога се намеће задатак да се, у постојећим условима ограничених могућности, омогући модернизација и што бржи прелазак тенкова на употреби у јединицама Војске Србије на виши технолошки ниво, како би се концепцијским решењима приближили најсавременијим тенковима данашњице.

Прецизност гађања свакако представља један од најважнијих задатака који се постављају пред ово средство. У складу са тим, у дисертацији је, као проблем истраживања, постављен задатак дефинисања утицаја система за управљање ватром на тенку М84 на растурање погодака при непосредном гађању. Извршена је систематизација узрока који могу довести до растурања погодака при коришћењу СУВ-а током непосредног гађања, дефинисан је допринос управљачких и извршних елемената СУВ-а на растурање погодака, и извршена анализа заузимања линије гађања и лета пројектила након опаљења топа, у спољнобалистичком смислу.

Предмет истраживања докторске дисертације било је, дакле, дефинисање утицаја СУВ М84 на растурање погодака при непосредном гађању.

Основни циљ истраживања био је да се омогући реалнија процена укупног утицаја СУВ-а на понашање цеви током аутоматског заузимања линије гађања, при чему се примењена методологија истраживања може искористити и за друга артиљеријска оруђа која поседују СУВ.

Истраживање је реализовано тако што је проблем најпре дефинисан и описан, реализовано је научно објашњење утицаја елемената СУВ на ниво грешке, односно растурање погодака, формиран је математички модел СУВ-а и искоришћен је одговарајући софтвер за нумеричко моделовање процеса.

Извршен је спољнобалистички прорачун у циљу оцене утицаја на ниво грешке, а затим и експериментисање коришћењем симулација гађања из тенковског топа.

Потом је реализована упоредна анализа резултата добијених симулацијама у односу на податке из Таблица гађања, како би се омогућила даља истраживања са тзв. “еталон симулацијом” која ће задовољавати спољнобалистичке критеријуме и Таблице гађања.

Испитан је утицај рада СУВ-а (кроз стохастички обрађену грешку позиционирања тенковског топа), као и последице на растурање погодака, односно прецизност и тачност оруђа.

Коначно, добијени резултати истраживања верификовани су уз коришћење резултата опитних гађања и контролно-мерних испитивања, реализованих у Техничком опитном центру.

Наведени резултати гађања и испитивања коришћени су имајући у виду изузетно скупо извођење експерименталног истраживања у реалним условима, које захтева специјалну мерну опрему и велики број опаљења.

На жалост, током наведене верификације и анализе резултата гађања није било могућности за разматрање података од недавно прибављеног 3Д доплер радара, јер исти до сада није коришћен током опитних гађања поткалибарним пројектиlima. У том смислу, кроз илустративни пример регистровања података забележених приликом гађања тренутно-фугасним пројектилом, информативно су назначени потенцијал и могућности овог радара у будућим истраживањима.

На крају, изведен је финални суд о утицају СУВ-а на резултате гађања и изложени су предлози за побољшање ефикасности ватре тенка М84.

Имајући наведено у виду, може се закључити да опис, дефинисање и објашњење утицаја СУВ-а на резултате непосредног гађања из тенковског топа, као и одређивање фактора који утичу на растурање погодака доприносе научној оправданости истраживања.

Један од резултата истраживања представља експликативно-дескриптивна студија дефинисања наведеног утицаја СУВ-а. Осим тога, мултидисциплинарност докторске дисертације може се искористити за подизање ефикасности и рационалности борбене употребе тенка М84 и других оклопних борбених возила, из чега се може уочити друштвено-економска оправданост истраживања.

Остварени резултати истраживања и развијени модел за симулацију, могу се искористити за побољшање постојеће методологије пројектовања СУВ-а, што се посебно односи на прогнозу и одређивање дозвољеног нивоа растурања пројектила.

С друге стране, имајући у виду технолошки напредак у развоју оклопних борбених средстава, тенкова посебно, може се закључити да се пред систем одбране поставља тежак задатак оптимизације тактичко-техничких карактеристика у актуелним условима отежаног финансирања.

Наиме, савремени тенкови имају комбиноване вишеканалне нишанске справе са обједињеним дневним ТВ и термовизијским каналом, док ласерски даљиномер има већу тачност мерења (са допуштеном грешком до 5 m), као и могућност вођења ракете која се испалује из тенковске цеви. Притом, ракете могу бити невођене и (само)навођене.

Наведени уређаји савремених система за управљање ватром омогућавају и могућност "препознавања" циљева на даљинама до чак 5000 m, а у условима смањене видљивости и ноћу до 3500 m. Притом се, од свих регистрованих, врши идентификација сопствених у односу на противничке тенкове.

Раније поменуто полуаутоматско нишањење, које је и даље актуелно код тенкова М84 на оперативној употреби у јединицама Војске Србије, треба да буде што је могуће више аутоматизовано, како би се максимално искључила могућност субјективне грешке у току доношења одлуке и отварања ватре, имајући у виду интензитет стреса који у тим тренуцима трпи нишанџија. Ово је могуће постићи системима за аутоматско праћење циља, чијом

применом се за две до три секунде смањује време пре првог опаљења, што фактички представља продужетак живота у борбеним условима.

Најзад, у циљу адекватне искоришћености свих потенцијала, тенкове је потребно ујединити у јединствени аутоматизовани систем руковођења и командовања, коришћењем могућности савремених командно-информационих система који би се могли повезати и коришћењем сателитске навигације.

На тај начин, била би омогућена размена информација између сваког појединачног тенка и осталих тенкова који учествују у борбеним дејствима, као и са осталим јединицама које су "увезане" у командно-информациони систем.

У вези са наведеним предлозима, пред систем одбране постављају се велики изазови: кадровски, организациони, материјално-финансијски, инжењерски, временски и други.

Сваки од наведених изазова, чак и појединачно, представља не мали проблем, али њиховим превазилажењем Војска Србије би могла добити тенк који би био њен ослонац и "ударна песница", као што је то био случај у ранијем периоду. Ово се посебно односи на осамдесете године прошлог века, када је тенк М84 успешно парирао, а неретко и био бољи у односу на много скупље тенкове развијених земаља.

## 9. ПРИЛОЗИ

### ПРИЛОГ 1 - Општи опис система за управљање ватром М84

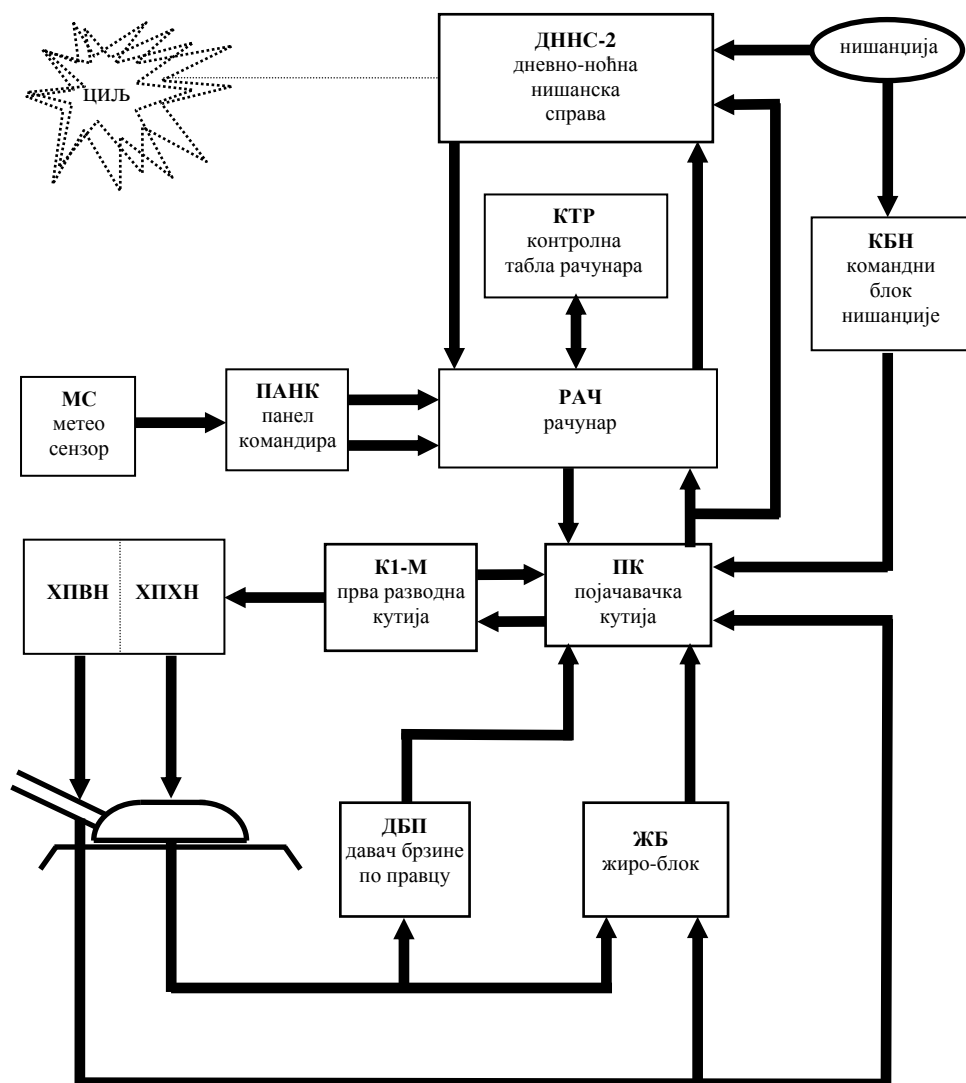
Један савремени систем за управљање ватром треба да омогући успешно осматрање, мерење даљине до циља, нишањење и гађање у свим временским и метеоролошким условима, као и у условима ометања. Систем за управљање ватром треба да прикупља, обрађује и заузима елементе гађања, обезбеђујући погађање циља према захтевима који су постављени пред тај систем.

Систем за управљање ватром на тенку М84 (СУВ М84) је електрохидраулички уређај који повећава ефекат прецизности ватре при гађању из тенка у покрету, при свим условима гађања, дању или ноћу, и притом обезбеђује:

- стабилизацију топа и спрегнутог митраљеза у задатом положају,
- навођење стабилизованог топа и спрегнутог митраљеза у вертикалној и хоризонталној равни навођења,
- континуалну промену брзине навођења стабилизованог топа и спрегнутог митраљеза у вертикалној и хоризонталној равни навођења,
- преузимање команде од стране командира тенка ради указивања циља нишанцији,
- покретање куполе по правцу од стране возача, у случају опасности,
- да једино нишанција може управљати нишанском линијом,
- уношење података у рачунар, аутоматски или ручно,
- квалитетно осматрање, дању и ноћу, преко дневно-ноћне нишанске справе ДНС-2.

Најважније тактичко-техничке карактеристике СУВ М84 јесу:

- тип ..... електродинамички
- модел ..... СУВ М84А
- температурно подручје рада .....  $-30$  до  $+50$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- време непрекидног рада ..... 4 [часа]
- (у рату без прекида)
- време припреме за рад ..... 0,5 до 2 [минута]
- гранични углови елевације .....  $-5^{\circ}$  до  $+15^{\circ}$
- течност у хидрауличком уређају ..... ХУНТ-С
- ветар ( уздужни и попречни ) .....  $\pm 40$  [m/s]
- максимални нагиб .....  $\pm 15^{\circ}$
- брзина навођења у вертикалној равни ..... 1 до 70 [хиљ/s]
- брзина навођења у хоризонталној равни ..... 1,2 до 285 [хиљ/s]
- брзина навођења при аквизицији ..... 340 [хиљ/s]
- брзина навођења при окретању куполе у опасности ..... 340 [хиљ/s]
- опсег мерења даљине ..... 200 до 10000 [m]
- даљина гађања ..... 200 до 6000[m]
- опсег претицања по правцу .....  $\pm 0$  до 40 [хиљ]
- опсег претицања по висини .....  $\pm 0-20$  [хиљ]
- опсег ректификације по правцу и по висини .....  $\pm 0-05$  [хиљ]
- видно поље дневне гране .....  $20^{\circ}$  или  $9^{\circ}$
- видно поље ноћне гране .....  $5,5^{\circ}$
- увећање дневне гране ..... 3x или 7x
- увећање ноћне гране ..... 8,5x



Слика 9.1: Принципијелна блок-шема СУВ М84

Систем за управљање ватром М84 састоји се из следећих подсистема и склопова:

#### УПРАВЉАЧКО-РАЧУНАРСКИ ПОДСИСТЕМ

- дневно-ноћна нишанска справа са ласерским даљиномером (ДННС-2),
- контролна табла рачунара (КТР),
- дигитални рачунар (РАЧ),
- командни блок нишанције (КБН),
- жиро-блок (ЖБ),
- метео-сензор (МС),
- панел командира (ПАНК),
- појачавачка кутија (ПК), и
- прва разводна кутија система за управљање ватром (К1-М).

#### ИЗВРШНИ ПОДСИСТЕМ У ВЕРТИКАЛНОЈ РАВНИ НАВОЂЕЊА

- хидропојачавач вертикалног навођења (ХПВН),
- извршни цилиндар,
- резервоар дела течности за вертикалну раван навођења,
- хидромонтажни комплет,
- уређај за довођење, и
- електромонтажни комплет.

## ИЗВРШНИ ПОДСИСТЕМ У ХОРИЗОНТАЛНОЈ РАВНИ НАВОЂЕЊА

- хидропојачавач хоризонталног навођења (ХПХН),
- хидромотор,
- резервоар дела течности за хоризонталну раван навођења,
- индуктивни давачи притиска,
- хидромонтажни комплет,
- друга разводна кутија (К2),
- блок релеја,
- давач брзине по правцу, и
- електромонтажни комплет.

## РЕЖИМИ РАДА СУВ М84

Систем за управљање ватром врши остваривање своје функције кроз неколико режима рада, у зависности од борбене ситуације и услова примене борбеног средства на бојишту.

Да би се остварили наменски задаци СУВ М84 потребно је припремити систем за рад, а припреме се огледају у следећим поступцима :

- механички одбравити куполу,
- механички одбравити топ, тј. скинути маршевску кочницу,
- проверити на левој разводној табли положај аутоматских осигурача *УКЉУЧЕНО СТАЛНО*, који треба да буду укључени, осим аутоматских осигурача *УКЉУЧЕНО ПО ПОТРЕБИ (ЕЛ.ОКИД. и ОСВ. ПА)*, који треба да буду искључени,
- проверити на десној разводној табли положај аутоматских осигурача *УКЉУЧЕНО СТАЛНО*, који треба да буду укључени, осим аутоматских осигурача *УКЉУЧЕНО ПО ПОТРЕБИ (АП.УПР и К.КОМАН)*, који треба да буду искључени,
- проверити да нема неформацијских предмета у тенку и са спољне стране, на тенку, који би ометали окретање куполе и померање цеви топа,
- поставити заштитне ограде нишанције и командира,
- проверити, на пулту управљања аутоматског пуњача, да ли се преклопник за избор врсте муниције (1, слика 9.2, лево) налази у положају *ИСКЉ*,



Слика 9.2: Пулт управљања (лево) и пулт пуњења (десно) аутоматског пуњача

- проверити на пулту управљања и пулту пуњења аутоматског пуњача, положаје прекидача за избор начина рада (4, слика 9.2, лево и 10, слика 9.2, десно) који треба да се налазе у положају *АУТ* (аутоматски режим рада),
- затворити поклопац возача,
- проверити на панелу нишанске справе ДННС-2 да је ноћна справа искључена (6, слика 9.3),



Слика 9.3: Панел нишанџијине дневно-ноћне нишанске справе ДННС-2

- деблокирати ДННС-2 по правцу и елевацији,
- преклопник за избор начина рада (6, слика 9.4) на командном блоку нишанџије поставити у положај *НОРМ*,
- укључити прекидач масе,
- стартовати мотор тенка и успоставити рад мотора на најмање 1500÷1600 [мин<sup>-1</sup>],
- проверити на волтметру да ли је напон акумулатора у границама од 22÷29[V],
- укључити рачунар, пребацавањем прекидача *РАЧУНАР* (12, слика 9.5), на контролној табли рачунара, у горњи положај, или пребацавањем главног прекидача (12, слика 9.5), на командном блоку нишанџије, у положај *ЕЛЕКТРОНИКА*,



Слика 9.4: Командни блок нишанџије

- пребацити преклопник врсте муниције (8, слика 9.5), на контролној табли рачунара, на изабрану врсту муниције,
- пребацити преклопник података (5, слика 9.5), на контролној табли рачунара, у положај *ПРОМ.ПОЧ.БРЗИНЕ*,



Слика 9.5: Контролна табла рачунара

- поставити разлику почетне брзине помоћу бесконачног преклопника *ВРЕДНОСТ* (9, слика 9.5), радног прекидача опсега +100–1 (10, слика 9.5), и показивача *ПОДАТАК* (7, слика 9.5). Кратак притисак радног прекидача опсега омогућава постављање вредности бесконачним преклопником *ВРЕДНОСТ*, у наредних 17 секунди, уз контролу рада на показивачу-дисплеју,
- поновити уношење почетне брзине за остале врсте муниције,
- поставити прекидаче за мерење температуре, притиска и ветра (4 и 11, слика 9.5), на контролној табли рачунара, у положај *АУТ*,
- проверити (на показивачу *ПОДАТАК*) вредности за температуру, притисак и ветар пребацавањем положаја преклопника *ПОДАТАК* (5, слика 9.5). Уколико аутоматски измерени подаци за притисак, температуру или ветар нису коректни, потребно је пребацити прекидаче (4 и 11, слика 9.5) на контролној табли рачунара у положај *РУЧ*, и потом унети стварне податке помоћу радног прекидача опсега и бесконачног преклопника *ВРЕДНОСТ*.

### РЕЖИМ "ЕЛЕКТРОНИКА" (ПРИПРЕМНИ РЕЖИМ РАДА)

Овај режим рада омогућава нишанцији да управља нишанском линијом, тј. да осматра бојиште, користећи притом командни блок нишанције. Померање оруђа по висини и куполе по правцу врши се механички (ручно), па се, стога, овај режим примењује при гађању из места и при отказу рада система, или неког његовог дела.

У овом режиму могуће је мерење даљине до циља ласерским даљиномером, као и унос података у дигитални рачунар, аутоматски или ручно. Такође, могу се изводити поједине провере и подешавања система и његових компоненти.

### РЕЖИМ "ПОЛУСТАБИЛИЗАЦИЈА"

Овај режим омогућава навођење и стабилизацију нишанске линије и оруђа по висини и по правцу у односу на хоризонтални положај тела борбеног средства.

Навођење нишанске линије изводи се помоћу командног блока нишанције, а топ прати нишанску линију јер су укључени извршни подсистеми за покретање оруђа и куполе, у обе равни навођења.



Регулисање положаја оруђа остварено је укључењем у повратну спрегу давача брзине по правцу и индуктивних давача, у хоризонталној равни навођења, односно елевационог сензора, у вертикалној равни навођења, без дејства жиро-блока.

Полустабилисани режим рада такође се користи при гађању из места, и у овом режиму топ и спрегнути митраљез стабилисани су у односу на тело тенка.

### **РЕЖИМ "СТАБИЛИЗАЦИЈА"**

Стабилисани режим рада одликује се укључивањем жиро-блока у повратну спрегу, те искључивањем из ње давача брзине по правцу и индуктивних давача притиска, услед чега је могуће гађати циљеве без обзира на релативни однос између борбеног средства и циља. Стога се овај режим рада примењује за гађање у покрету.

У овом случају, цев топа и спрегнути митраљез стабилисани су у односу на околни простор у коме се налази тенк.

### **РЕЖИМ "АКВИЗИЦИЈА "**

У реалним борбеним ситуацијама може се догодити да нишанција не уочи потенцијалну опасност. У том случају, уколико је командир то уочио, он може нишанцији указати на нови, рентабилнији, циљ.

Указивање циљева нишанцији од стране командира назива се *аквизиција*.

Сам поступак аквизиције врши се тако да се купола, без обзира на акције нишанције, наводи по правцу од стране командира, по вишем приоритету, све док се не поклопе осе нишанских справа командира и нишанције. На тај начин се у видном пољу нишанције указује циљ на који га је, аквизицијом, навео командир.

*Аквизиција* се може вршити у режимима *Полустабилизација* или *Стабилизација*, као и при пуњењу топа, при чему се купола у командовану страну окреће максималном брзином.

### **РЕЖИМ "ОКРЕТАЊЕ КУПОЛЕ У СЛУЧАЈУ ОПАСНОСТИ"**

Возач тенка М84, у случају опасности, може окренути куполу, уколико се цев оруђа налази изнад поклопца отвора возача. Ова акција може се извршити у било ком режиму рада, па чак и са потпуно искљученим системом, уз неколико испуњених услова.

Закретање куполе од стране возача у случају опасности врши се максималном брзином у леву страну (супротно од кретања казаљке на часовнику).

## ПРИЛОГ 2 - Опис хидростатичког преносника снаге у хоризонталној равни навођења СУВ М84

Хидростатички преносник снаге у хоризонталној равни навођења система за управљање ватром на одабраном борбеном средству је извршни подсистем система за управљање ватром. Његова првенствена намена јесте покретање куполе (на којој се налазе топ и спрегнути митраљез) у хоризонталној равни навођења. Покретање куполе врши се пропорционално величини и смеру сигнала који се формира у управљачко-рачунарском подсистему.

Хидраулички уређај овог извршног подсистема приказан је на слици 9.15, а састоји се из следећих уређаја:

- хидропојачавач,
- хидромотор,
- резервоар,
- два индуктивна давача притиска,
- друга разводна кутија,
- блок релеја,
- давач брзине по правцу,
- хидромонтажни комплет, и
- електромонтажни комплет.

### Хидропојачавач

Хидропојачавач је намењен осигуравању континуиране промене притиска, брзине и смера окретања вратила хидромотора. Састоји се из неколико делова о којима ће бити изнети основни подаци, нужни за разумевање принципа рада овог уређаја.

*Кућиште хидропојачавача* (32, слика 9.6), у себи смешта све склопове хидропојачавача. Такође има улогу резервоара и хладњака хидрауличног уља. За тело борбеног средства причвршћено је амортизерима.

Погон хидропојачавача остварен је помоћу електромотора (40, слика 9.6). Између кућишта хидропојачавача и електромотора налази се заптивни прстен, а вратило електромотора је заштићено манжетном.

Обртни момент са електромотора преноси се редуктором (39, слика 9.6) на зупчасту пумпу и пумпу са нагибном плочом.

