

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу**

**Војна академија Универзитета одбране у Београду**



**Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство**

**Ниво студија: Основне академске студије**

**