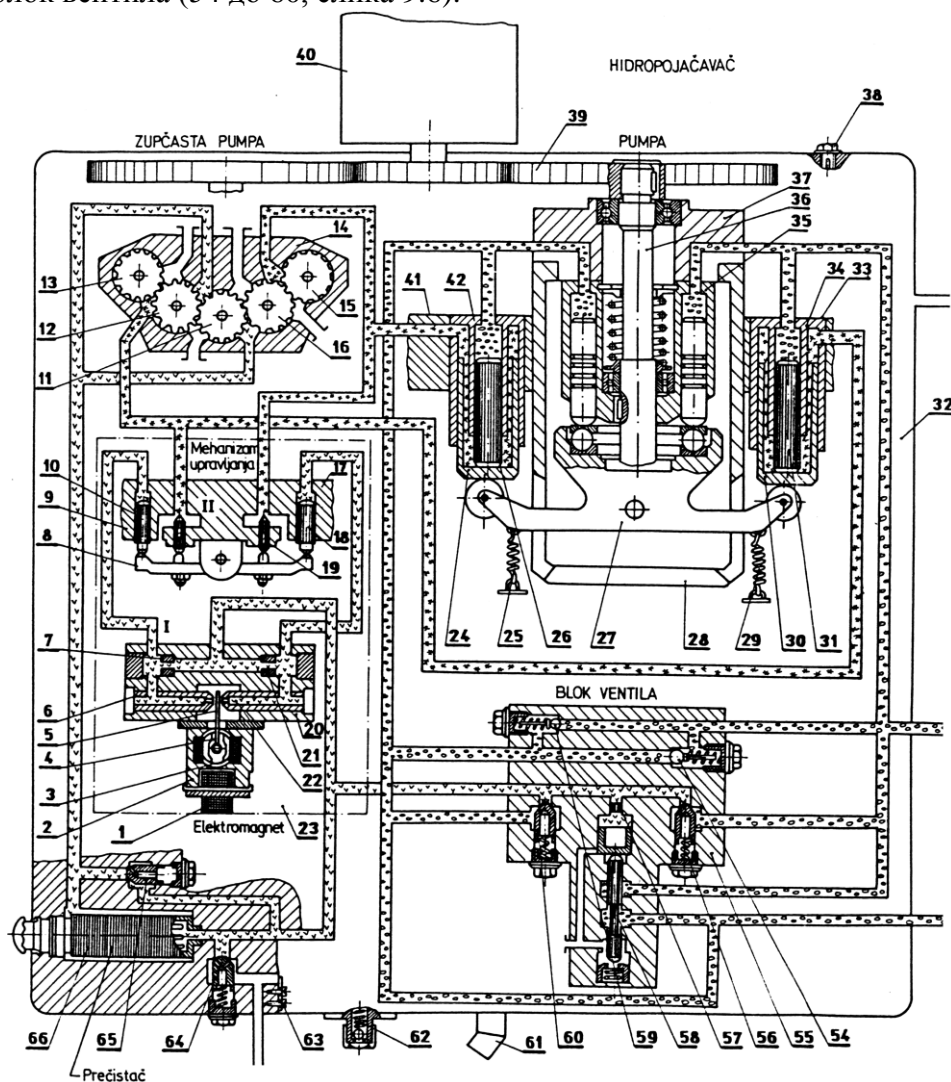
Са доње стране кућишта постоје:

- преливни вентил (64, слика 9.6),
- вентил (62, слика 9.6) за испуштање хидрауличног уља,
- вентил (61, слика 9.6) за наливање хидрауличног уља,
- пречистач (66, слика 9.6) хидрауличног уља.

У унутрашњости кућишта налазе се:

- серво-пумпа са нагибном плочом (24 до 31, слика 9.6, 33 до 37, слика 9.6 и 41 и 42, слика 9.6),
- зупчаста пумпа за напајање хидрауличног уређаја радним уљем (11 до 16, слика 9.6),

- механизам за управљање (5 до 10 и 17 до 23, слика 9.6),
- електромагнет управљања (1 до 4, слика 9.6), и
- блок вентила (54 до 60, слика 9.6).



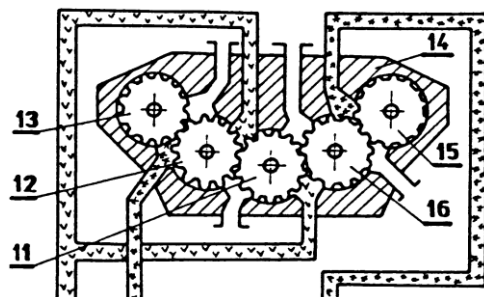
Слика 9.6: Хидропојачавач у хоризонталној равни навођења

Кућиште је различитим прикључцима и водовима повезано са резервоаром хидрауличног уља и хидромотором.

Зупчаста пумпа хидропојачивача је четворосекциона пумпа намењена за попуну хидрауличног уређаја уљем под притиском од 1 [МРа]. Њени основни делови јесу: кућиште (14, слика 9.7), погонски зупчаник (15, слика 9.7), и гоњени зупчаници (16, 11, 12 и 13, слика 9.7).

Пречистач уља (66, слика 9.8), филтрира уље које пристиже из зупчасте пумпе ка првом степену појачања и хидромотору. За добар рад пречистача од значаја су и преливни вентил (64, слика 9.8) и вентил сигурности (65, слика 9.8).

Преливни вентил (64, слика 9.6), јесте једносмерни вентил који осигурава константни притисак од 1 [МРа] у хидрауличном уређају. По постизању овог притиска, вентил пропушта уље делимично у кућиште хидропојачивача, кроз пригушник (63, слика 9.6), а већим делом преко хидромотора у резервоар.



Слика 9.7: Зупчаста пумпа

Вентил сигурности (65, слика 9.6), такође осигурава притисак од 1 [MPa] у хидрауличном уређају, тако што се отвара уколико је разлика притисака испред и иза вентила 0,5 [MPa] и више. Сем тога, овај вентил има посебну улогу у заштити уређаја уколико дође до зачепљења пречистача.

Механизам за управљање (23, слика 9.6), претвара електрични сигнал управљања у хидраулични. Даље се хидраулични сигнал двостепено појачава на рачун енергије хидрауличког уља која потиче из зупчaste пумпе.

Механизам за управљање обједињује у свом кућишту електромагнет управљања и блок управљања, а сем тога и разводи течност својим каналима у први и други степен појачања, као и ка управљачима нагибне плоче пумпе (33 и 41, слика 9.6).

Електромагнет управљања (1, 2, 3 и 4, слика 9.6), служи да закрене заслон (5, слика 9.6) првог степена појачања, у складу са управљачким сигналом.

Уколико из управљачко-рачунарског дела система не долази управљачки сигнал, тада је котва (4, слика 9.6), електромагнета, само под дејством константног електромагнетног поља којег стварају побудни намотаји (1, слика 9.6). Тада је и заслон у равнотежном положају, што за крајњу последицу има мировање извршног органа.

Уколико, пак, управљачки сигнал постоји, тада долази до разлике у електромагнетним пољима које стварају супротно намотани управљачки намотаји (3, слика 9.6), што за последицу има закретање котве електромагнета услед насталог момента, а тиме и закретање заслона, и, на крају, покретање извршног органа.

Блок управљања састоји се из првог степена појачања (I, слика 9.6), и другог степена појачања (II, слика 9.6).

Први степен појачања чине тело (20, слика 9.6), заслон (5, слика 9.6), две млазнице (6 и 22, слика 9.6) и два пригушника (7 и 21, слика 9.6).

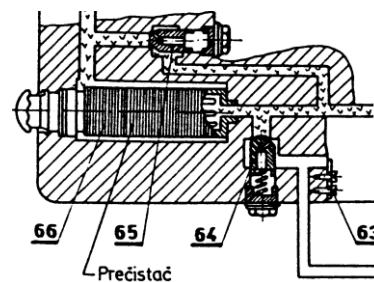
Други степен појачања чине постоље (17, слика 9.6), две игле (9 и 19, слика 9.6), два плунжера (10 и 18, слика 9.6) и клацкалица (8, слика 9.6).

Како је раније и објашњено, када је заслон у равнотежном положају, такође влада и равнотежа притисака у млазницама и простору иза пригушника (I степен појачања). Та равнотежа притисака преноси се и на простор изнад плунжера, тако да клацкалица остаје у основном положају.

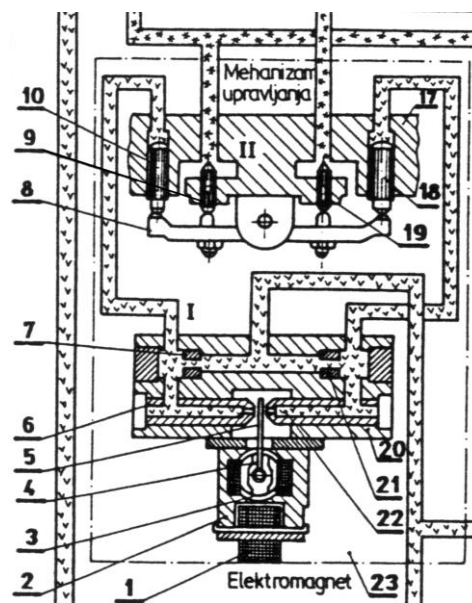
Услед овога, и игле остварују исти притисак у водовима који иду ка пумпи са нагибном плочом, на излазу из II степена појачања. Зато се нагибна плоча не нагиње и нема протока на излазу из пумпе, па се тако и извршни орган не помера.

У супротном, при дејству сигнала, долази до закретања котве са заслоном, услед чега се зазор између заслона и млазнице на једној страни смањује, уз истовремено повећање зазора на пару заслон-млазница на другој страни. Због тога се и проток с једне стране смањује, а са друге стране повећава, што има за последицу повећање, односно смањење радног притиска у пригушним коморама тј. изнад плунжера.

Као резултат јавиће се закретање клацкалице које ће произвести смањење односно повећање притиска у чашицама (24 и 30, слика 9.6), а тиме и закретање нагибне плоче пумпе које узрокује стварање притиска и протока уља на њеном излазу, чиме ће се, у крајњем, произвести и покретање извршног органа.



Слика 9.8: Пречистач уља



Слика 9.9: Механизам за управљање

Пумпа са нагибном плочом јесте аксијално-клипна, са променљивим протоком. Она претвара механичку енергију са вратила електромотора и редуктора у хидрауличну енергију радног флуида.

Пумпу са нагибном плочом чине: кућиште (28, слика 9.10), блок са клиповима (35, слика 9.10), нагибна плоча (27, слика 9.10) са потпорним кугличним лежајем и управљачи (33 и 41, слика 9.10) нагибне плоче.

У равнотежном положају нема аксијалног померања клипова, тако да у целом хидрауличном уређају влада притисак од 1 [МРа], којег ствара зупчаста пумпа.

Са закретањем нагибне плоче долази до уздужног реверзибилног кретања клипова. Тако клипови у једној половини обртања усисавају уље из усисног отвора пумпе, а потом, у другој половини, то уље потискују ка потисном отвору пумпе. Количина уља која се усисава, а затим и потискује, пропорционална је углу закрета нагибне плоче.

При закретању нагибне плоче у другу страну, усисни и потисни отвори пумпе мењају улоге, с обзиром на исти смер окретања блока са клиповима.

Управљачи нагибне плоче (33 и 41, слика 9.10), састоје се из цилиндара (34 и 42, слика 9.10), чашица (24 и 30, слика 9.10) и плунжера (26 и 31, слика 9.10).

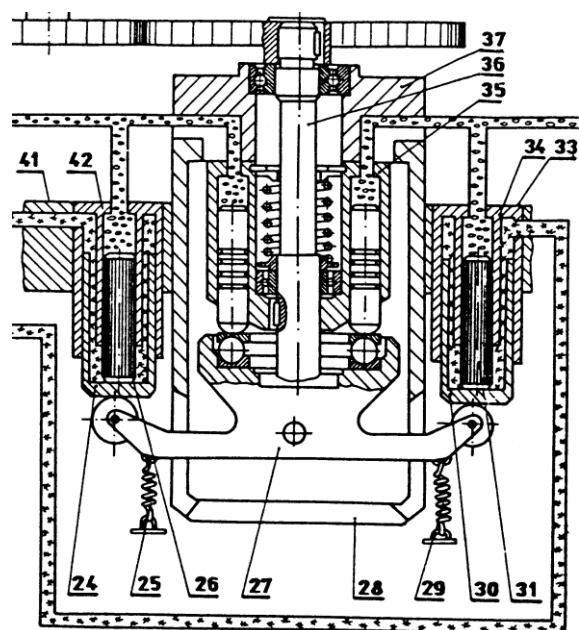
Простори у чашици испод једног краја плунжера спојени су са другим степеном појачања, а простори изнад другог краја плунжера спојени су са радним коморама хидро-мотора.

Блок вентила састоји се из кућишта (55, слика 9.11), два напојна вентила (56 и 60, слика 9.11), два вентила сигурности (54 и 59, слика 9.11) и разводника начина рада (58, слика 9.11).

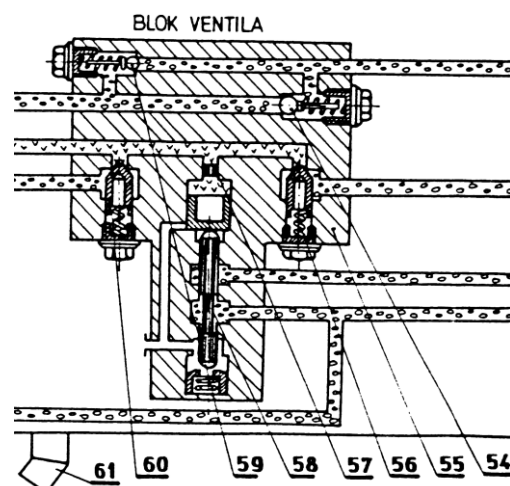
Напојни вентили омогућавају правилан рад уређаја тако што спречавају кратко спајање водова када у једном од њих влада радни притисак, а осим тога обезбеђују притисак од 1 [МРа] у водовима ка хидромотору.

Вентили сигурности обезбеђују заштиту водова од преоптерећења (притисци већи од 14 [МРа]), тако што врше кратко спајање потисног и усисног вода хидромотора, чиме се остварује кратка циркулација радног уља.

Разводник начина рада служи да оствари одговарајући проток уља ка хидромотору, у зависности од режима рада. При ручном окретању куполе, кратко су спојени водови ка хидромотору, док се у осталим случајевима омогућава рад хидромотора довођењем уља под притиском у његове радне коморе.



Слика 9.10: Пумпа са нагибном плочом



Слика 9.11: Блок вентила

## Хидромотор

Хидромотор је радијално-клипни, спороходни, високомоментни, сталне радне запремине са чеоним развођењем. Омогућава континуалну промену брзине и смера окретања излазног вратила.

Хидромотор се састоји из кућишта (47, слика 9.12), блока (48, слика 9.12) са клиповима, и разводника (49, слика 9.12).

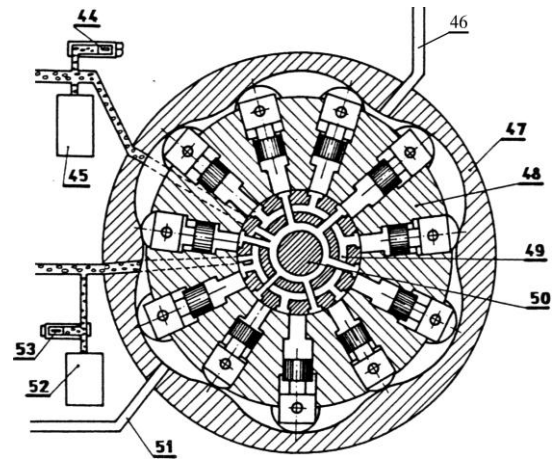
Кућиште представља статор хидромотора, унутрашње површине облика еволвенте, на коју се ослања 11 клипова блока.

Блок је обртни склоп са 11 цилиндара у којима се радијално крећу клипови. На блоку се, такође, налази и излазно вратило (50, слика 9.12) хидромотора.

Разводник који се ослања на унутрашњу страну блока има задатак да повеже цилиндре у хидромотору са водовима од хидрауличне пумпе.

Уље које под притиском долази од хидрауличне пумпе делује на пет клипова који се онда крећу од осе обртања. С обзиром на еволвентни профил кућишта хидромотора, појављује се тангенцијална компонента силе притиска уља. Она покреће блок и почиње да га ротира. Услед почетка обртања, преосталих пет клипова се крећу ка осе обртања чиме потискују уље у повратни - потисни вод хидромотора. Једанаести клип се налази у равнотежном положају.

Губици који се јављају у раду хидромотора одлазе кроз дренажни вод (46, слика 9.12) у резервоар, заједно са делом уља којег пропушта преливни вентил (64, слика 9.6).



Слика 9.12: Хидромотор и индуктивни давачи притиска

## Резервоар

Резервоар хидрауличног уља има вишеструку намену. Пре свега, служи за смештај уља за покретање куполе у хоризонталној равни навођења, затим за хлађење тог уља, попуну губитака, компензацију промене запремине уља услед промене његове радне температуре, као и пречишћавање радне течности.

Ову своју намену резервоар испуњава радом својих основних делова, а то су: кућиште, вентил за испуштање ваздуха, стални магнет и прозорчић за контролу нивоа уља.

Стални магнет резервоара прикупља металне опилке који могу настати приликом рада уређаја.

## Индуктивни давачи притиска

Индуктивни давачи притиска (45 и 52, слика 9.12) служе за мерење хидрауличног притиска у радним коморама хидромотора, и за генерисање сигнала који је пропорционалан оствареном притиску. Ови давачи се састоје из мембране, као сензора, и електромагнета са два намотаја, као претварачког елемента.

На примарне намотаје долази напон од 40 [V], 500 [Hz], док се на секундарним намотајима остварује сигнал сразмеран притиску који долази на мембрану давача.

Постојање и сврха индуктивних давача притиска јесте обезбеђивање стабилног и брзог рада хидрауличног уређаја у хоризонталној равни навођења.

## Хидромонтажни комплет

Хидромонтажни комплет повезује склопове хидрауличког уређаја извршног подсистема у вертикалној равни навођења.

Састоји се из цеви и црева које спроводе хидрауличку течност између хидрауличких компоненети.

## Друга разводна кутија (К2)

Друга разводна кутија (К2) служи за смештај елемената за рад електромотора хидрауличког уређаја за хоризонтално навођење. У алуминијумском кућишту смештена су два контактора и стартни отпорник, а веза кутије са остатком система остварена је преко два конектора, при чему је један од њих обојен црвеном бојом, у циљу спречавања замене.



Слика 9.13: Друга разводна кутија

## Блок релеја

Блок релеја (КП-1) управља радом електромотора за блокирање и деблокирање механизма за окретање куполе.

Састоји се из кућишта у којем су смештени релеји за управљање, а сам блок релеја смештен је у другој разводној кутији (К2).

## Давач брзине по правцу

Давач брзине по правцу намењен је за мерење угаоне брзине окретања куполе тенка у ситуацијама када у појединим режимима рада система за управљање ватром није укључен жироблок.

Својим зупчаницима давач брзине по правцу повезан је са назубљеним сектором куполе, и радом тахогенератора, унутар давача, генерише сигнале који се преносе каблом постављеним на конектор давача.

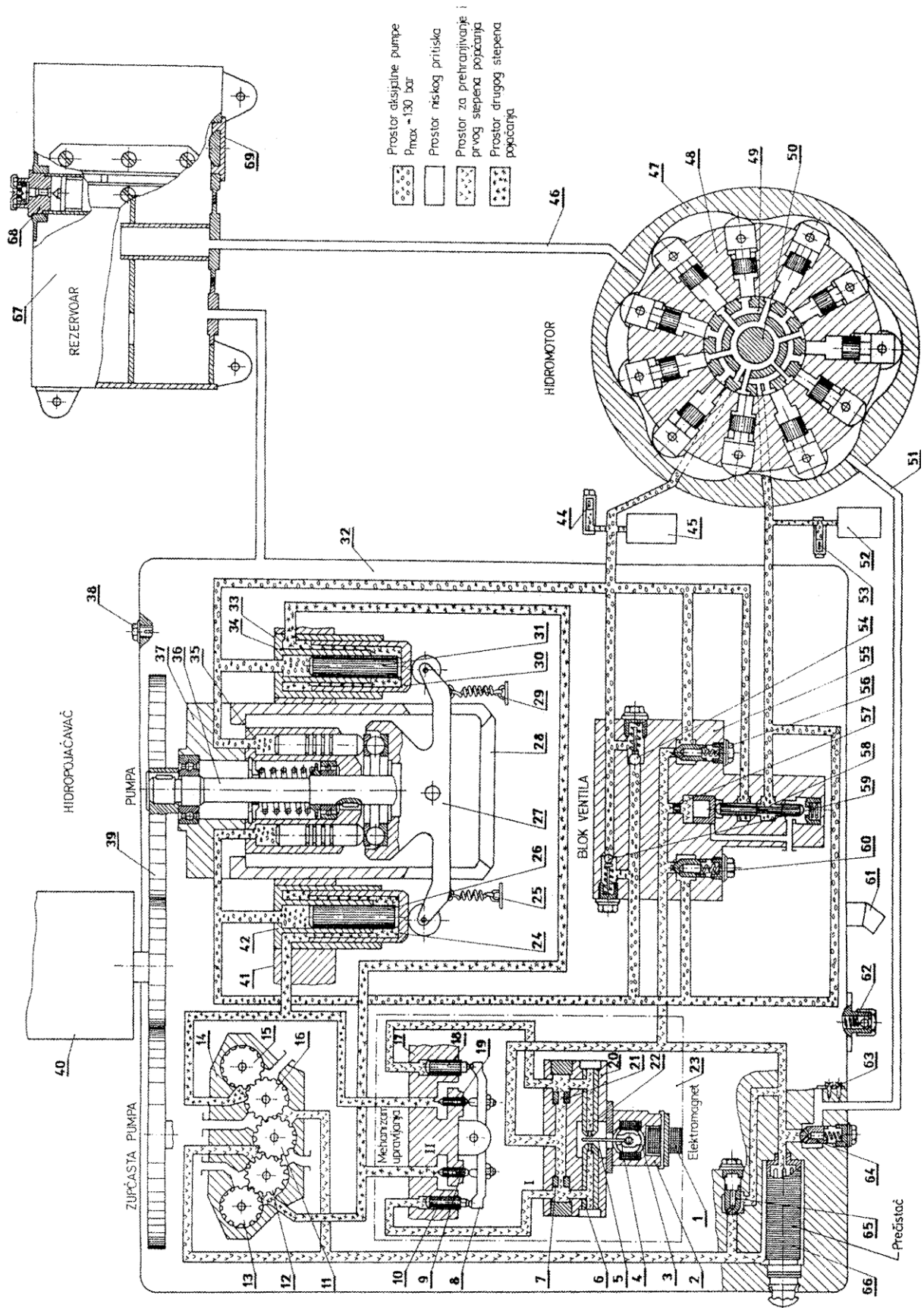


Слика 9.14: Давач брзине по правцу

## Електромонтажни комплет

Компоненте хидрауличког уређаја и електрични уређај система за управљање ватром повезани су кабловима и проводницима са конекторима, ради правилног функционисања система.

Електричне везе приказане су на електромонтажним шемама у техничком упутству.



Слика 9.15: Хидрауличка шема хидростатичког преносника снаге у хоризонталној равни навођења СУВ М84



### ПРИЛОГ 3 - Опис хидростатичког преносника снаге у вертикалној равни СУВ М84

Хидростатички преносник снаге у вертикалној равни навођења система за управљање ватром на тенку М84 је извршни подсистем СУВ М84. Његова намена је покретање тенковског топа и спрегнутог митраљеза по висини, у вертикалној равни навођења. Покретање топа врши се пропорционално величини и смеру сигнала који се формира у управљачко-рачунарском подсистему.

Извршни подсистем система за управљање ватром М84 у вертикалној равни навођења има задатак да силом извршног хидрауличког цилиндра покрене цев тенковског топа по висини.

Снага погонског електромотора користи се за покретање аксијалне клипне пумпе константне радне запремине, која служи за напајање хидрауличког уређаја извршног подсистема система за управљање ватром М84 у вертикалној равни навођења.

Ту се механичка енергија обртања вратила електромотора претвара у хидрауличку енергију течности која се креће под притиском напајања, кроз потисни вод хидрауличке пумпе.

Хидрауличка радна течност потом улази у блок регулације.

У њему се, на основу управљачких сигнала са командног блока нишанције, дефинише даље понашање хидрауличког уређаја. Кључну улогу у том процесу игра електромагнет управљања који регулише рад разводника блока регулације.

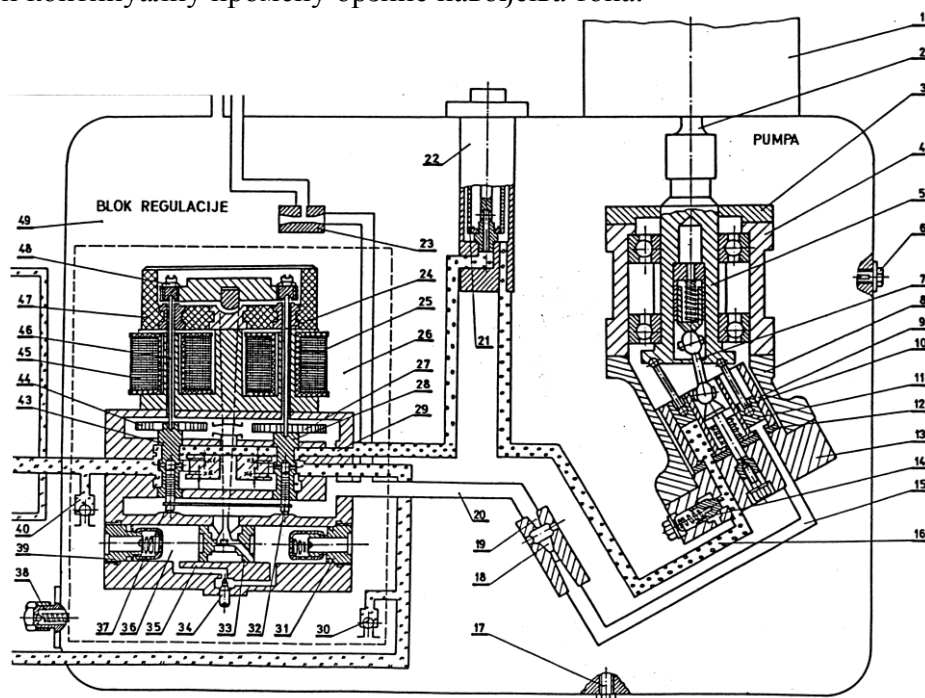
Радни флуид под притиском најзад долази и у комору радног цилиндра, где остварује рад на клипу цилиндра.

Као коначна последица, долази до покретања цеви тенковског топа у вертикалној равни навођења.

Хидраулички уређај овог извршног подсистема приказан је на слици 9.18.

#### Хидропојачавач вертикалног навођења

Хидропојачавач вертикалног навођења обезбеђује континуалну промену притиска и промену брзине и смера кретања клипњаче извршног цилиндра, која је спојена с колевком топа, а тиме и континуалну промену брзине навођења топа.



Слика 9.16: Хидропојачавач вертикалног навођења

Хидропојачавач вертикалног навођења састоји се из следећих компоненти:

- кућиште (49, слика 9.16),
- хидрауличка пумпа (3 до 5 и 7 до 16, слика 9.16),
- блок регулације (24 до 37, 39 до 40 и 43 до 48, слика 9.16),
- млазник и дифузор (18 до 19, слика 9.16),
- пречистач (22, слика 9.16), и
- електромотор хидропојачавача (1 и 2, слика 9.16).

### Кућиште хидропојачавача

Кућиште (49, слика 9.16) хидропојачавача намењено је за смештај склопова и подсклопова хидропојачавача, а служи и као главни резервоар хидропојачавача у вертикалној равни навођења и место где се врши хлађење хидрауличног уља.

У кућишту, испод погонског електромотора, утврђена је хидрауличка пумпа. У доњем делу кућишта налази се стални магнет који прикупља металну прашину и опилке из хидрауличног уља, који могу настати при раду хидрауличног уређаја.

Унутар кућишта утврђен је и блок регулације и кућиште пречистача (22, слика 9.16).

Усисни вод (20, слика 9.16) хидрауличног уља повезује хидрауличку пумпу и блок регулације преко млазника (19, слика 9.16) и дифузора (18, слика 9.16).

Хидрауличка пумпа потискује уље кроз потисне водове, преко пречистача, у блок регулације, који је преко два радна хидрауличка вода спојен са извршним цилиндром.

Кућиште је спојено, преко посебног хидрауличног вода, са резервоаром који допуњава евентуални недостатак хидрауличног уља у кућишту.

На кућишту се налазе и отвори у које су увијене следеће компоненте:

- чеп (6, слика 9.16) за испуштање ваздуха из хидропојачавача,
- чеп (17, слика 9.16) за испуштање уља из хидрауличног уређаја, и
- вентил (38, слика 9.16) за доливање хидрауличног уља у хидраулички уређај.

### Хидрауличка пумпа

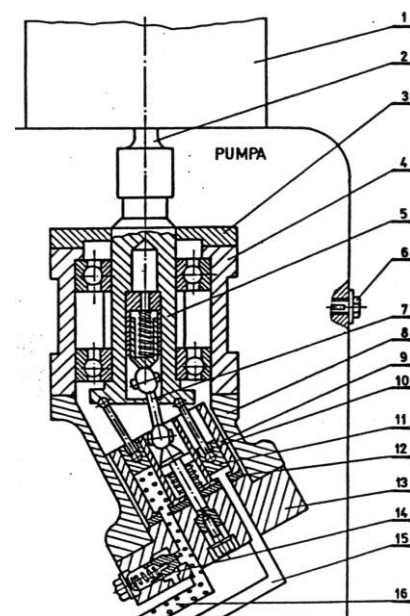
Хидрауличка пумпа претвара механичку енергију обртања вратила електромотора у хидрауличку енергију радног уља, које ствара проток под одређеним притиском.

Пумпа је аксијално-клипна, сталног протока, са двојним карданом. Проток неоптерећене пумпе износи  $18 \text{ [l/min]}$ , на  $2000 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ , што се остварује уз *специфичан проток*\* од  $9 \text{ [cm}^3\text{/обрт]}$ .

Електромотор (1, слика 9.17) погони пумпу преко вратила (5, слика 9.17), кардана (7, слика 9.17) и блока цилиндара (9, слика 9.17).

Због нагиба блока цилиндара према вратилу пумпе, врши се аксијално (уздужно) *реверзибилно*\*\* кретање клипњача (10, слика 9.17) са клиповима (11, слика 9.17).

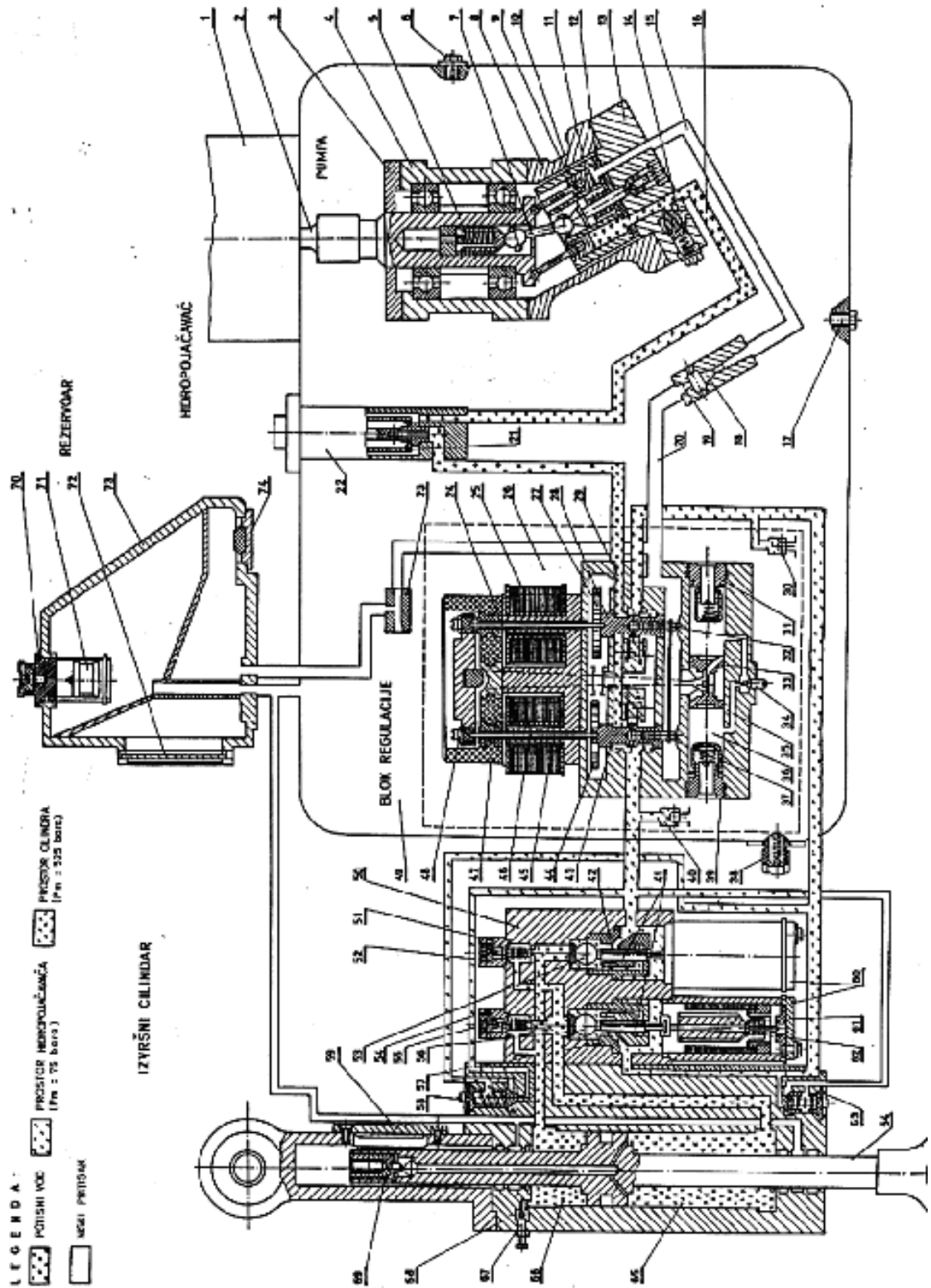
За један обрај вратила, сваки клип начини један двоструки ход. У првој половини обртаја вратила пумпе, клипови усисавају уље из усисне коморе (15, слика 9.17), док се у другој половини обртаја вратила врши супротно кретање клипова и потискивање хидрауличног уља кроз други канал разводне плоче у потисни вод (16, слика 9.17), према блоку регулације.



Слика 9.17: Хидрауличка пумпа

\* Специфичан проток - проток пумпе за један обртај свог погонског вратила

\*\* Реверзибилно кретање - кретање у супротним смеровима



Слика 9.18: Хидраулички уређај у вертикалној равни навођења СУВ М84

## Блок регулације

Блок регулације намењен је за регулацију преноса енергије радном течности, пропорционално електричном сигналу који се формира у управљачко-рачунарском подсистему.

Тип блока регулације је једностепенасти, пригушни, са повратном везом по притиску.

Блок регулације састоји се из кућишта (26, слика 9.19), електромагнета управљања (47, слика 9.19), разводника управљања (28 и 43, слика 9.19), пригушивача (36, слика 9.19) и преливних вентила (30 и 40, слика 9.19).

Електромагнет управљања (47, слика 9.19) намењен је за управљање радом разводника. Када је систем у основном положају, кроз намотаје теку јачине струје истих интензитета, па је клацкалица (48, слика 9.19) у основном - равнотежном положају.

Када систем за управљање даје сигнал, тада се јачине струје у намотајима електромагнета разликују, услед чега долази до нагињања клацкалице, а тиме и померања иглица (24 и 46, слика 9.19), чиме се, у ствари, управља радом разводника.

Разводник управљања састоји се из два разводника (28, 43, слика 9.19), две игле (24 и 46, слика 9.19), два плунжера (32 и 37, слика 9.19) повратне везе, који су везани полугом и два крилца (27 и 44, слика 9.19) која су утврђена на разводницима (28 и 43, слика 9.19).

Када нема управљачког сигнала, тада су зазори једнаки ( $x_1=x_2$ ,  $x_3=x_4$ ), због чега је проток уља у оба потисна вода ка извршним цилиндрима исти.

При деловању управљачког сигнала, једна игла, нпр. (24, слика 9.19) потискује разводник (28, слика 9.19), због чега је  $x_3>x_4$ , па се повећава проток уља у доњи простор (65, слика 9.18) извршног цилиндра.

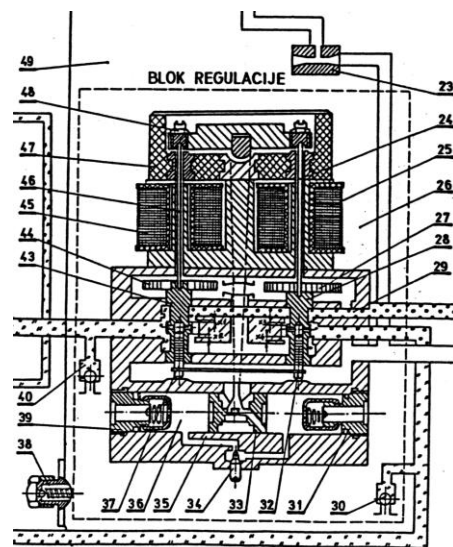
Истовремено се повећава и притисак изнад плунжера (32, слика 9.19). Притисак изнад плунжера (37, слика 9.19) подиже разводник (43, слика 9.19), а са њим и иглу (46, слика 9.19) која се ослања на клацкалицу (48, слика 9.19). Овим је  $x_1<x_2$ , па радни вод из горње коморе извршног цилиндра постаје повратни. Промена притиска уља престаје када се изједначе притисци изнад плунжера, односно када се изједначе силе, на обе игле, услед тих притисака.

Хидраулично уље из потисног вода улази и у простор крилца (27 и 44, слика 9.19) и окреће их заједно са разводницима ради повећања осетљивости и спречава блокирање рада уређаја.

Пригушивач (36, слика 9.19) намењен је да врши пригушење осцилација клацкалице (48, слика 9.19) електромагнета, које се јављају у раду система за управљање ватром. Састоји се из: полуге (35, слика 9.19), клипа (33, слика 9.19), два вентила (31 и 37, слика 9.19) и вијка (34, слика 9.19) за подешавање.

При осцилацији клацкалице (48, слика 9.19) електромагнета осцилује и полука са клипом, при чему једна страна клипа (33, слика 9.19) потискује уље кроз канал на другу страну клипа, чиме се обезбеђује пригушење осцилација клацкалице (48, слика 9.19). Ако се у пригушивачу јави потпритисак отвара се одговарајући вентил (31 или 37, слика 9.19) и уље улази из кућишта хидропојачавача у тај простор.

Преливни вентили (30 и 40, слика 9.19) обезбеђују допуну хидрауличног уља у усисном воду и ручни начин покретања топа у вертикалној равни. При окретању ручице механизма елевације покреће се топ, а са њиме и клипчача извршног цилиндра. У простору извршног цилиндра, који се повећава, ствара се потпритисак па се тај простор попуњава уљем преко преливног вентила.

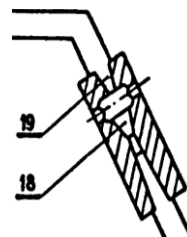


Слика 9.19: Блок регулације

### Млазник и дифузор

Млазник (19, слика 9.20) уграђен је на усисном хидрауличком воду, а дифузор (18, слика 9.20) на усисној комори (15, слика 9.18) пумпе. На споју између млазника и дифузора налази се проширење и отвори кроз које у усисну комору пумпе улази допунска количина хидрауличког уља.

Радно уље, које долази из блока регулације, након проласка кроз млазник добија већу брзину због чега се у проширењу ствара потпритисак који усисава одређену количину уља из кућишта. Након изласка уља из дифузора, нешто се повећава притисак у усисној комори пумпе, чиме се омогућава сигурна попуна пумпе хидрауличким уљем.



Слика 9.20: Млазник и дифузор

### Пречистач

Пречистач (22, слика 9.18) намењен је за пречишћавање хидрауличког уља од разних нечистоћа. Састоји се из кућишта и пречистача са ручицом.

### Електромотор хидропојачавача

Електромотор ПД-2 (1, слика 9.18) погони вратило хидрауличке пумпе (5, слика 9.18), константном брзином у једном смеру. Напаја се једносмерном струјом напона 26 [V]. Номинална брзина обртања износи 2000 [ $\text{min}^{-1}$ ], при чему може користити највише 62 [A].

### Извршни цилиндар

Извршни цилиндар претвара енергију хидрауличког уља у механичку енергију кретања клипњаче која ствара силу. Састоји се из цилиндра (68, слика 9.21) и главе цилиндра (50, слика 9.21).

Цилиндар је радни, а глава цилиндра управљачки склоп. Међусобно су утврђени помоћу вијака, и херметизовани заптивним прстеновима.

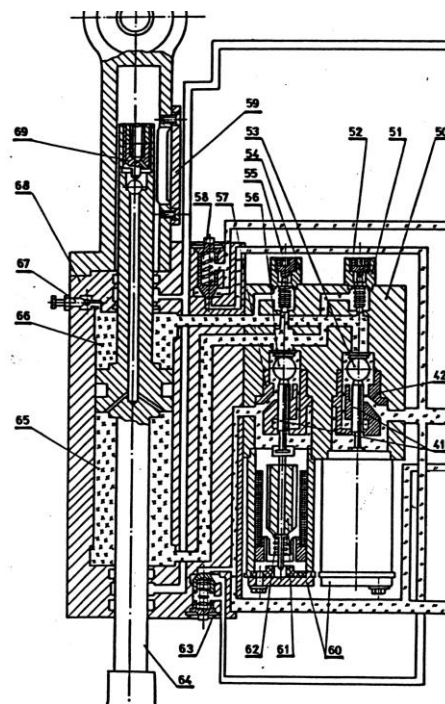
Цилиндар одликује максимални радни притисак у коморама цилиндра (65,66, слика 9.21) од 52,5 [MPa], и притисак отварања вентила сигурности од  $7 \pm 0,5$  [MPa].

Цилиндар се састоји из следећих компоненти:

- кућиште (68, слика 9.21),
- клипњача са клипом (64, слика 9.21),
- два вентила сигурности (58 и 63, слика 9.21),
- два вентила за испуштање ваздуха (67 и 69, слика 9.21) и
- заптивни елементи.

Кућиште (68, слика 9.21) цилиндра везано је еластично са плафоном куполе, а клипњача је повезана са топом. У кућишту су уграђена два вентила сигурности (58 и 63, слика 9.21), и вентил за испуштање ваздуха (67, слика 9.21).

Клипњача са клипом (64, слика 9.21) чини целину и намењена је за покретање топа са спрегнутим митраљезом у вертикалној равни навођења. Клип дели унутрашњи простор цилиндра у радне коморе (65 и 66, слика 9.21), које су кроз главу цилиндра повезане са блоком управљања. Заптивање између кућишта и вретена клипњаче, кућишта и клипа извршено је комбинованим заптивачима.



Слика 9.21: Извршни цилиндар

Хидрауличко уље које прође између заптивача и кућишта одводи се посебним водом у резервоар хидрауличног уља. У клипњачи је смештен вентил (69, слика 9.21) за испуштање ваздуха.

Вентили сигурности (58 и 63, слика 9.21) намењени су пропуштању уља и стварању "кратке циркулације" између хидрауличких водова, уколико се у неком од њих створи притисак виши од 7 [МПа]. На овај начин онемогућена је појава *хидрауличких удара*\* који би могли да оштете уређај.

Вентили за испуштање ваздуха (67 и 69, слика 9.21) намењени су за испуштање ваздуха из извршног цилиндра након додавања хидрауличног уља.

Вентил (67, слика 9.21) смештен је у кућишту (68, слика 9.21) извршног цилиндра и служи за испуштање ваздуха из радне коморе (66, слика 9.21).

Вентил (69, слика 9.21) смештен је у клипњачи (64, слика 9.21) и служи за испуштање ваздуха из радне коморе (65, слика 9.21). Овом вентилу може се приступити кроз отвор на кућишу који је затворен поклопцем (59, слика 9.21).

## Глава цилиндра

Глава цилиндра је намењена управљању радом цилиндра, а састоји се из следећих склопова:

- кућиште (50, слика 9.21),
- два електромагнета блокирања (60, слика 9.21),
- два разводника (41, слика 9.21),
- два вентила сигурности, и
- два вентила за испуштање ваздуха.

Кућиште (50, слика 9.21) главе цилиндра намењено је за смештај управљачких компоненти. Утврђено је на цилиндар помоћу вијака.

Електромагнети блокирања (60 слика 9.21) управљају радом разводника (41, слика 9.21). Када су електромагнети укључени, котве (61, слика 9.21) се увлаче са разводницима, чиме се прекида проток радног уља у оба хидрауличка вода и врши се хидраулично блокирање извршног цилиндра. Рад електромагнета, који се напајају једносмерном струјом напона 26 [V], контролише управљачко-рачунарски подсистем. Електромагнети су потопљени у хидрауличком уљу, па су, стога, све електричне компоненте и везе изоловане.

Разводници су идентични. Једним крајем чврсто су спојени са котвама (61, слика 9.21) електромагнета, а другим крајем ослањају се на куглице (53 и 56, слика 9.21).

Када кроз електромагнет не протиче електрична струја, котва (61, слика 9.21), под дејством опруге (62, слика 9.21), потискује разводник који подиже куглицу и сабија њену опругу. Овим је обезбеђен рад извршног цилиндра.

Када кроз електромагнет протиче струја, котва повлачи разводник, а куглица под дејством њене, претходно сабијене, опруге, прекида проток хидрауличног уља и врши се хидрауличка блокада извршног цилиндра. Након прекида тока електричне струје, с обзиром да се испод котви електромагнета и у прстенастим каналима на разводницима налази уље под притиском, разводници лако савлађују било који притисак у хидрауличким водовима и подиже куглице.

Вентили сигурности (51 и 54, слика 9.21) штите извршни цилиндар од оштећења када притисак у радним коморама (65 и 66, слика 9.21) порасте изнад 52,5 [МПа], при чему се потисни и повратни вод кратко спајају.

Вентили за испуштање ваздуха (52 и 55, слика 9.21) намењени су испуштању ваздуха из главе цилиндра, а састоје се из куглице и вијка.

\* *Хидраулички удар* - нагли пораст хидрауличног притиска у врло кратком времену

## **Резервоар дела течности за вертикалну раван навођења**

Резервоар дела течности за вертикалну раван навођења обезбеђује реализацију следећих захтева:

- попуна губитака радне течности у хидрауличком уређају,
- компензација промене запремине радне течности, при променама температуре,
- хлађење радне течности, и
- пречишћавање радне течности.

Унутрашњост кућишта резервоара подељена је преградама у горњи и доњи део, који су спојени отворима.

За одређивање нивоа радне течности у хидрауличком уређају на кућишту израђен је отвор који је затворен стаклом. Сматра се да је у уређају прописана количина уља, уколико је њен ниво до црте на стаклу прозорчића.

Одушка повезује горњи део кућишта резервоара са атмосфером. Пловак спречава прскање уља из резервоара при опаљењу топа и при кретању тенка.

Стални магнет намењен је за одвајање металних честица од хидрауличног уља.

Радна течност долази у резервоар кроз цев у горњи део кућишта, а одводи се, кроз отвор, из доњег дела кућишта.

Запремина резервоара је 6 [l], а расхладна површина 0,32 [m<sup>2</sup>].

## **Хидромонтажни комплет**

Хидромонтажни комплет повезује склопове хидрауличног уређаја извршног подсистема у вертикалној равни навођења.

Хидропојачавач је повезан са извршним цилиндром помоћу два црева унутрашњег пречника 10 [mm], и једног црева унутрашњег пречника 6 [mm].

Резервоар и хидропојачавач повезани су са два црева унутрашњег пречника 6 [mm].

## **Уређај за довођење**

Уређај за довођење је електромеханичка компонента која даје информацију о положају топа у вертикалној равни навођења, при укљученом систему за управљање ватром, у циљу довођења и утврђивања топа на углу пуњења. Смештен је у кућишту које је затворено поклопцем, заједно са плочом на којој се налазе два контактна прстена.

Контактни клизач утврђен је на осовини коју, преко два зупчаника, окреће назубљени сектор утврђен на колевци топа и доставља информацију о положају цеви топа.

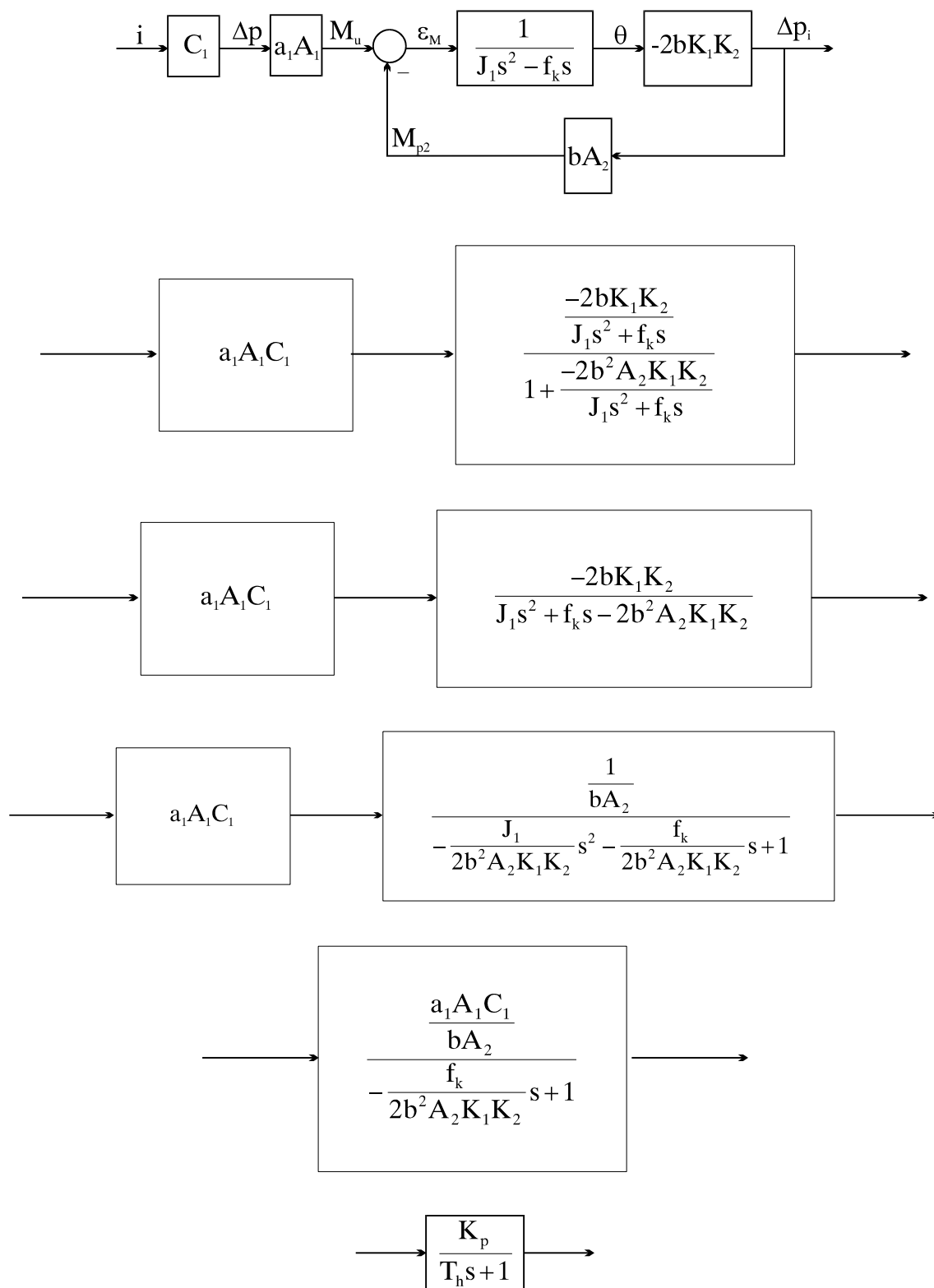
## **Електромонтажни комплет**

Компоненте хидрауличног уређаја и електрични уређај система за управљање ватром повезани су кабловима и проводницима са конекторима, ради правилног функционисања система.

Електричне везе приказане су на електромонтажним шемама у техничком упутству.

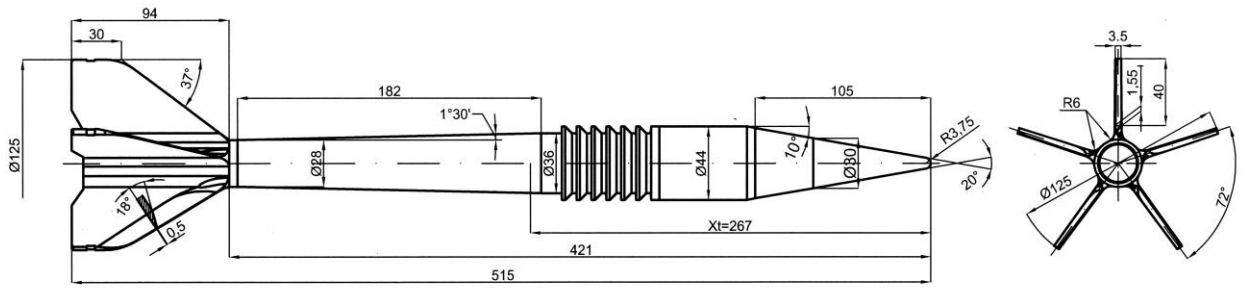
## ПРИЛОГ 4 - Поједностављење структурне блок шеме серворазводника

Узимајући у обзир да се може занемарити сигнал унутрашње повратне везе по брзини померања игличастог клипа ( $-K_3 v_{kc}$ ), као и величина момента због инерције клацкалице другог степена појачања ( $J_1$ ), може се формирати поједностављена структурна шема серворазводника, као што је приказано у наставку.





**ПРИЛОГ 5 - Конструктивни подаци за поткалибарни пројектил**



Почетна брзина пројектила (из таблица гађања) .....	1.800	[m/s]
Маса пројектила (из таблица гађања).....	3,615	[kg]
Пречник пројектила (на путањи) .....	0,044	[m]
Положај центра масе .....	0,269657	[m]
Момент инерције по х оси .....	0,001084	[m]
Момент инерције по у оси .....	0,327416	[m]

## ПРИЛОГ 6 - Програмски код спољнобалистичког прорачуна са шест степени слободе кретања

```

PROGRAM SIXDOF
C-----
C          Dusan Regodic, Zbirka resenih zadataka iz spoljne balistike
C          Damir Jerkovic
C          Dragan Petkovic
C          Sasa Milenkovic
C-----
DIMENSION  SAVEX(12),PHI(12)

COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),
+          XM,MASA,IX,IY
COMMON /END/   T0,TK,XK,ZK,HH
COMMON /OUTPUT/ T1,T2,DT,NSTAB

REAL      MASA,IX,IY

C-----
C          DOPUNA PROGRAMSKOG KODA - STOHAСТИКА SIMULACIЈА

      INTEGER seedv,seedp,seed1v,seed1p
REAL xxx
      INTEGER          BROJAC
      CHARACTER (LEN=20) :: IME

      REAL greskav,greskap,slb

C-----
C          Promenljive greskav i greskap predstavljaju slucajne greske prilikom
C          pozicioniranja cevi tenkovskog topa, a usled uticaja SUV-a.
C          Navedene greske generisu se preko funkcije SLB.
C-----

      seed1v=7654321
      seed1p=9876543
      xxx=0.0

      seedv=seed1v+2*int(secnds(xxx))
      seedp=seed1p+2*int(secnds(xxx))

C-----
C          U skladu sa preporukama za 'klicu' su uzeti veliki neparni brojevi
C          (seed1v i seed1p). Zatim se uvodi promenljiva xxx, i to kao argument
C          funkcije secnds(xxx) koja daje broj sekundi proteklih od 00.00 casova
C          na sistemskom satu racunara.
C          U tom smislu, vrednost 2*int(secnds(xxx)) uvek je parna, pa su zato
C          vrednosti seedv i seedp uvek neparne - jer su zbir parnog i neparnog broja.
C-----

      OPEN(27,FILE='greskav.TAB',STATUS='UNKNOWN',FORM='FORMATTED')
      OPEN(37,FILE='greskap.TAB',STATUS='UNKNOWN',FORM='FORMATTED')
      OPEN(47,FILE='slikap.TAB',STATUS='UNKNOWN',FORM='FORMATTED')

      DO 200 BROJAC=1,40

      WRITE (IME, *) BROJAC

      OPEN(21,FILE=IME//'.TAB',STATUS='UNKNOWN',FORM='FORMATTED')

```

```

C-----
      greskav=slb(seedv)

      WRITE(27,33)greskav
33  FORMAT(F9.4)

      greskap=slb(seedp)

      WRITE(37,43)greskap
43  FORMAT(F9.4)

C                               KRAJ DOPUNE PROGRAMSKOG KODA - STOHAISTIKA SIMULACIJA
C-----

      WRITE(6,3)
      WRITE(21,3)
3  FORMAT(///,4X,'T',7X,'X',9X,'Y',7X,'Z',6X,'V',6X,'HI',6X,'GAMA',
+ 3X,'P',5X,'ALFA',2X,'BETA',5X,'ugao',/)

      CALL ULAZ(greskav,greskap)
      CALL IZLAZ(1)

      IF(NSTAB.EQ.0) GO TO 11
      OPEN(22,FILE='IZLAZ2.TAB',STATUS='UNKNOWN',FORM='FORMATTED')
      WRITE(6,4)
      WRITE(22,4)
4  FORMAT(6X,'T',6X,'LMBDA1',3X,'LMBDA2',6X,'1/SG',6X,
+ 'SD(2-SD)',4X,'XM',9X,'XC',/)

11  CALL KORAK(H)
      DO 10 M=1,4
      CALL OBDJ
      CALL RUNKUT(12,X,F,T,M,H,SAVEX,PHI)
10  CONTINUE

      CALL KRAJ(NS)
      CALL IZLAZ(NS)
      IF(NS.EQ.0) GO TO 11
      CONTINUE

200  CONTINUE

      STOP
      END
C-----
      SUBROUTINE OBDJ

      DIMENSION  VB(3),VG(3)
      REAL      M,IX,IY,LB,MB,NB,LFB,MFB,NFB,LBG(3,3),LGB(3,3)
      COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),
+          XM,M,IX,IY

      CALL MOTOR(FBX,FBY,FBZ,LFB,MFB,NFB)
      CALL MXCI
      CALL BAERO(XB,YB,ZB,LB,MB,NB)

      VB(1) = X(4)
      VB(2) = X(5)
      VB(3) = X(6)

      CALL LMAT(0.,X(11),X(12),LBG)
      CALL TRAN(LBG,LGB)

```

CALL MRMUL(LGB,VB,VG,3,3,1)

F(1) = VG(1)

F(2) = -VG(3)

F(3) = VG(2)

PB = -X(9)\*TAN(X(11))

F(4) = X(5)\*X(9)-X(6)\*X(8)+(XB+FBX)/M-9.81\*SIN(X(11))

F(5) = X(6)\*PB-X(4)\*X(9)+(YB+FBY)/M

F(6) = X(4)\*X(8)-X(5)\*PB+(ZB+FBZ)/M+9.81\*COS(X(11))

F(7) = (LB+LFB)/IX

F(8) = PB\*X(9)-X(7)\*X(9)\*IX/IY+(MB+MFB)/IY

F(9) = -PB\*X(8)+X(7)\*X(8)\*IX/IY+(NB+NFB)/IY

F(10) = X(7)+X(9)\*TAN(X(11))

F(11) = X(8)

F(12) = X(9)/COS(X(11))

RETURN

END

C-----

SUBROUTINE OBAJ(VV,ALFAB,BETAB,SIGMA,FIM,ALFABT,BETABT,FIMVT)

REAL M,IX,IY,LBG(3,3)

COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),

+ XM,M,IX,IY

DIMENSION VWG(3),VWB(3),VWBT(3),OBV(3,3)

C ALGEBARSKJE JEDNACINE ZA PRORACUN PARAMETARA

CALL VETAR (VWG)

CALL LMAT (0.,X(11),X(12),LBG)

CALL MRMUL (LBG,VWG,VWB,3,3,1)

U = X(4)-VWB(1)

V = X(5)-VWB(2)

W = X(6)-VWB(3)

VV = SQRT(U\*\*2+V\*\*2+W\*\*2)

ALFAB = ATAN(W/U)

BETAB = ASIN(V/VV)

SIGMA = ASIN(SQRT(V\*V+W\*W)/VV)

IF((V.EQ.0.).AND.(W.EQ.0.)) FIM = 0.

IF((V.NE.0.).OR.(W.NE.0.)) FIM = ATAN2(V,W)

PB = -X(9)\*TAN(X(11))

CALL KONV (PB,X(8),X(9),OBV)

CALL MRMUL (OBV,VWB,VWBT,3,3,1)

UT = F(4)-(-VWBT(1))

VT = F(5)-(-VWBT(2))

WT = F(6)-(-VWBT(3))

VVT = (U\*UT+V\*VT+W\*WT)/VV

ALFABT = (WT\*U-W\*UT)/(U\*\*2+W\*\*2)

BETABT = (VT\*VV-V\*VVT)/(VV\*SQRT(VV\*\*2-V\*\*2))

IF((V\*\*2+W\*\*2).GT.0.)

+ FIMVT=(VT\*W-V\*WT)/(V\*\*2+W\*\*2)

IF((V\*\*2+W\*\*2).EQ.0.)

+ FIMVT=0.

```

RETURN
END
C-----
SUBROUTINE BAERO(XB,YB,ZB,LB,MB,NB)

REAL      M,MA,IX,IY,LB,MB,NB
COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),
+         XM,M,IX,IY
COMMON /REFER/ D,S

C PRORACUN KOMPONENATA AERODINAMICKE SILE I MOMENTA U
C AEROBALISTICKOM KOORDINATNOM SISTEMU I ZA CENTAR MASE

CALL ATMISO(X(2),0.,A,RO)
CALL OBAJ(V,ALFAB,BETAB,SIGMA,FIM,ALFABT,BETABT,FIMVT)

MA  = V/A
PE  = X(7)*D/(2*V)
QBE = X(8)*D/V
RBE = X(9)*D/V
ALFABTE = ALFABT*D/V
BETABTE = BETABT*D/V
FIMVTE = FIMVT*D/V

CALL SAK(MA,SIGMA,PE,
+ CX,CYS,CZS,CL,CMS,CNS,CMST,CMQ,XVE)

CYB= CYS*ALFAB+CZS*BETAB
CZB=-CYS*BETAB+CZS*ALFAB

CMB= CMS*ALFAB+(CNS+CMST*FIMVTE)*BETAB+CMST*ALFABTE+CMQ*QBE
CNB=-CMS*BETAB+(CNS+CMST*FIMVTE)*ALFAB-CMST*BETABTE+CMQ*RBE

Q = RO*V**2/2

XB = Q*S*CX
YB = Q*S*CYB
ZB = Q*S*CZB
LB = Q*S*D*CL
MB = Q*S*D*CMB
NB = Q*S*D*CNB

XV = XVE*D
MB = MB+ZB*(XV-XM)
NB = NB-YB*(XV-XM)
RETURN
END
C-----
SUBROUTINE ULAZ(gv,gp)

REAL      gv
REAL      gp

COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),
+         XM,M,IX,IY
REAL      M,IX
COMMON /REFER/ D,S
COMMON /THRUST/ TG
COMMON /WIND/  VW0,DVW,AW0,DAW,OMGW,HIO
COMMON /END/   T0,TK,XK,ZK,H
COMMON /OUTPUT/ T1,T2,DT,NSTAB

```

```

PI = 3.14159
OPEN(11,FILE='ULAZ.DAT',STATUS='OLD',FORM='FORMATTED')
REWIND(11)
READ(11,*) T0,H,TK,XK,ZK
READ(11,*) T1,T2,NDT,NSTAB
DT = NDT*H
READ(11,*) VW0,DVW,AW0S,DAWS,FW,HI0S
READ(11,*) (X(K),K=1,3)
READ(11,*) (X(K),K=4,6)
READ(11,*) (X(K),K=7,9)
READ(11,*) FI0S,TETA0S,PSI0S
CLOSE(11)

AW0 = AW0S/57.3
DAW = DAWS/57.3
HI0 = HI0S/57.3
OMGW = 2*PI*FW
X(10) = FI0S/57.3
C      Pozicioniranje cevi tenkovskog topa uz uvazavanje greske SUV-a
X(11) = (TETA0S+gv)/57.3
X(12) = (PSI0S+gp)/57.3
T = T0
RETURN
END
C-----
SUBROUTINE IZLAZ(NS)

DIMENSION   VKB(3),VKG(3),VB(3),VWG(3),VWB(3)
COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),
+          XM,M,IX,IY
COMMON /OUTPUT/ T1,T2,DH,NSTAB
COMMON /REFER/ D,S
REAL        M,IX,IY,LBG(3,3),LGB(3,3)

      REAL                ugao

      ugao=x(11)*57.3

IF(NS.EQ.1) GO TO 3
IF(T.GT.T1.AND.T.LT.T2) GO TO 3
L = T/DH
TL = L*DH
CALL KORAK(H)
IF(ABS(TL-T).GE.H) RETURN

3 VK  = SQRT(X(4)**2 + X(5)**2 + X(6)**2)
VKB(1) = X(4)
VKB(2) = X(5)
VKB(3) = X(6)

CALL LMAT(0.,X(11),X(12),LBG)
CALL TRAN(LBG,LGB)
CALL MRMUL(LGB,VKB,VKG,3,3,1)

GAMA = ASIN(-VKG(3)/VK)
HI    = ATAN(VKG(2)/VKG(1))
HIS   = HI*57.3
GAMAS = GAMA*57.3

CALL VETAR(VWG)
CALL MRMUL(LBG,VWG,VWB,3,3,1)

```

```

VB(1) = X(4)-VWB(1)
VB(2) = X(5)-VWB(2)
VB(3) = X(6)-VWB(3)
V = SQRT(VB(1)*VB(1)+VB(2)*VB(2)+VB(3)*VB(3))
ALFABS = 57.3*ATAN(VB(3)/VB(1))
BETABS = 57.3*ASIN(VB(2)/V)

WRITE(6,31)T,X(1),X(2),X(3),V,HIS,GAMAS,X(7),ALFABS,BETABS,ugao
WRITE(21,31)T,X(1),X(2),X(3),V,HIS,GAMAS,X(7),ALFABS,BETABS,ugao
31 FORMAT(F7.3,F8.1,2F9.3,F7.1,2F8.3,F7.1,2F6.1,F9.4)
C
IF(NSTAB.GE.2) CALL STAB(V)
IF(NSTAB.EQ.1) NSTAB = 2

5 RETURN
END
C-----
SUBROUTINE STAB(V)

COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),
+ XM,M,IX,IY
COMMON /PIAK/ CX,CYPS,CZS,CMS,CNPS,CMST,CMQ,XV
COMMON /REFER/ D,S
REAL M,IX,IY,LMBDA1,LMBDA2

C PRORACUN STABILNOSTI

CMS = CMS-CZS*(XM-XV)/D
CNPS = CNPS+CYPS*(XM-XV)/D
SS =-CMS/CZS
XC = XM+D*CMS/CZS
GAMAK = X(4)/V
RXE = SQRT(IX/M)/D
RYE = SQRT(IY/M)/D
CALL ATMISO(X(2),0.,AZ,RO)
E = RO*S*D/(2*M)
CXE = E*CX
CYPSE = E*CYPS
CZSE = E*CZS
CMSE = E*CMS
CNPSE = E*CNPS
CMSTE = E*CMST
CMQE = E*CMQ

VP = (IX/IY)*(X(7)*D/V)
VM = (GAMAK*(CMSE-CMSTE*CXE)-CMQE*CZSE)/RYE**2
VH =-CZSE-(CMQE+GAMAK*CMSTE)/RYE**2
VT =-CZSE+GAMAK*CNPSE/RXE**2
SG = VP**2/(4*VM+VH**2)
SD = 2*(VT+CXE)/(VH+2*CXE)
DES = SD*(2-SD)
RSG = 1/SG

IF(SG.LT.1.) GO TO 4

LMBDA1 = (-VH-2*CXE+(2*VT-VH)/SQRT(1-RSG))/2
LMBDA2 = (-VH-2*CXE-(2*VT-VH)/SQRT(1-RSG))/2
FIP1 = (1+SQRT(1-RSG))*VP/2
FIP2 = (1-SQRT(1-RSG))*VP/2

WRITE(*,32) SS,LMBDA1,LMBDA2,RSG,DES,XM,XC
WRITE(22,32) T,LMBDA1,LMBDA2,RSG,DES,XM,XC

```

```
32 FORMAT(F10.3,2F10.5,4F10.3)
GO TO 5

4 WRITE(*,33) SS,RSG,DES,XM,XC
WRITE(22,33) T,RSG,DES,XM,XC
33 FORMAT(F10.3,20X,E10.3,3F10.3/)
```

```
5 RETURN
END
```

C-----

```
SUBROUTINE KRAJ(NS)
```

```
COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),
+      XM,M,IX,IY
COMMON /END/   T0,TK,XK,YK,H
REAL          M,IX,IY
```

```
NS = 0
```

```
IF(T.GT.TK)          NS = 1
IF(X(1).GE.XK)       NS = 1
IF(X(2).LE.YK.AND.X(11).LT.0.) NS = 1
```

```
IF(NS.EQ.1) THEN
```

```
WRITE(47,53)X(1),X(2),X(3)
53 FORMAT(F8.1,2F9.3)
```

```
END IF
```

```
RETURN
END
```

C-----

```
SUBROUTINE VETAR(VWG)
```

```
COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),
+      XM,M,IX,IY
COMMON /WIND/   VW0,DVW,AW0,DAW,OMGW,HI0
DIMENSION      VWG(3)
```

```
VW = VW0+DVW*COS(2*OMGW*T)
AW = AW0+DAW*SIN(OMGW*T)
VWG(1) = VW*COS(AW-HI0)
VWG(2) = VW*SIN(AW-HI0)
VWG(3) = 0.
```

```
RETURN
END
```

C-----

```
SUBROUTINE KORAK(H)
```

```
COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),
+      XM,M,IX,IY
REAL          M,IX,IY
COMMON /END/   T0,TK,XK,ZK,HH
```

```
H = HH
```

```
RETURN
END
```



```

C-----
SUBROUTINE MXCI

REAL      M,IX,IY
COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),
+        XM,M,IX,IY
COMMON /REFER/ D,S

D = 0.044
S = 0.7854*D**2

M = 3.615
XM = 0.267
IX = 0.001084
IY = 0.327416

RETURN
END
C-----
SUBROUTINE MOTOR (FXB,FYB,FZB,LFB,MFB,NFB)
REAL      LFB,MFB,NFB

FXB = 0.
FYB = 0.
FZB = 0.
LFB = 0.
MFB = 0.
NFB = 0.

RETURN
END
C-----
SUBROUTINE SAK(MA,SIGMA,PE,
+             CX,CYS,CZS,CL,CMS,CNS,CMST,CMQ,XVE)

COMMON /OBJECT/ T,X(12),F(12),
+        XM,M,IX,IY
REAL      M,MA,MAI,IX,IY
DIMENSION MAI(17),CX0I(17),CZSI(17),CMSI(17),XCPI(17),
+        CNPSI(17),CMSTI(17),CMQI(17),CL0I(17),CLPI(17)
COMMON /REFER/ D,S
COMMON /PIAK/  CCX,CYPS,CCZS,CCMS,CNPS,CCMST,CCMQ,XV
C-----
C  UBACENE VREDNOSTI ADK I DERIVATIVA PREMA VTI-CEROVIC ZA PKO M88
C-----
      DATA MAI/1,1.75,2,2.25,2.5,2.75,3,3.25,3.5,3.75,4,4.25,4.5,
+ 2.75,5,5.25,5.5/
C-----
C  ADK AKSIJALNE SILE PRI SIGMA = 0
C  VREDNOSTI KOEFICIJENATA PREMA VTI CEROVIC
      DATA CX0I/-.82,-.58125,-.52,-.47875,-.4545,-.4385,-.415,-.38125,
+ -.36,-.3425,-.332,-.32475,-.324,-.4385,-.321,-.32044,-.32012/
C-----
C  DERIVATIVI BOCNE SILE I MOMENTA SKRETANJA
      DATA CNPSI/-3.5,-3.05,-2.8,-2.55,-2.4,-2.25,-2,-1.9,-1.8,
+ -1.7,-1.6,-1.5,-1.45,-2.25,-1.3,-1.3,-1.3/
C-----
C  STATICKI DERIVATIV NORMALNE SILE I MOMENTA PROPINJANJA
      DATA CZSI/18.9,16.,14.6,13.45,12.4,11.65,10.9,10.4,
+ 9.9,9.45,9.1,8.75,8.4,11.65,8.1,7.975,7.85/
      DATA CMSI/-65.6,-50.7,-43.1,-37.35,-32.5,-28.5,-25.2,-22.4,
+ -20.,-18.,-16.2,-14.65,-13.3,-28.5,-10.,-8.875,-8.25/

```

```

C -----
C  DINAMICKI DERIVATIVI MOMENTA PROPINJANJA
  DATA CMQI/-405.9,-338.9,-310.6,-283.35,-260.6,-243.3,-228.4,
  + -215.75,-204.6,-194.75,-185.9,-178.1,-171.1,-243.3,-160,
  + -156.75,-155.5/
  DATA CMSTI/-118.7,-316.25,-287.9,-260.6,-237.9,-220.6,-205.8,
  + -193.05,-181.9,-172.05,-163.3,-155.4,-147.5,-220.6,-132.5,
  + -128.06,-125.88/
C -----
C  DERIVATIVI MOMENTA VALJANJA
  DATA CLOI/0.46,0.3755,0.34,0.3075,0.281,0.259,0.24,0.2225,
  + 0.208,0.1945,0.183,0.1725,0.163,0.259,0.151,0.1475,0.145/
  DATA CLPI/-43.4,-35.45,-32.2,-29.05,-26.5,-24.5,-22.6,-21.,
  + -19.6,-18.35,-17.3,-16.3,-15.4,-24.5,-14.5,-14.163,-13.975/
C*****
  DATA XCPI/426.,412.,403.,386.5,388.,381.5,374.,368.,362.,356.,
  + 351.,347.,343.,381.5,336.,333.81,332.88/
C*****
C  INTERPOLACIJA
C*****
  CALL LNTRP(MAI,CX0I,17,MA,CX0)
  CXS2 = 0.
  CX = CX0+CXS2*SIGMA**2
C*****
  CYPS = 0.
  CYS = -CYPS*PE
  CALL LNTRP(MAI,CNPSI,17,MA,CNPS)
  CNS = CNPS*PE
C*****
  CALL LNTRP(MAI,XCPI,17,MA,XCPI)
  XCPI=XCPI/125
  CALL LNTRP(MAI,CZSI,17,MA,CZS)
C  CZSI = -CZSI
  CALL LNTRP(MAI,CMSI,17,MA,CMS)
C  CMSI= -CMSI
C*****
  CALL LNTRP(MAI,CL0I,17,MA,CL0)
  CALL LNTRP(MAI,CLPI,17,MA,CLP)
  CL = CL0+CLP*PE
C*****
  CALL LNTRP(MAI,CMSTI,17,MA,CMST)
  CALL LNTRP(MAI,CMQI,17,MA,CMQ)
C*****
  XVE = .269657/D
C*****
  CCX = CX
  CCZS = CZS
  CCLP = CLP
  CCMS = CMS
  CCMST = CMST
  CCMQ = CMQ
  XV = XVE*D

  RETURN
  END

C-----
SUBROUTINE RUNKUT(N,Y,F,X,M,H,SAVEY,PHI)

  DIMENSION PHI(*),SAVEY(*),Y(*),F(*)

  GO TO (1,2,3,4) M

```

```

1 DO 11 J=1,N
  SAVEY(J) = Y(J)
  PHI(J) = F(J)
11 Y(J) = SAVEY(J) + F(J)*H/2.
  X = X + H/2.
  RETURN

2 DO 22 J=1,N
  PHI(J) = PHI(J) + 2.*F(J)
22 Y(J) = SAVEY(J) + F(J)*H/2.
  RETURN

3 DO 33 J=1,N
  PHI(J) = PHI(J) + 2.*F(J)
33 Y(J) = SAVEY(J) + F(J)*H
  X = X + H/2.
  RETURN

4 DO 44 J=1,N
44 Y(J) = SAVEY(J) + (PHI(J) + F(J))*H/6.
  RETURN

```

END

C-----

```

SUBROUTINE LNTRP(ABSC,ORD,N,X,Y)

  DIMENSION ABSC(*),ORD(*)

  DO 10 J=2,N
    I=J
    IF(X.LT.ABSC(I)) GO TO 20
10 CONTINUE
    IF(X.GT.ABSC(N)) WRITE(*,50)

20 Y=ORD(I-1)+(X-ABSC(I-1))*(ORD(I)-ORD(I-1))/(ABSC(I)-ABSC(I-1))

50 FORMAT(/,5X,'X JE VAN INTERVALA INTERPOLACIJE',/)

  RETURN
  END

```

C-----

```

SUBROUTINE ATMISO(HM,V,A,RO)

  R = 287.053
  G0 = 9.80616
  RM = 6356800.

  RV = R/(1-0.378*V)
  HV = HM/(1+HM/RM)

  IF(HV.GT.11000) GO TO 11
  HB = 0
  TB = 288.15
  BETA = -0.0065
  PB = 101325.
  GO TO 101

11 IF(HV.GT.20000) GO TO 22
  HB = 11000.
  TB = 216.65
  BETA = 0.

```

---

```

PB = 22632.
GO TO 102

22 IF(HV.GT.32000) GO TO 33
HB = 20000.
TB = 216.65
BETA = 0.001
PB = 5475
GO TO 101

33 IF(HV.GT.47000) GO TO 44
HB = 32000.
TB = 228.65
BETA = 0.0028
PB = 868.
GO TO 101

44 IF(HV.GT.51000) GO TO 55
HB = 47000.
TB = 270.65
BETA = 0.
PB = 111.
GO TO 102

55 IF(HV.GT.71000) GO TO 66
HB = 51000.
TB = 270.65
BETA = -0.0028
PB = 67.
GO TO 101

66 IF(HV.GT.80000) GO TO 77
HB = 71000.
TB = 214.65
BETA = -0.002
PB = 4.
GO TO 101

77 HB = 80000.
TB = 196.65
BETA = 0.
PB = 0.9
GO TO 102

101 T = TB+BETA*(HV-HB)
P = PB*(1+(BETA/TB)*(HV-HB))*(-G0/(BETA*RV))
GO TO 88

102 T = TB
P = PB*EXP(-(G0/(RV*TB))*(HV-HB))

88 A = SQRT(1.4*RV*T)
RO = P/(RV*T)

RETURN
END
C-----
SUBROUTINE KONV (P,Q,R,OM)

DIMENSION OM(3,3)

OM(1,1) = 0

```

---

```
OM(2,1) = R
OM(3,1) = -Q
```

```
OM(1,2) = -R
OM(2,2) = 0
OM(3,2) = P
```

```
OM(1,3) = Q
OM(2,3) = -P
OM(3,3) = 0
```

```
RETURN
END
```

```
C-----
SUBROUTINE MRMUL (A,B,R,N,M,L)
```

```
DIMENSION A(*), B(*), R(*)
```

```
IR = 0
IK = -M
```

```
DO 10 K=1,L
  IK = IK + M
```

```
DO 10 J=1,N
  IR = IR + 1
  J1 = J - N
  IB = IK
  R(IR) = 0.
```

```
DO 10 I=1,M
  J1 = J1 + N
  IB = IB + 1
```

```
10 R(IR) = R(IR) + A(J1) * B(IB)
```

```
RETURN
END
```

```
C-----
SUBROUTINE TRAN (TGD,TDG)
```

```
DIMENSION TGD(3,3),TDG(3,3)
```

```
DO 5 I=1,3
  DO 5 K=1,3
  TDG(I,K) = TGD(K,I)
5 CONTINUE
```

```
RETURN
END
```

```
C-----
SUBROUTINE RIMAT(FI,TETA,RI)
```

```
DIMENSION RI(3,3)
```

```
SFI = SIN(FI)
CFI = COS(FI)
STETA = SIN(TETA)
CTETA = COS(TETA)
```

```
RI(1,1) = 1
```

```

RI(2,1) = 0
RI(3,1) = 0

RI(1,2) = SFI*STETA/CTETA
RI(2,2) = CFI
RI(3,2) = SFI/CTETA

RI(1,3) = CFI*STETA/CTETA
RI(2,3) = -SFI
RI(3,3) = CFI/CTETA

RETURN
END

```

C-----

```

SUBROUTINE LMAT(FI,TETA,PSI,L)

```

```

REAL L(3,3)

```

```

SP = SIN(PSI)
CP = COS(PSI)
ST = SIN(TETA)
CT = COS(TETA)

```

```

IF(FI.EQ.0.) GO TO 2

```

```

SF = SIN(FI)
CF = COS(FI)
GO TO 3

```

```

2 SF = 0.
  CF = 1.

```

```

3 L(1,1)=  CP*CT
  L(2,1)= -SP*CF+CP*ST*SF
  L(3,1)= SP*SF+CP*ST*CF

```

```

L(1,2)=  SP*CT
L(2,2)= CP*CF+SP*ST*SF
L(3,2)= -CP*SF+SP*ST*CF

```

```

L(1,3)=  - ST
L(2,3)=  CT*SF
L(3,3)=  CT*CF

```

```

RETURN
END

```

C-----

C DOPUNA PROGRAMSKOG KODA - GENERISANJE SLUCAJNE GRESKE POZICIONIRANJA

```

REAL FUNCTION SLB(seed2)

```

```

integer seed2

```

C-----

```

C Funkcija SLB generise slucajne brojeve sa normalnom raspodelom cije je
C matematicko ocekivanje 0, a disperzija 1 (Box-Muller-Wiener algoritam).
C Posto funkcija SLB 'rasipa' slucajne brojeve cije su vrednosti izmedju
C -3 i +3 (sa verovatnocom od 99,7%), a za potrebe simulacija u programu
C neophodne su vrednosti izmedju ±0,06 izraz za originalnu formulu
C mora se na kraju podeliti sa 50. Ukoliko se zele vrednosti ±0,045 formulu
C treba podeliti sa 66,6667, a za vrednosti ±0,03 formulu treba podeliti sa 100.
C SLB=sqrt(-2*log(ran(seed2)))*cos(2*3.14159*ran(seed2))/50

```

C-----

```

RETURN
END function

```

**ПРИЛОГ 7 - Резултати програмског решења спољнобалистичког прорачуна са шест степени слободе кретања - одабрани подаци ради илустрације**

Даљина гађања – 700 m

T	X	Y	Z	V	HI	GAMA	P	ALFA	BETA	ugao
0	0	0	0	1800	0.024	0.048	0	0	0	0.0483
0.004	7.4	0.006	0.003	1798.9	0.024	0.047	70.7	0	0	0.0483
0.008	14.6	0.012	0.006	1797.8	0.024	0.046	134	0	0	0.0482
0.012	21.8	0.018	0.009	1796.8	0.024	0.044	192.1	0	0	0.048
0.016	28.9	0.023	0.012	1795.7	0.024	0.043	245.4	0	0	0.0476
0.02	35.9	0.028	0.015	1794.7	0.024	0.042	293.1	0	0	0.0469
0.024	43.1	0.033	0.018	1793.6	0.024	0.041	338.1	0	0	0.046
0.028	50.3	0.038	0.021	1792.5	0.024	0.039	379.5	0	0	0.0448
0.032	57.5	0.043	0.024	1791.5	0.024	0.038	417.4	0	0	0.0433
0.036	64.6	0.048	0.027	1790.4	0.024	0.036	452.2	0	0	0.0415
0.04	71.8	0.052	0.03	1789.4	0.024	0.035	484.1	0	0	0.0395
0.044	78.9	0.057	0.033	1788.3	0.024	0.034	513.4	0	0	0.0372
0.048	86.1	0.061	0.035	1787.3	0.024	0.033	540.3	0	0	0.0348
0.052	93.2	0.065	0.038	1786.2	0.024	0.031	564.9	0	0	0.0323
0.056	100.4	0.069	0.041	1785.1	0.024	0.03	587.6	0	0	0.0298
0.06	107.5	0.072	0.044	1784.1	0.024	0.029	608.3	0	0	0.0273
0.064	114.7	0.076	0.047	1783	0.024	0.028	627.4	0	0	0.0248
0.068	121.8	0.079	0.05	1782	0.024	0.026	644.8	0	0	0.0226
0.072	128.9	0.082	0.053	1780.9	0.024	0.025	660.8	0	0	0.0206
0.076	136	0.085	0.056	1779.9	0.024	0.024	675.5	0	0	0.0188
0.08	143.2	0.088	0.059	1778.9	0.024	0.023	688.9	0	0	0.0173
0.084	150.3	0.091	0.062	1777.8	0.024	0.022	701.2	0	0	0.0161
0.088	157.4	0.094	0.065	1776.8	0.024	0.02	712.5	0	0	0.0152
0.092	164.5	0.096	0.068	1775.7	0.024	0.019	722.9	0	0	0.0146
0.096	171.6	0.098	0.071	1774.7	0.024	0.018	732.3	0	0	0.0143
0.1	178.7	0.101	0.074	1773.6	0.024	0.017	741	0	0	0.0141
0.104	185.8	0.103	0.077	1772.6	0.024	0.016	748.9	0	0	0.0141
0.108	192.9	0.104	0.08	1771.6	0.024	0.014	756.1	0	0	0.0141
0.112	199.9	0.106	0.083	1770.5	0.024	0.013	762.7	0	0	0.0141
0.116	207	0.108	0.085	1769.5	0.024	0.012	768.8	0	0	0.0141
0.12	214.1	0.109	0.088	1768.5	0.024	0.01	774.3	0	0	0.0139
0.124	221.2	0.11	0.091	1767.4	0.024	0.009	779.3	0	0	0.0136
0.128	228.2	0.111	0.094	1766.4	0.024	0.008	783.9	0	0	0.013
0.132	235.3	0.112	0.097	1765.4	0.024	0.006	788.1	0	0	0.0121
0.136	242.4	0.113	0.1	1764.3	0.024	0.005	791.9	0	0	0.0109
0.14	249.6	0.113	0.103	1763.3	0.024	0.004	795.4	0	0	0.0093
0.144	256.6	0.114	0.106	1762.3	0.024	0.002	798.5	0	0	0.0075
0.148	263.7	0.114	0.109	1761.2	0.024	0.001	801.4	0	0	0.0054
0.152	270.7	<b>0.114</b>	0.112	1760.2	0.024	0	804	0	0	0.0031
0.156	277.8	0.114	0.115	1759.2	0.024	-0.002	806.3	0	0	0.0007
0.16	284.8	0.113	0.118	1758.2	0.024	-0.003	808.4	0	0	-0.0019
0.164	291.8	0.113	0.121	1757.1	0.024	-0.004	810.3	0	0	-0.0046
0.168	298.9	0.112	0.123	1756.1	0.024	-0.006	812	0	0	-0.0072
0.172	305.9	0.112	0.126	1755.1	0.024	-0.007	813.5	0	0	-0.0096
0.176	312.9	0.111	0.129	1754.1	0.024	-0.008	814.9	0	0	-0.012
0.18	319.9	0.11	0.132	1753.1	0.024	-0.009	816.1	0	0	-0.0141
0.184	326.9	0.108	0.135	1752.1	0.024	-0.011	817.2	0	0	-0.0159
0.188	333.9	0.107	0.138	1751	0.024	-0.012	818.1	0	0	-0.0174
0.192	340.9	0.106	0.141	1750	0.024	-0.013	819	0	0	-0.0186
0.196	347.9	0.104	0.144	1749	0.024	-0.014	819.7	0	0	-0.0195
0.2	354.9	0.102	0.147	1748	0.024	-0.015	820.3	0	0	-0.0201

T	X	Y	Z	V	HI	GAMA	P	ALFA	BETA	ugao
0.204	361.9	0.1	0.15	1747	0.024	-0.017	820.9	0	0	-0.0205
0.208	368.9	0.098	0.153	1746	0.024	-0.018	821.4	0	0	-0.0206
0.212	375.9	0.096	0.155	1745	0.024	-0.019	821.7	0	0	-0.0206
0.216	382.9	0.093	0.158	1744	0.024	-0.02	822.1	0	0	-0.0205
0.22	389.8	0.091	0.161	1743	0.024	-0.022	822.3	0	0	-0.0205
0.224	396.8	0.088	0.164	1742	0.024	-0.023	822.5	0	0	-0.0205
0.228	403.8	0.085	0.167	1741	0.024	-0.024	822.7	0	0	-0.0206
0.232	410.7	0.082	0.17	1740	0.024	-0.026	822.8	0	0	-0.021
0.236	417.7	0.079	0.173	1739	0.024	-0.027	822.8	0	0	-0.0216
0.24	424.6	0.076	0.176	1738	0.024	-0.028	822.8	0	0	-0.0225
0.244	431.6	0.072	0.179	1737	0.024	-0.03	822.8	0	0	-0.0238
0.248	438.5	0.068	0.181	1736	0.024	-0.031	822.7	0	0	-0.0253
0.252	445.5	0.065	0.184	1735	0.024	-0.033	822.6	0	0	-0.0272
0.256	452.4	0.061	0.187	1734	0.024	-0.034	822.5	0	0	-0.0293
0.26	459.4	0.056	0.19	1733	0.024	-0.035	822.4	0	0	-0.0316
0.264	466.3	0.052	0.193	1732	0.024	-0.037	822.2	0	0	-0.0342
0.268	473.2	0.047	0.196	1731	0.024	-0.038	822	0	0	-0.0368
0.272	480.1	0.043	0.199	1730	0.024	-0.039	821.7	0	0	-0.0395
0.276	487.1	0.038	0.202	1729	0.024	-0.041	821.5	0	0	-0.0421
0.28	494	0.033	0.204	1728	0.024	-0.042	821.2	0	0	-0.0447
0.284	500.9	0.028	0.207	1727.1	0.024	-0.043	821	0	0	-0.047
0.288	507.8	0.023	0.21	1726.1	0.024	-0.044	820.7	0	0	-0.0491
0.292	514.7	0.017	0.213	1725.1	0.024	-0.046	820.4	0	0	-0.051
0.296	521.6	0.012	0.216	1724.1	0.024	-0.047	820.1	0	0	-0.0525
0.3	528.5	0.006	0.219	1723.1	0.024	-0.048	819.7	0	0	-0.0537
0.304	535.4	0	0.222	1722.1	0.024	-0.049	819.4	0	0	-0.0546
0.308	542.3	-0.01	0.225	1721.2	0.024	-0.05	819	0	0	-0.0552
0.312	549.1	-0.01	0.227	1720.2	0.024	-0.052	818.7	0	0	-0.0555
0.316	556	-0.02	0.23	1719.2	0.024	-0.053	818.3	0	0	-0.0557
0.32	562.9	-0.03	0.233	1718.2	0.024	-0.054	817.9	0	0	-0.0557
0.324	569.8	-0.03	0.236	1717.2	0.024	-0.056	817.5	0	0	-0.0556
0.328	576.6	-0.04	0.239	1716.3	0.024	-0.057	817.2	0	0	-0.0555
0.332	583.5	-0.05	0.242	1715.3	0.024	-0.058	816.8	0	0	-0.0556
0.336	590.4	-0.05	0.245	1714.3	0.024	-0.06	816.4	0	0	-0.0557
0.34	597	-0.06	0.248	1713.4	0.024	-0.061	816	0	0	-0.0561
0.344	603.9	-0.07	0.25	1712.4	0.024	-0.062	815.6	0	0	-0.0568
0.348	610.7	-0.07	0.253	1711.4	0.024	-0.064	815.2	0	0	-0.0577
0.352	617.6	-0.08	0.256	1710.5	0.024	-0.065	814.7	0	0	-0.059
0.356	624.4	-0.09	0.259	1709.5	0.024	-0.066	814.3	0	0	-0.0606
0.36	631.3	-0.1	0.262	1708.5	0.024	-0.068	813.9	0	0	-0.0625
0.364	638.1	-0.11	0.265	1707.6	0.024	-0.069	813.5	0	0	-0.0647
0.368	644.9	-0.11	0.267	1706.6	0.024	-0.071	813	0	0	-0.0671
0.372	651.7	-0.12	0.27	1705.6	0.024	-0.072	812.6	0	0	-0.0696
0.376	658.6	-0.13	0.273	1704.7	0.024	-0.073	812.2	0	0	-0.0723
0.38	665.4	-0.14	0.276	1703.7	0.024	-0.075	811.7	0	0	-0.075
0.384	672.2	-0.15	0.279	1702.8	0.024	-0.076	811.3	0	0	-0.0776
0.388	679	-0.16	0.282	1701.8	0.024	-0.077	810.9	0	0	-0.0802
0.392	685.8	-0.17	0.284	1700.9	0.024	-0.079	810.4	0	0	-0.0825
0.396	692.6	-0.18	0.287	1699.9	0.024	-0.08	810	0	0	-0.0846
0.4	699.4	-0.19	0.29	1698.9	0.024	-0.081	809.6	0	0	-0.0865
0.4	700.1	-0.19	0.29	1698.8	0.024	-0.081	809.5	0	0	-0.0866



Даљина (m)	Даљинар		Таблични угао		Ордината темена путање (m)	Време лета (s)	Крај. брзина (m/s)	Падни угао (хиљ)	Вероватно скретање		Поправ. правца (хиљ)	Поправка висине због . . .						
	Под.	хиљ. 1/6000	(ступ)	(мин)					По правцу (m)	По висини (m)		Одступ. уздуж. ветра за $W_x=10$ m/s (m)	Одступ. темп. вазд. за $\Delta t=10^\circ\text{C}$ (m)	Одступ. ваз.пр. за $\Delta H=10$ mb (m)	Одступ. поч.брз. за $\Delta V_0=10$ m/s (m)	Одступ. тем.бар. за $\Delta t_b=10^\circ\text{C}$ (m)	Одступ. маса прој.за $\Delta m=1$ озн. (m)	Пром. елев. за 1 под. даљин. (m)
100	1	0	0	1	0.01	0.04	1793	0	0.03	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0
200	2	0	0	1	0.01	0.11	1778	0.3	0.05	0.05	0.03	0	0	0	0	0	0	0.03
300	3	0	0	2	0.03	0.18	1766	0.5	0.08	0.08	0.05	0	0	0	0	0	0	0.05
400	4	1	0	2	0.06	0.23	1756	0.7	0.1	0.1	0.07	0	0	0	0	0	0	0.07
500	5	1	0	3	0.09	0.29	1745	0.8	0.13	0.13	0.09	0	0	0	0	0	0	0.08
600	6	1	0	3	0.14	0.34	1735	1	0.16	0.16	0.1	0	0	0	0	0.01	0	0.1
700	7	1	0	4	0.19	0.4	1724	1.2	0.18	0.18	0.12	0	0	0	0.01	0.01	0	0.11
800	8	1	0	4	0.25	0.46	1714	1.2	0.21	0.21	0.14	0	0	0	0.01	0.01	0	0.13
900	9	1	0	5	0.32	0.51	1703	1.3	0.24	0.24	0.16	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.15
1000	10	2	0	5	0.4	0.57	1693	1.5	0.27	0.27	0.17	0	0	0	0.02	0.02	0.01	0.16
1100	11	2	0	6	0.49	0.63	1682	1.7	0.3	0.3	0.19	0	0	0	0.02	0.02	0.01	0.18
1200	12	2	0	7	0.58	0.69	1672	2	0.33	0.33	0.21	0	0	0	0.03	0.03	0.01	0.2
1300	13	2	0	7	0.69	0.75	1662	2.2	0.35	0.35	0.23	0	0	0	0.03	0.04	0.01	0.22
1400	14	2	0	8	0.81	0.81	1651	2.3	0.38	0.38	0.25	0	0.01	0	0.03	0.04	0.01	0.24
1500	15	2	0	8	0.93	0.87	1641	2.5	0.41	0.41	0.26	0	0.01	0	0.04	0.04	0.02	0.26
1600	16	2	0	9	1.07	0.93	1631	2.7	0.44	0.44	0.28	0	0.01	0	0.05	0.05	0.02	0.28
1700	17	3	0	9	1.21	1	1621	2.8	0.46	0.46	0.3	0	0.01	0	0.05	0.06	0.02	0.3
1800	18	3	0	10	1.37	1.06	1611	3	0.49	0.49	0.32	0.01	0.01	0	0.06	0.06	0.02	0.32
1900	19	3	0	11	1.53	1.12	1601	3.2	0.52	0.52	0.34	0.01	0.01	0	0.07	0.07	0.03	0.34
2000	20	3	0	11	1.71	1.18	1591	3.5	0.54	0.54	0.36	0.01	0.02	0.01	0.07	0.08	0.03	0.36
2100	21	3	0	12	1.9	1.25	1582	3.7	0.57	0.57	0.38	0.01	0.03	0.01	0.08	0.09	0.03	0.38
2200	22	3	0	13	2.1	1.31	1572	3.8	0.6	0.6	0.39	0.01	0.03	0.01	0.09	0.1	0.03	0.4
2300	23	4	0	13	2.31	1.37	1562	4	0.63	0.63	0.41	0.01	0.03	0.01	0.1	0.1	0.03	0.42
2400	24	4	0	14	2.53	1.44	1553	4.2	0.66	0.66	0.43	0.01	0.03	0.01	0.11	0.12	0.04	0.44
2500	25	4	0	14	2.76	1.5	1543	4.5	0.68	0.68	0.45	0.01	0.04	0.02	0.11	0.12	0.04	0.47
2600	26	4	0	15	3.01	1.57	1534	4.7	0.71	0.71	0.47	0.01	0.04	0.02	0.13	0.14	0.04	0.49
2700	27	4	0	16	3.26	1.63	1524	4.8	0.74	0.74	0.49	0.02	0.05	0.02	0.14	0.15	0.05	0.51
2800	28	5	0	16	3.53	1.7	1515	5.2	0.76	0.76	0.51	0.02	0.06	0.02	0.15	0.16	0.05	0.54
2900	29	5	0	17	3.82	1.76	1506	5.3	0.79	0.79	0.53	0.02	0.06	0.03	0.15	0.17	0.05	0.56
3000	30	5	0	18	4.11	1.83	1497	5.5	0.82	0.82	0.55	0.02	0.07	0.03	0.17	0.19	0.06	0.58
3100	31	5	0	18	4.42	1.9	1487	5.8	0.84	0.84	0.57	0.02	0.08	0.03	0.19	0.2	0.06	0.61
3200	32	5	0	19	4.74	1.97	1478	6	0.87	0.87	0.58	0.03	0.08	0.03	0.2	0.21	0.07	0.63
3300	33	5	0	20	5.07	2.03	1469	6.3	0.9	0.9	0.6	0.03	0.09	0.03	0.21	0.23	0.07	0.66
3400	34	6	0	20	5.42	2.1	1460	6.5	0.93	0.93	0.62	0.03	0.1	0.04	0.22	0.24	0.07	0.68
3500	35	6	0	21	5.78	2.17	1451	6.8	0.95	0.95	0.64	0.03	0.11	0.05	0.24	0.26	0.08	0.71
3600	36	6	0	22	6.15	2.24	1442	7	0.98	0.98	0.66	0.04	0.12	0.05	0.26	0.28	0.08	0.74
3700	37	6	0	23	6.54	2.31	1434	7.3	1	1	0.68	0.04	0.13	0.06	0.27	0.29	0.08	0.76
3800	38	6	0	23	6.94	2.38	1425	7.5	1	1	0.7	0.04	0.14	0.06	0.28	0.31	0.09	0.79
3900	39	7	0	24	7.36	2.45	1416	7.8	1.1	1.1	0.72	0.05	0.16	0.06	0.3	0.32	0.09	0.82
4000	40	7	0	25	7.79	2.52	1407	8.2	1.1	1.1	0.74	0.05	0.17	0.07	0.32	0.34	0.1	0.85

**ПРИЛОГ 9 - Излазне датотеке програмског решења TVERP**

Даљина гађања – 1000 m

X	T	Vd	Vp	Vv	PV
100	0.014	16.377	0.025	0.003	0.79
199	0.026	16.234	0.05	0.005	1
297	0.0255	16.044	0.074	0.007	1
395	0.002	16.021	0.099	0.01	1
500	0.029	16.066	0.125	0.013	1
600	0.0577	15.997	0.15	0.015	1
700	0.0864	16.254	0.175	0.018	1
800	0.0209	16.124	0.2	0.021	1
900	0.0501	16.475	0.225	0.024	1
1000	0.0793	16.449	0.25	0.027	1

TET <sub>o</sub>	TET <sub>c</sub>	DZW <sub>z</sub>	DXW <sub>x</sub>	DX <sub>c</sub>	DX <sub>v</sub>	DX <sub>t</sub>
0.0002	-0.0002	0.0001	0.436	0.4323	0.5209	0.4367
0.0003	-0.0003	0.0005	0.2471	0.233	0.4763	0.2502
0.0005	-0.0005	0.0012	0.0552	0.0245	0.384	0.0618
0.0006	-0.0006	0.0021	0.1481	0.0955	0.469	0.1592
0.0008	-0.0008	0.0033	0.0352	-0.0511	0.5783	0.0539
0.0009	-0.0009	0.0048	-0.0351	-0.1585	0.6065	-0.0084
0.0011	-0.0011	0.0066	0.0722	-0.0965	0.8233	0.1087
0.0012	-0.0013	0.0085	-0.0389	-0.2575	0.8022	0.0083
0.0014	-0.0014	0.0109	0.0661	-0.2113	1.0195	0.1261
0.0016	-0.0016	0.0134	0.0038	-0.3371	1.0499	0.0775

Даљина гађања – 2000 m

X	T	Vd	Vp	Vv	PV
199	0.0261	16.23	0.05	0.005	1
395	0.002	16.016	0.099	0.01	1
600	0.0578	15.99	0.15	0.015	1
800	0.0209	16.116	0.2	0.021	1
1000	0.0793	16.439	0.25	0.027	1
1200	0.1384	16.827	0.3	0.033	1
1400	0.0281	17.305	0.35	0.04	1
1600	0.0885	17.778	0.4	0.048	1
1800	0.1495	18.398	0.45	0.056	0.99
2000	0.2113	18.944	0.5	0.065	0.98

TET <sub>o</sub>	TET <sub>c</sub>	DZW <sub>z</sub>	DXW <sub>x</sub>	DX <sub>c</sub>	DX <sub>v</sub>	DX <sub>t</sub>
0.0003	-0.0003	0.0005	0.2471	0.2329	0.4762	0.2502
0.0006	-0.0006	0.0021	0.1482	0.0952	0.4689	0.1593
0.0009	-0.0009	0.0048	-0.0351	-0.1595	0.6063	-0.0082
0.0012	-0.0013	0.0086	-0.039	-0.2592	0.8018	0.0086
0.0016	-0.0016	0.0135	0.0039	-0.3396	1.0496	0.0782
0.0019	-0.002	0.0195	0.0309	-0.4623	1.2716	0.1375
0.0022	-0.0023	0.0267	0.0625	-0.6067	1.4935	0.2071
0.0026	-0.0027	0.0349	0.0722	-0.7984	1.6854	0.2602
0.0029	-0.0031	0.0444	0.1086	-0.9898	1.9019	0.3457
0.0032	-0.0034	0.0549	0.1143	-1.2362	2.0794	0.4057

Даљина гађања – 3000 m

X	T	Vd	Vp	Vv	PV
297	0.0255	16.032	0.074	0.007	1
600	0.0578	15.981	0.15	0.015	1
900	0.0502	16.455	0.225	0.024	1
1200	0.1385	16.812	0.3	0.033	1
1500	0.0585	17.592	0.375	0.044	1
1800	0.1498	18.379	0.45	0.056	0.99
2100	0.2428	19.2	0.525	0.07	0.97
2400	0.0313	20.313	0.6	0.086	0.94
2700	0.1274	21.389	0.675	0.104	0.91
3000	0.2252	22.582	0.75	0.125	0.87

TETo	TETc	DZWz	DXWx	DXc	DXv	DXt
0.0005	-0.0005	0.0012	0.0551	0.0239	0.3838	0.0619
0.0009	-0.0009	0.0049	-0.035	-0.1607	0.6061	-0.0078
0.0014	-0.0014	0.0111	0.0668	-0.2155	1.0193	0.1279
0.0019	-0.002	0.0197	0.0313	-0.4668	1.2711	0.1389
0.0024	-0.0025	0.031	0.0888	-0.6861	1.6126	0.2561
0.0029	-0.0031	0.0448	0.1097	-0.9996	1.9008	0.3492
0.0034	-0.0036	0.0613	0.1188	-1.3819	2.165	0.4424
0.0039	-0.0042	0.0805	0.1565	-1.782	2.4737	0.6002
0.0045	-0.0049	0.1024	0.2236	-2.2298	2.7514	0.7518
0.005	-0.0055	0.127	0.2849	-2.7304	3.0367	0.9335

Даљина гађања – 4000 m

X	T	Vd	Vp	Vv	PV
395	0.0022	15.971	0.099	0.01	1
800	0.0213	16.044	0.2	0.021	1
1200	0.1392	16.736	0.3	0.033	1
1600	0.0898	17.665	0.4	0.048	1
2000	0.2134	18.807	0.5	0.065	0.98
2400	0.0339	20.18	0.6	0.086	0.94
2800	0.1635	21.591	0.7	0.111	0.9
3200	0.2961	23.247	0.8	0.14	0.84
3600	0.4318	24.78	0.9	0.173	0.79
4000	0.0198	26.412	1	0.211	0.74

TETo	TETc	DZWz	DXWx	DXc	DXv	DXt
0.0006	-0.0006	0.0022	0.1485	0.0922	0.4684	0.1604
0.0012	-0.0013	0.0092	-0.0396	-0.2737	0.7984	0.0111
0.0019	-0.002	0.0208	0.0335	-0.4906	1.2681	0.1467
0.0026	-0.0027	0.0372	0.0769	-0.848	1.6793	0.2766
0.0032	-0.0035	0.0586	0.1218	-1.3121	2.0703	0.4311
0.0039	-0.0043	0.085	0.1683	-1.8686	2.4633	0.631
0.0047	-0.0051	0.1165	0.2493	-2.5159	2.8258	0.8439
0.0054	-0.006	0.1532	0.3508	-3.2419	3.2108	1.1036
0.0062	-0.007	0.1952	0.4293	-4.0787	3.5507	1.3965
0.007	-0.008	0.2427	0.5286	-4.9947	3.8944	1.7117

## ПРИЛОГ 10 - Утицај појединих фактора на растурање погодака при непосредном гађању из тенковског топа

У овом прилогу приказани су резултати неких светских разматрања утицајних фактора на растурање погодака при непосредном гађању из тенковског топа. Наведене анализе нису приказане у интегралном делу рада (пошто се не односе на утицај СУВ-а) али је аутор сматрао да њихова важност није занемарљива, па ће зато овде бити презентоване. Такође, биће представљени могући начини за компензацију штетног дејства наведених утицајних фактора на растурање погодака, што је и сугерисано у тим разматрањима и истраживањима.

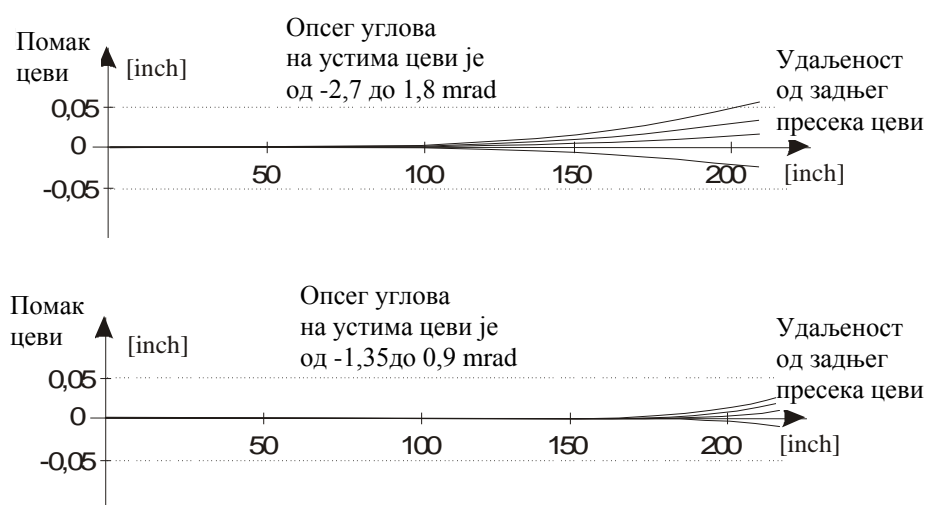
### УТИЦАЈ ОСЕ ЦЕВИ ТЕНКОВСКОГ ТОПА НА РАСТУРАЊЕ ПОГОДАКА

Један од значајних фактора који утичу на грешке и прецизност гађања, јесте облик осе цеви тенковског топа. Према литератури [39] у циљу проналажења оптималног облика цеви тенковског топа, реализоване су нумеричке симулације опаљења и сачињен је тродимензионални модел тенковског топа М256, калибра 120 mm, на тенку М1А2, који испалује поткалибарне пројектиле. У симулацијама су коришћени модели материјала који укључују еластичне, еласто-пластичне и друге материјале, опруге и друге елементе, као и посебна софтверска решења којима је узета у обзир природа композитних материјала од којих су израђени пројектили. Такође, укључени су и "клизни интерфејси" који су омогућили симулацију реалистичног "трзања" и "враћања" топа, након "опаљења", омогућавајући коректно дефинисање релативног кретања пројектила у односу на тенковску цев.

Унутрашња површине цеви и коморе изложене су притиску у складу са нивоом оптерећења типичним за унутрашње балистичке прорачуне. С тим у вези, одређене су и величине које фигуришу у програмском пакету "IBHVG2 – Internal Ballistics High Velocity Gun 2".

Примери различитих врста облика цеви, коришћених у симулацији, према [39], могу се видети на сликама од 9.22. до 9.26, уз приказ понашања у вертикалној равни.

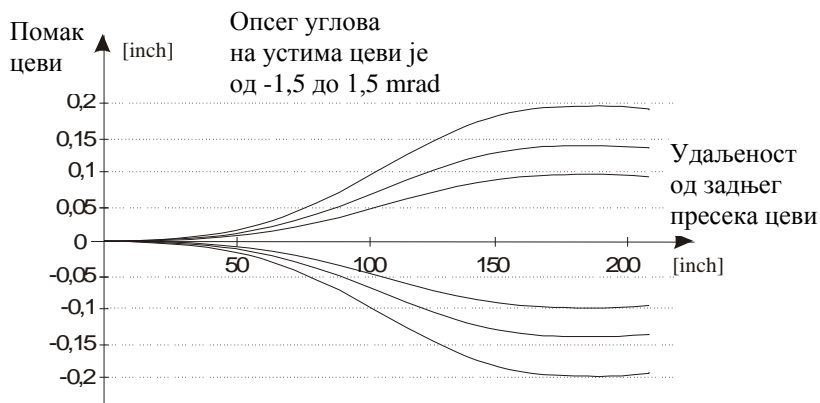
Избор облика тенковске цеви заснован је на разлици између угла пројектила на прелазном конусу и угла пројектила на устима цеви.



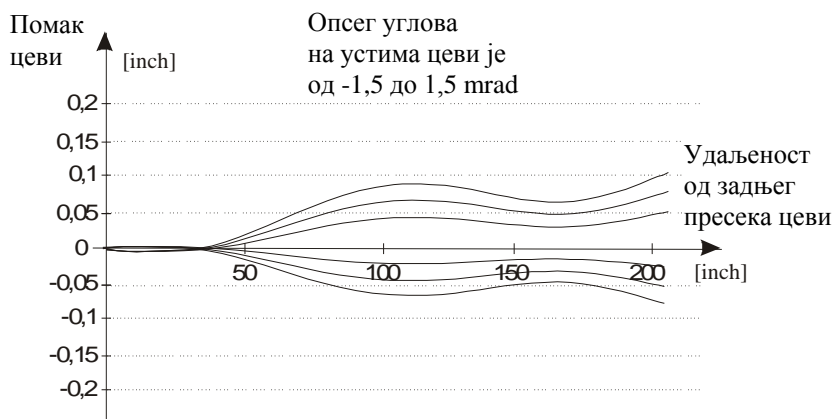
Слика 9.22: Облик цеви за један прегиб

Ако тенковска цев има један прегиб (као на слици 9.22) овај угао се мења између  $-2,7$  mrad и  $1,8$  mrad - за цеви где је савијеност на 80 инча (203,2 cm) од задњег пресека цеви. Описана промена угла биће између  $-1,35$  mrad и  $0,9$  mrad - за цеви код којих савијеност почиње на 150 инча (381 cm) од задњег пресека цеви.

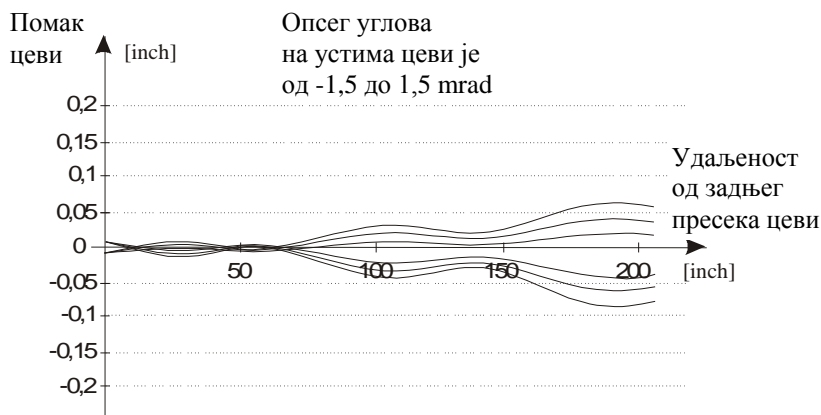
Са слике 9.23. уочљиво је да је одступање у вертикалној равни, између углова на устима цеви и на прелазном конусу, највеће код тенковских цеви са два прегИБа.



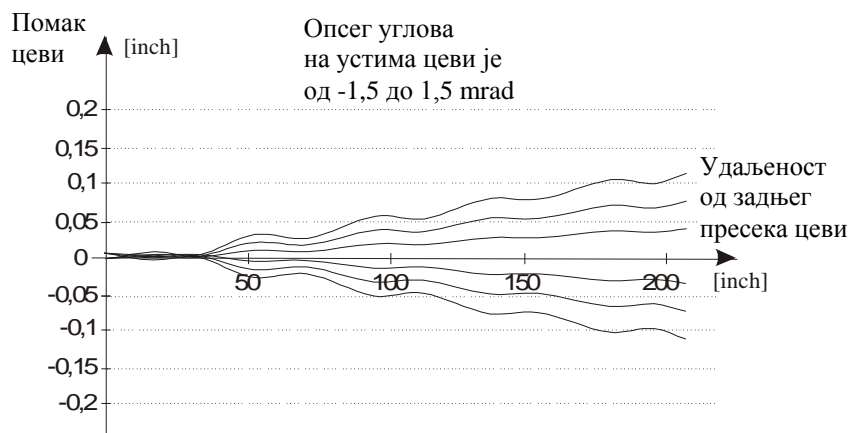
Слика 9.23: Облик цеви са два прегИБа



Слика 9.24: Облик цеви са три прегИБа



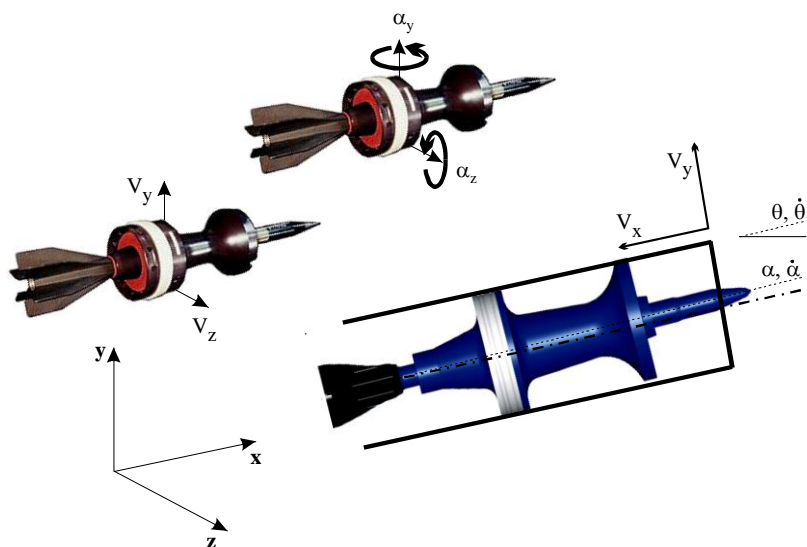
Слика 9.25: Облик цеви са пет прегИБа



Слика 9.26: Облик цеви са десет прегИБа

За цеви са вишеструким прегИБима (као што су цеви чији су облици приказани на сликама 9.24, 9.25. и 9.26, угао пројектила на устима цеви у односу на угао пројектила на прелазном конусу варира између  $-1,5 \text{ mrad}$  и  $1,5 \text{ mrad}$ .

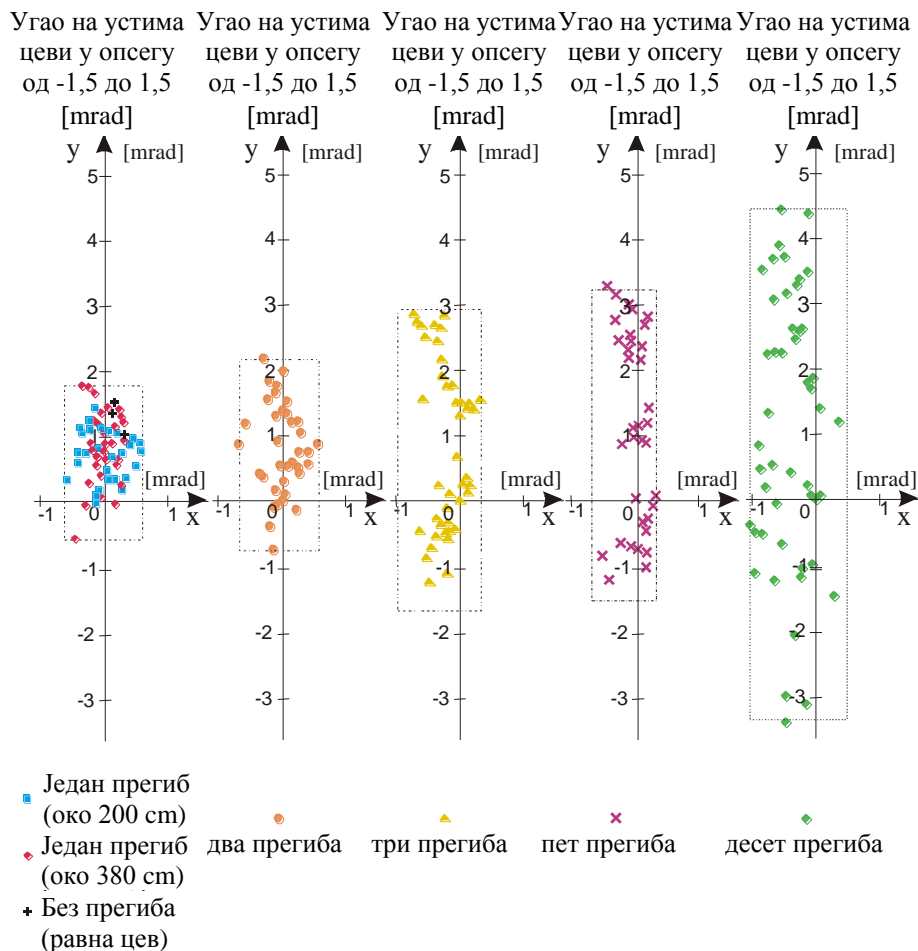
Основна идеја симулације била је да се предвиде могућности начина изласка пројектила након опаљења односно прорачун средње вредности попречне компоненте брзине пројектила и средње вредности угаоне брзине пројектила око његовог центра масе. Сликровити приказ ових навода, према литератури [39], дат је на слици 9.27.



Слика 9.27: Приказ кретања и брзина пројектила у односу на цев

За сваку топовску цев извршене су симулације, где свака серија симулација представља промену облика осе цеви тенковског топа са прорачуном промене грешака, као последицом тих почетних услова.

На слици 9.28. приказане су грешке погодака за 400 симулација опаљења, према литератури [39]. Може се видети да највеће грешке постоје по висини, што је и очекивано, имајући у виду да су поремећаји облика цеви највећи управо у тој равни.



Слика 9.28: Грешке погодака за све облике савијености цеви

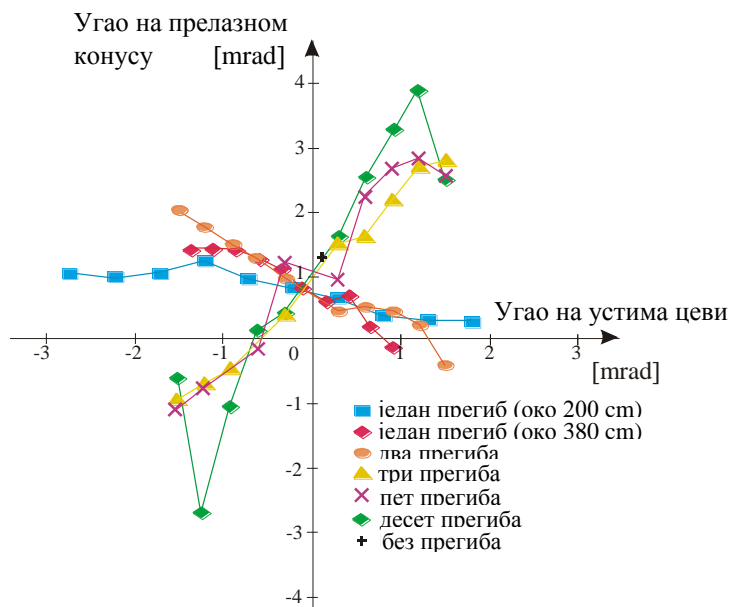
На слици 9.29. могу се видети грешке погодака у вертикалној равни у односу на величину разлике између угла пројектила на устима цеви и угла пројектила на прелазном конусу, за различите облике цеви. Такође, види се да грешка погодака опада са опадањем величине преггиба цеви.

На слици 9.30. могу се видети резултати симулације гађања из цеви са једним преггибом у односу на величину разлике између угла пројектила на устима цеви и угла пројектила на прелазном конусу.

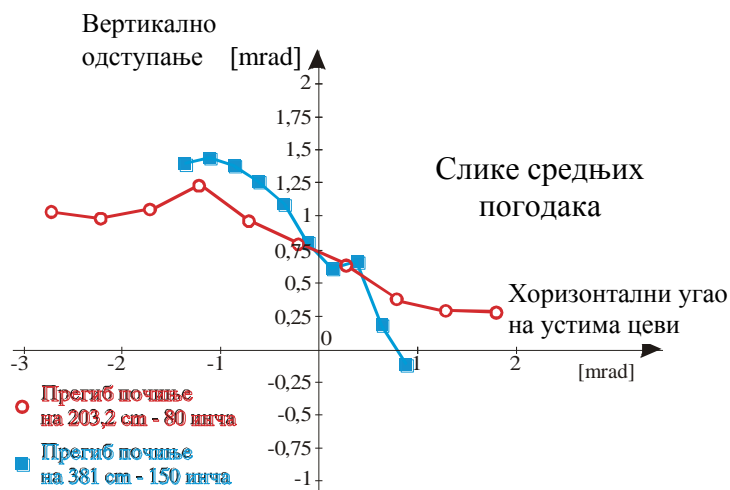
На сликама 9.30. и 9.31, према литератури [39], могу се видети грешке гађања у вертикалној равни, уз напомену да су цеви подељене у две групе: цеви чије савијање почиње на 80 инча (црвени кружићи - за које је опсег угла на устима цеви од 1,8 mrad до - 2,7 mrad), и цеви које почињу да се савијају на 150 инча (плави квадратићи - за које је опсег угла на устима цеви од 0,9 mrad до - 1,35 mrad).

Резултати показују да цеви са мањим углом на устима цеви, односно цеви чије савијање почиње ближе устима цеви изазивају велику променљивост током "скока" при опаљењу топа, иако је опсег угла на устима цеви мали. Ово се може приписати разликама у енергији саопштеној пројектилу у попречној равни, па ће цев са најмањим износима саопштене енергије показати најмању осетљивост при формирању слике погодака.

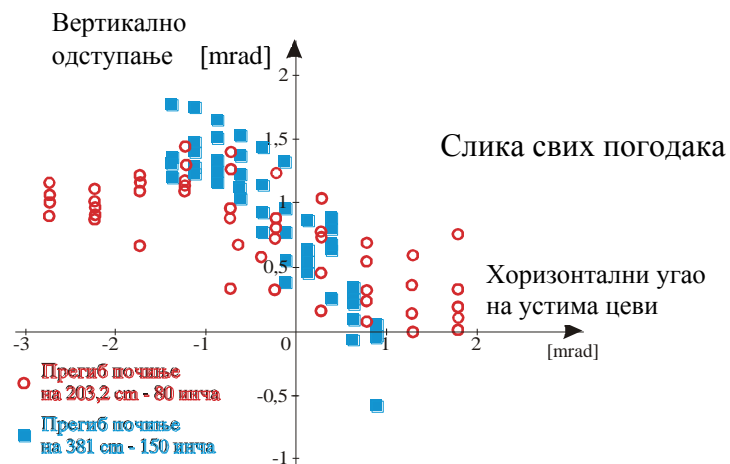
Након извршених испитивања реализацијом наведених симулација, могуће је закључити да ће оптимални облик тенковске цеви, са савршено правом осом, произвести најмању вероватноћу растурања погодака, што је и верификовано.



Слика 9.29: Грешка у вертикалној равни у односу на величину разлике између угла пројектила



Слика 9.30: Места погодака у односу на савијеност цеви са једним преггибом(за средње поготке)



Слика 9.31: Места погодака у односу на савијеност цеви са једним преггибом(за све поготке)

## СМАЊЕЊЕ РАСТУРАЊА ПОГОДАКА КОРИГОВАЊЕМ ЛЕТА ПРОЈЕКТИЛА

Један од начина класификације истраживања могућих "извора" растурања погодака при реализацији непосредног гађања је и подела на: унутрашње-балистичка истраживања, истраживања утицаја облика и деформације цеви на растурање погодака током опаљења и спољно-балистичка истраживања.

У литератури [40] реализује се спољно-балистичко испитивање и даје се предлог вршења корекције лета пројектила након опаљења, на путу од оруђа до циља.

Проучавање је генерално дефинисано као проблем понашања пројектила који се испалује након непосредног нишањења на циљ са било које борбене платформе. Притом се разматрају различити утицаји на понашање пројектила, као што су непрецизности израде тенковске цеви, барута или пројектила, атмосферски услови [41], кретање борбене платформе и грешке нишањења. Указује се на могућност знатног смањења растурања погодака уколико се пројектили опреме релативно јефтиним контролним системима. Предлаже се постављање таквог (контролабилног) механизма, ближе врху пројектила, чиме се може створити "паметни пројектил" који ће функционисати на принципу предвидиве контроле.

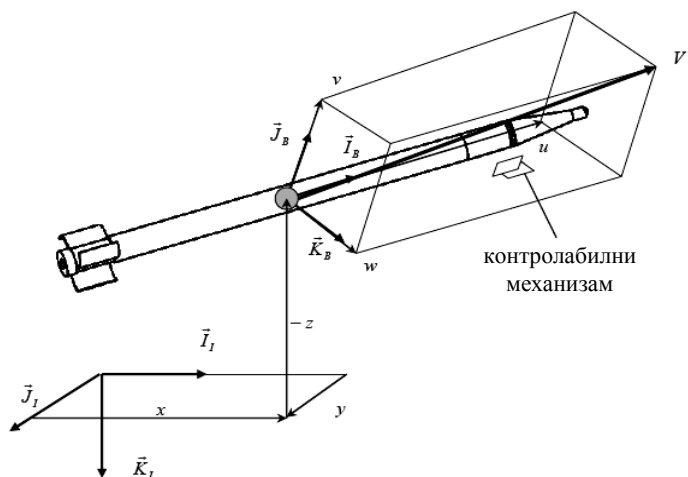
У наведеном моделу пројектује се стање у будућности, а потом се предвиђено стање користи ради прорачуна контролне акције која делује превентивно и на тај начин онемогућава долазак у раније предвиђено стање. Притом се користи стратегија континуалне контроле, читавом дужином трајекторије пројектила, односно за читаво време трајања лета пројектила.

Имајући у виду да се разматра општи случај директног гађања, који укључује раније наведене услове, усвојен је модел крутог тела са шест степени слободe кретања, који је под утицајем спољних сила и момената. Резултујуће диференцијалне једначине, уз усвајање извесних ограничења, представљају прецизан модел лета пројектила. У конкретном случају разматран је пројектил са четири закривљена стабилишућа крилца, која обезбеђују ротирање око уздужне осе пројектила и стварање жirosкопског ефекта током лета ка циљу [42].

Тренутне и будуће контролне акције одређене су на основу минимизовања естимоване грешке будућег стања.

Након реализованог истраживања показано је да се прецизност гађања може знатно увећати применом описаног контролабилног механизма.

На слици 9.33. може се видети приказ кругова са 50% погодака када нису примењене методе контроле лета пројектила.

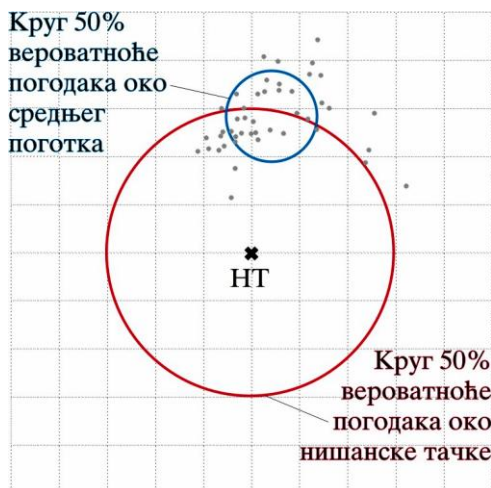


Слика 9.32: Пројектил са корекцијом лета

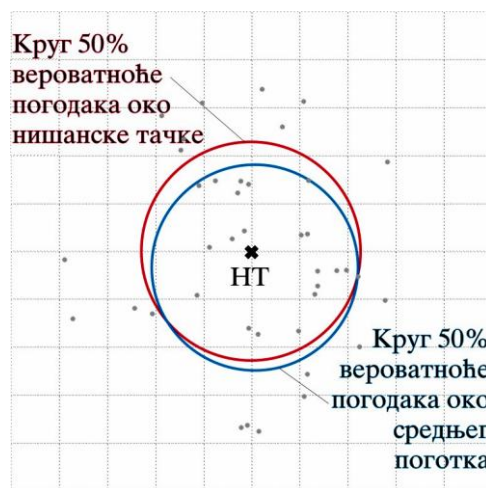


Видљиво је да је круг са 50% погодака око средњег поготка далеко мањег пречника у односу на круг са 50% погодака чији се центар поклапа са позицијом циља.

Након примене контролабилног механизма долази до значајне промене. На слици 9.34. приказани су исти кругови као и на слици 9.33, с тим да је очито да је дошло до приближавања њихових центара, а тиме и до повећања прецизности и смањења растурања погодака.



Слика 9.33: Кругови са 50% погодака без примене контроле лета пројектила



Слика 9.34: Кругови са 50% погодака уз примену контроле лета пројектила

Важно је напоменути да предвиђање будућег стања код примене описаног контролабилног механизма зависи од квалитета обезбеђене повратне спреге, те је стога осетљивост сензора озбиљан лимитирајући фактор примене ове методе. Наиме, квалитетни сензори који могу обезбедити добру повратну спрегу, а тиме и успешно предвиђање будућих стања и компензацију нежељеног понашања, нису јефтине и тиме се поскупљује израда и примена оваквог начина контроле лета пројектила.

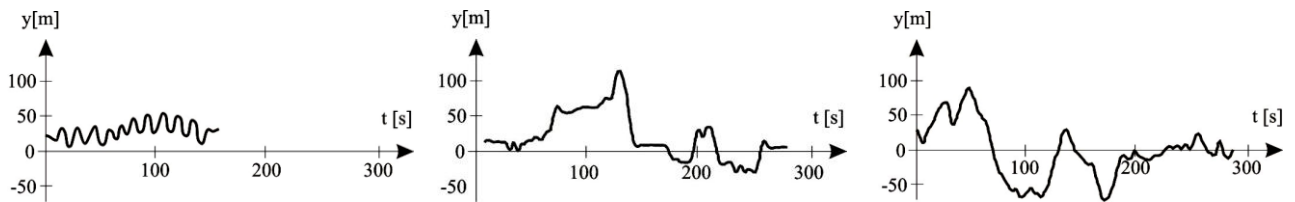
## УТИЦАЈ ПОЧЕТНЕ БРЗИНЕ ПРОЈЕКТИЛА НА РАСТУРАЊЕ ПОГОДАКА

Вероватноћа погађања циља непосредном тенковском ватром представља један од најважнијих аспеката разматрања ефикасности борбене употребе тенкова.

У литератури [43] извршена је анализа утицаја повећања почетне брзине пројектила тенковског топа на вероватноћу погађања циља.

Извршена истраживања заснована су на прорачуну вероватноће поготка стационарних и покретних циљева. Један од резултата истраживања је да повећање почетне брзине пројектила готово и да нема утицаја на повећање вероватноће погађања. Међутим, ситуације је другачија када се ради о покретним циљевима.

Разматран је прорачун вероватноће погађања три врсте покретних циљева, чије понашање је представљено облицима кретања који су, према [43], дати на слици 9.35, а чији су називи, редом, с лева на десно: *STAGS* (*Simulated Tank Anti-armor Gunnery System*), *ATMT* (*Anti Tank Missile Test*) и *TEMAWS* (*Tactical Effectiveness of Minefields in Anti-armor Weapons Systems*).



Слика 9.35: STAGS, ATMT и TEMAWS типови случајног кретања

Сваки од наведених облика случајног кретања представљен је редом, слева надесно, у координатном систему са апсцисом у секундама и ординатом у метрима.

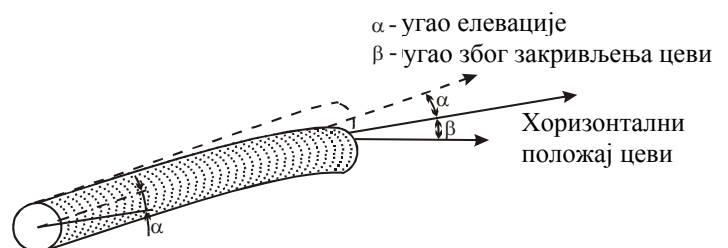
Након испитивања закључено је следеће:

- Двоструко већа почетна брзина поткалибарног пројектила на непокретан циљ није довела до повећања вероватноће поготка.
- Двоструко већа почетна брзина кумулативног пројектила довела је до повећања вероватноће поготка на непокретни циљ на даљини од три километра за 13%, а чак за 30% при гађању непокретног циља на четири километра.
- Двоструко већа почетна брзина поткалибарног пројектила изазвала је 30 до 35% повећања вероватноће поготка при гађању покретног циља на даљини од једног километра, односно 55 до 60% при гађању покретног циља на два километра.
- Слични резултати при двоструко већим почетним брзинама постигнути су и са кумулативним пројектиlima.

## НЕПРЕЦИЗНОСТ ГАЂАЊА И САВИЈЕНОСТ ЦЕВИ ТЕНКОВСКОГ ТОПА УСЛЕД ДЕЈСТВА ГРАВИТАЦИЈЕ

Иако се у великој већини проучавања претпоставља савршено крута цев тенковског топа, то, ипак, није случај. Међутим, наведена генерализација је, и поред тога, потпуно оправдана и утемељена.

Бавећи се овим проблемом код тенка М1А1, у литератури [44] аутор показује да се, приликом заузимања угла елевације ( $\alpha$ ) тенковским топом у вертикалној равни навођења, претпоставља да ће угао на устима цеви ( $\theta$ ) имати исту вредност. Међутим, том приликом, услед гравитационог дејства на масивну цев тенковског топа, долази до стварања додатног угла закривљења. Ова појава доводи до стварања додатног угла на устима цеви, који се може обележити са  $\beta(\alpha)$ . У том случају, укупан угао на устима цеви,  $\theta(\alpha)$ , биће изражен кроз једначину:  $\theta(\alpha) = \theta(\alpha=0) + \alpha + \beta(\alpha)$ , што је приказано и на слици 9.36.



Слика 9.36: Закривљење цеви услед дејства гравитације

Додатни угао  $\beta$  је релативно мали, па је однос  $\frac{\beta(\alpha)}{\alpha}$  реда величине  $10^{-5}$ .

Осим тога, током разматрања је показано да се угао на устима цеви, када је тенковска цев у хоризонталном положају, може представити следећом формулом:  $\theta(\alpha) = -C|g|$ .

Овде је  $C$  константа која зависи од геометрије тенковске цеви, особина материјала и положаја тачака ослоњања цеви. Показано је да при температури од  $21^\circ\text{C}$  важи да је:  $\theta(\alpha = 0) = -0,82 \text{ hilj}$ , одакле се може израчунати вредност константе која износи:

$$C = 0,084 \left[ \frac{\text{hilj} \cdot \text{s}^2}{\text{m}} \right].$$

Коначно, након свих разматрања, закључено је да је при угловима елевације или депресије мањим од  $5^\circ$  корекција угла на устима цеви практично занемарљива (мања од 0,003 хиљадита).

С друге стране, уколико је угао елевације или депресије већи од  $15^\circ$ , промена угла цеви на устима цеви може бити и скоро десет пута већа, и може достићи вредности од 0,028 хиљадитих. Наведену промену је могуће компензовати раније назначеном корекцијом - додавањем  $\beta = 0,82 \text{ hilj}$  на угао елевације  $\alpha$ .

Ситуација у којој се тенковски топ налази при овако великим угловима елевације или депресије могућа је током оперативне употребе тенкова на брдовитом терену, затим коришћењем тенкова за гађање специфичних циљева у урбаним градским условима или за гађање нисколетећих односно "нисколебдећих" хеликоптера.

**ПРИЛОГ 11 - Израчунавање коефицијената ускладника  $K_{IDP}$  и  $K_{TG}$  према пару коњуговано-комплексних полова**

$$K_{IDP}s^2 + K_{TG}s + 1 = 0$$

$$s_{1,2} = \frac{-K_{TG} \pm \sqrt{K_{TG}^2 - 4K_{IDP}}}{2K_{IDP}}$$

$$s_{1,2} = \frac{-K_{TG}}{2K_{IDP}} \pm \frac{\sqrt{K_{TG}^2 - 4K_{IDP}}}{2K_{IDP}}$$

Изједначавањем реалног и имагинарног дела решења:  $s_{1,2} = -1,9403 \pm 16,9794 \cdot i$ , добија се:

$$\frac{-K_{TG}}{2K_{IDP}} = -1,9403$$

$$K_{TG} = 3,8806 \cdot K_{IDP}$$

$$K_{TG}^2 = 15,059 \cdot K_{IDP}^2$$

$$\frac{\sqrt{K_{TG}^2 - 4K_{IDP}}}{2K_{IDP}} = 16,9794$$

$$K_{TG}^2 - 4K_{IDP} = 4 \cdot 288,3 \cdot K_{IDP}^2 \quad (*)$$

$$K_{TG}^2 - 4K_{IDP} = 1153,2 \cdot K_{IDP}^2$$

Заменом горњег израза за  $K_{TG}^2$  у једначини (\*) горе десно добија се:

$$15,059K_{IDP}^2 - 4K_{IDP} = 1153,2K_{IDP}^2$$

$$-1138,141K_{IDP}^2 + 4K_{IDP} = 0$$

$$K_{IDP} = 0,0035$$

Заменом израчунате вредности за  $K_{IDP}$  добија се вредност  $K_{TG}$ :

$$K_{TG} = 0,0136$$

**ПРИЛОГ 12 - Одзив мултиваријабилног модела система**

Програмски модел за цртање графика на слици 5.24.

```
%-----  
% PROGRAM ZA CRTANJE ODZIVA MULTIVARIJABILNOG MODELA SISTEMA  
% ZA RAZLICITE KOMBINACIJE REFERENTNIH ULAZNIH VELICINA  
%-----  
%  
p1=1;  
p2=1;  
A(1,1)=-12.8;  
A(1,2)=1;  
A(2,1)=-285.7143;  
A(2,3)=285.7143;  
A(3,4)=35.697*p2;  
A(4,4)=-204.33;  
A(4,5)=1;  
A(5,1)=-380.1958*p1;  
A(5,2)=-6.2605*p1;  
A(5,5)=-16.33;  
B(5,1)=460.33*p1;  
B(5,2)=460.33*p1;  
C(1,1)=1;  
C(2,1)=-12.8;  
C(2,2)=1;  
C(2,5)=0;  
D(2,2)=0;  
  
subplot(221),step(A,B,C(1,:),D(1,:),1);  
title('Ugao obrtanja u odnosu na step ulaz1');  
xlabel('Vreme ( s )');  
ylabel('Amplituda ( rad )');  
  
subplot(222),step(A,B,C(2,:),D(2,:),1);  
title('Brzina obrtanja u odnosu na step ulaz1');  
xlabel('Vreme ( s )');  
ylabel('Amplituda ( rad/s )');  
  
subplot(223),step(A,B,C(1,:),D(1,:),2);  
title('Ugao obrtanja u odnosu na step ulaz2');  
xlabel('Vreme ( s )');  
ylabel('Amplituda ( rad )');  
xlabel('Vreme ( s )');  
  
subplot(224),step(A,B,C(2,:),D(2,:),2);  
title('Brzina obrtanja u odnosu na step ulaz2');  
xlabel('Vreme ( s )');  
ylabel('Amplituda ( rad/s )');  
  
end
```

## ПРИЛОГ 13 - Одређивање вредности коефицијената матрице обсервера пуног реда

Програмски модел за график на слици 5.26

```

echo off
% -----
% PROGRAM "REKON.M" ZA DODELJIVANJE VREDNOSTI
% KOEFICIJENTIMA MATRICA OBSERVERA PUNOG REDA
% -----

% Zadavanje vrednosti matricama A,B,C i D
% posmatranog sistema

A(1,1)=-12.8;
A(1,2)=1;
A(2,1)=-285.7143;
A(2,3)=285.7143;
A(3,4)=35.697;
A(4,4)=-204.33;
A(4,5)=1;
A(5,1)=-380.1958;
A(5,2)=-6.2605;
A(5,5)=-16.33;

B(5,1)=460.33;
B(5,2)=460.33;

C(1,1)=1;
C(2,1)=-12.8;
C(2,2)=1;
C(2,5)=0;

D(2,2)=0;

% Zadavanje početnih vrednosti koeficijentima
% matrice GC i EC
% ( Vrste u matrici EC jesu [e1;e2;e1;e2;e2],
%  gde su e1=[1 0] i e2=[0 1] )

GC(5,5)=0;
EC=[1 0;0 1;1 0;0 1;0 1];

% Odredjivanje matrice FI1(lambda)=lambda*I-A
% ( lambda se prethodno zadaje u komandnom
%  prozoru MATLAB-a, u obliku vektora
%  lambda(i), za i=1 do i=5 )

for i=1:5

FI1(1,1)=lambda(i)+12.8;
FI1(1,2)=-1;
FI1(2,1)=285.7143;
FI1(2,2)=lambda(i);

```

---

```
FI1(2,3)=-285.7143;
FI1(3,3)=lambda(i);
FI1(3,4)=-35.697;
FI1(4,4)=lambda(i)+204.33;
FI1(4,5)=-1;
FI1(5,1)=380.1958;
FI1(5,2)=6.2605;
FI1(5,5)=lambda(i)+16.33;

% Odredjivanje matrice FI(lambda), kao
% inverzne matrice matrici FI1(lambda)
FI=inv(FI1);

% Odredjivanje matrice F(lambda), kao
% proizvoda matrica: C*FI(lambda)
F=C*FI;

% Dodeljivanje vrednosti koeficijentima
% po vrstama u matrici GC
if i==1
GC(i,:)=F(1,:);
end
    if i==2
    GC(i,:)=F(2,:);
    end
        if i==3
        GC(i,:)=F(1,:);
        end
            if i==4
            GC(i,:)=F(2,:);
            end
                if i==5
                GC(i,:)=F(2,:);
                end
                    end
                        end

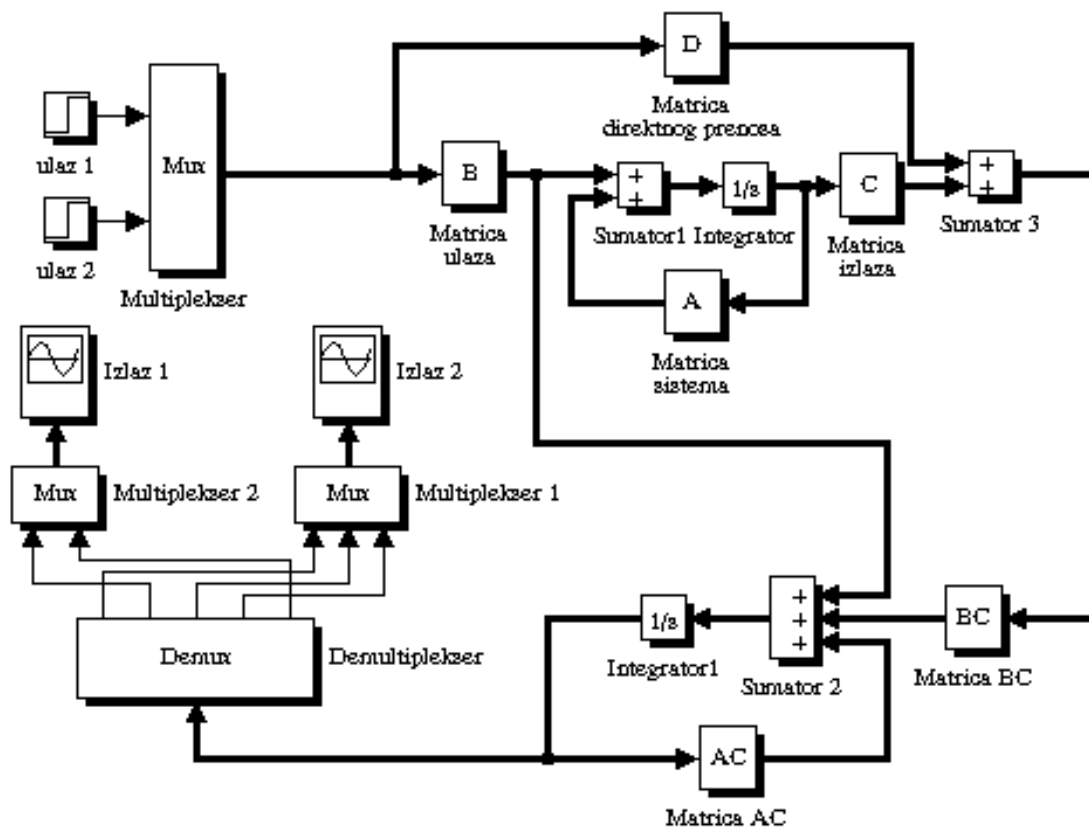
% Proračun matrica AC i BC observera

BC=-inv(GC)*EC;
AC=A-BC*C;

AC, BC

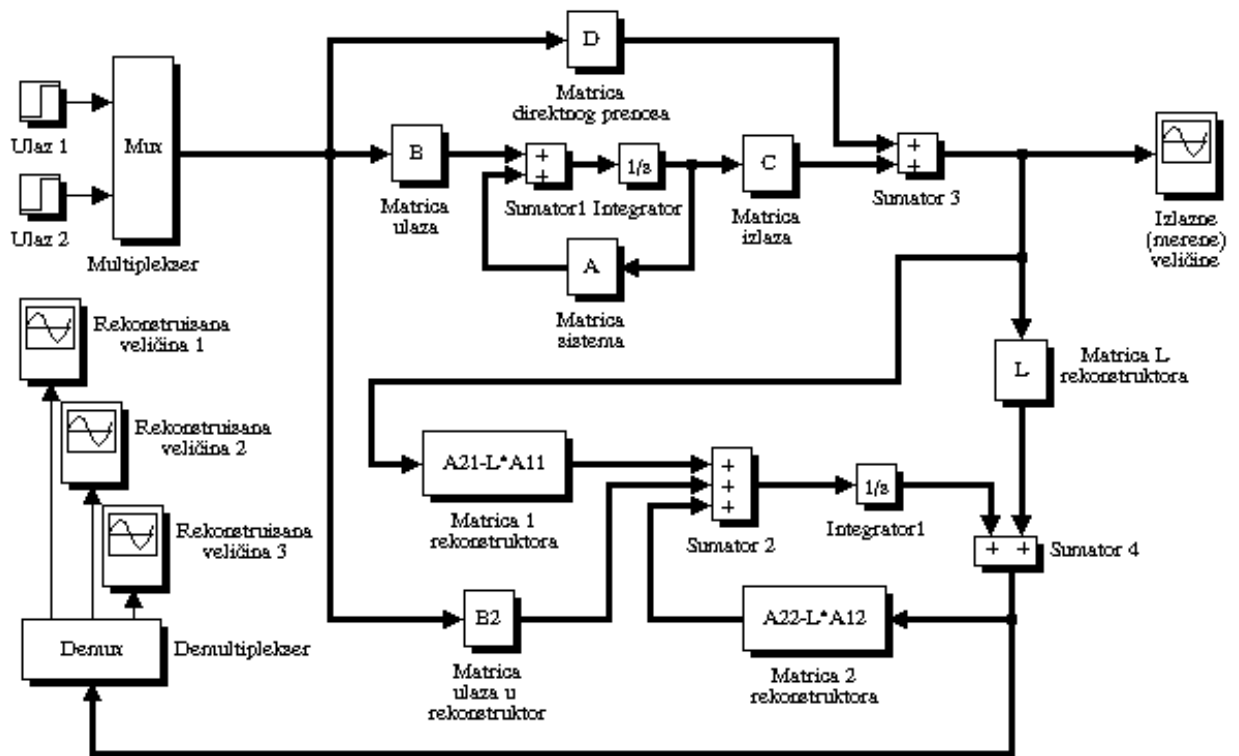
end
```

**ПРИЛОГ 14 - Симулациони модел обсервера пуног реда**





**ПРИЛОГ 15 - Симулациони модел обсервера редукованог реда**



---

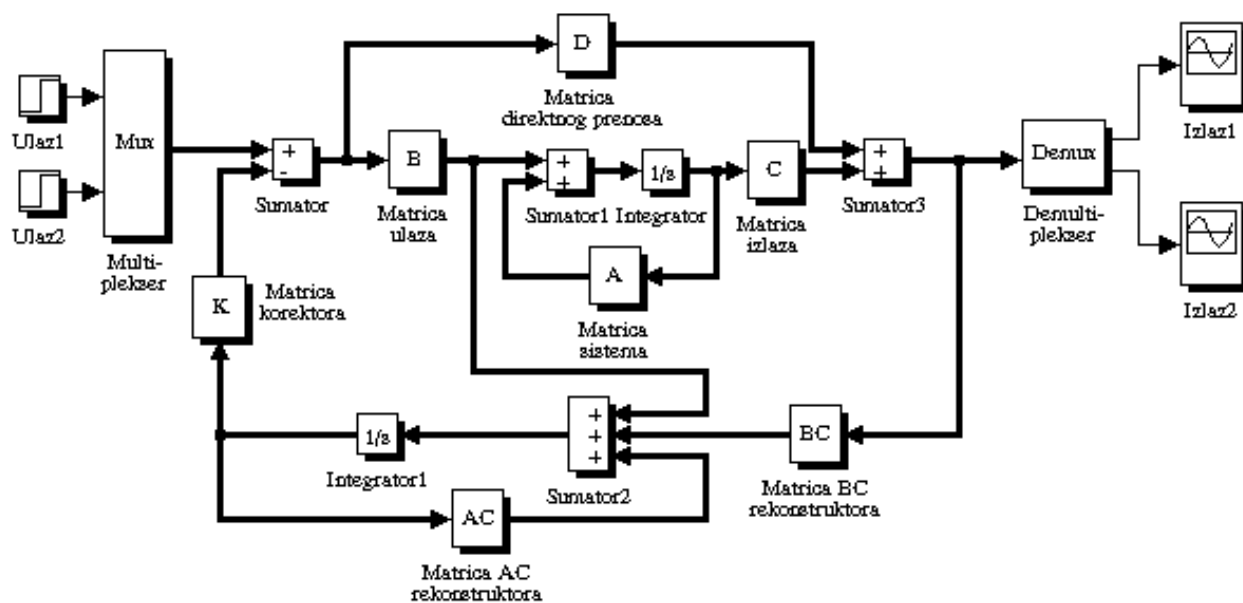
**ПРИЛОГ 16 - Одређивање вредности коефицијената матрице  
обсервера редукованог реда**

```
%
% -----
% PROGRAM "RDKV_MAT.M" ZA DODELJIVANJE VREDNOSTI MATRICAMA
% REALIZACIJE OBSERVERA REDUKOVANOG REDA
% -----
%
echo off
A(1,1)=-12.8;
A(1,2)=1;
A(2,1)=-285.7143;
A(2,3)=285.7143;
A(3,4)=35.697;
A(4,4)=-204.33;
A(4,5)=1;
A(5,1)=-380.1958;
A(5,2)=-6.2605;
A(5,5)=-16.33;
%
B(5,1)=460.33;
B(5,2)=460.33;
%
C(1,1)=1;
C(2,1)=-12.8;
C(2,2)=1;
C(2,5)=0;
%
D(2,2)=0;
%
A11(1,1)=-12.8;
A11(1,2)=1;
A11(2,1)=-285.7143;
%
A12(2,1)=285.7143;
A12(2,3)=0;
%
A21(3,1)=-380.1958;
A21(3,2)=-6.2605;
%
A22(1,2)=35.697;
A22(2,2)=-204.33;
A22(2,3)=1;
A22(3,3)=-16.33;
%
B1(2,2)=0;
%
B2(3,1)=460.33;
B2(3,2)=460.33;
echo on
A,B,C,D,A11,A12,A21,A22,B1,B2
end
```

## ПРИЛОГ 17 - Програм за пројектовање оптималног система

```
echo on
% -----
% PROGRAM "OPT_SIST.M" ZA PROJEKTOVANJE OPTIMALNOG SISTEMA
% SA KOREKTOROM NA BAZI OBSERVERA PUNOG REDA
% -----
echo off
q=1;
r=1000000;
lambda=[-220 -10-5i -10+5i -15-2i -15+2i];
rekon;
Q=q*eye(5);
R=r*eye(2);
[K,P,e]=lqr(A,B,Q,R)
end
```

**ПРИЛОГ 18 - Симулациони модел оптималног система на бази  
обсервера пуног реда**



## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Регодић Душан, Спољна балистика, Министарство одбране Р. Србије, Сектор за људске ресурсе, Управа за школство, Војна академија, 2006. године.*
- [2] *Спасов Аксентије, Крстић Милош, Непосредно гађање артиљеријским оруђима, Савезни секретаријат за народну одбрану, Генералштаб ЈНА, Београд, 1975. године.*
- [3] *Ash Eric, Precision Doctrine, Aerospace Power Journal 15, No. 1: 3-4, 2001.*
- [4] *Pejsa A. J, Modern Practical Ballistics - 2<sup>nd</sup> Edition, Kenwood Publishing, Minneapolis, MN, 1991.*
- [5] *Теорија гађања, Савезни секретаријат за народну одбрану, Војноиздавачки завод, Београд, 1979. године.*
- [6] *Costello M, Anderson D, Effects of Internal Mass Unbalance on the Terminal Accuracy and Stability of a Projectile, Proceedings of the 1996 AIAA Flight Mechanics Conference, San Diego, CA, 1996.*
- [7] *McCoy R. L, The Effects of Wind on Flat-Fire Trajectories, Report No. 1900, US Army Ballistics Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD, August, 1976.*
- [8] *Петковић Драган, Систем за управљање ватром М84, Министарство одбране Р. Србије, Сектор за људске ресурсе, Управа за школство, Средња стручна војна школа, 2005. године.*
- [9] *Петковић Драган, Аутомат за пуњење тенковског топа М84, Министарство одбране Р. Србије, Сектор за људске ресурсе, Управа за школство, Средња стручна војна школа, 2005. године.*
- [10] *Регодић Душан, Јерковић Дамир, Практикум из спољне балистике, Војноиздавачки завод, Београд, 2007. године.*
- [11] *Таблице гађања за тенковски топ 125 mm D-81 (2А46), тенковски митраљез 7,62 mm РКТ (М86) и уметнуту цев 12,7 mm, Управа ОМЈ, Сектор за КоВ, Генералштаб Војске Србије, Београд, 1998. године.*
- [12] *Савић Сима, Теорија гађања наоружањем оклопних борбених возила, Центар војних школа Војске Југославије, Војнотехничка академија, Београд, 1996. године.*
- [13] *Драгојевић Милорад, Борбена возила, Војноиздавачки завод, Београд, 1990. године.*
- [14] *Регодић Душан, Збирка задатака из спољне балистике, Генералштаб Војске Србије и Црне Горе, Управа за школство и обуку, Војна академија, Београд, 2003. године.*
- [15] *Протоколи испитивања гађањем, Генералштаб Војске Србије, Команда КоВ, Технички опитни центар, Београд.*

- [16] Слободан Мандић, Срђан Стојковић, **Аеродинамичко и спољнобалистичко моделирање поткалибарног пројектила 125 mm**, Управа за одбрамбене технологије Сектора за материјалне ресурсе, Војнотехнички институт, Београд, 2011. године.
- [17] Регодић Душан, **Предавања из спољне балистике и механике лета**, Војна академија и Војнотехничка академија, Београд, 1986-2002.
- [18] **Тенк М84 (ТУ I/2), Опис, руковање, основно и техничко одржавање**, Савезни секретаријат за народну одбрану, Техничка управа, Београд, 1988. године.
- [19] Милиновић Момчило, **Принципи и динамика система управљања ватром**, Машински факултет, Београд, 2011.
- [20] McCoy R. L, **Modern Exterior Ballistics, The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles**, 1999.
- [21] **Анализа могућности побољшања СУВ-а уграђеног у тенк**, Управа за одбрамбене технологије Сектора за материјалне ресурсе, Војнотехнички институт, Београд, 2011. године.
- [22] **Извештај и анализа са упоредних испитивања**, Управа за одбрамбене технологије Сектора за материјалне ресурсе, Војнотехнички институт, Београд.
- [23] **Конструктивна и ремонтна документација СУВ М84, "Прва петолетка" Трстеник**, Технички ремонтни завод Чачак.
- [24] Рагуџ Мато, **Основно и техничко одржавање СУВ М84А**, Центар војнотехничких школа КоВ ЈНА, Загреб, 1990. године.
- [25] Грујић Живојин, **Хидраулички сервосистеми**, Центар војнотехничких школа КоВ ЈНА, Загреб, 1989. године.
- [26] Цинер Паја, Абдули Рамиз, **Електрохидраулички сервосистеми**, Центар војнотехничких школа КоВ ЈНА, Загреб, 1987. године.
- [27] Властимир Николић, Жарко Ђојбашић, Јелена Пајовић: **Аутоматско управљање - анализа система**, Машински факултет, Ниш, 1996.
- [28] Баласан Л, Петковска М, **MATLAB**, Микро књига, Београд, 1996.
- [29] Стојић Милић: **Континуални системи аутоматског управљања**, Грађевинска књига, Београд, 1973.
- [30] David G. Luenberger: **An Introduction to Observers**, IEEE Transactions On Automatic Control, Vol. AC-16, No. 6, December 1971.
- [31] Јанковић С, **Аеродинамика пројектила**, Машински факултет Универзитета у Београду, 1978.

- [32] *Регодић Душан, Аеродинамика ротационог тела, Центар високих војних школа, Београд, 1994.*
- [33] *Краснов Н. Ф, Aerodynamics 1, 2, Mir Publishers Moscow, 1985.*
- [34] *Јанковић С, Cad of the Unguided missiles, 11<sup>th</sup> International Symposium on Ballistics, Brussels, 1989.*
- [35] *Лебедев А. А, Чернобровкин Л.С, Динамика полета, Машиностроение, 1973.*
- [36] *Стојановић Д, Microsoft VISUAL STUDIO 6.0, Logos Art, Београд, 2006.*
- [37] *Raul Toral, Amitabha Chakrabarti: Generation of Gaussian Distributed Random Numbers by Using a Numerical Inversion Method, Computer Physics Communications, No. 74, 1993.*
- [38] **Извештаји са гађања, Управа за одбрамбене технологије Сектора за материјалне ресурсе, Војнотехнички институт, Београд, 2005. године.**
- [39] *James F. Newill, James M. Garner and Mark L. Bundy, Methodology for Determining Optimal Tank Cannon Barrel Centerline Shape, Weapons and Materials Research Directorate, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, September 2002.*
- [40] *Douglas Ollerenshaw, Mark Costello, Model of Predictive Control of a Direct-Fire Projectile Equipped With Canards, The Department of Mechanical Engineering, Oregon State University, Corvallis, OR 97331, 2005.*
- [41] *Etkin B, Dynamics of Atmospheric Flight, New York, 1972.*
- [42] *Guidos B, Cooper G, Closed Form Solution of Finned Projectile Motion Subjected to a Simple In-Flight Lateral Impulse, 38<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, 2000, Paper No. AIAA-2000-0767,*
- [43] *Fred Bunn, Hit Probability of a High Velocity Tank Round, U.S. Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD 21005-5066, 1993.*
- [44] *Mark L. Bundy, Variation in Gravity Droop Due to Gun Elevation: A Small but Predictable Source of Aiming Inaccuracy, U.S. Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD 21005-5066, 1994.*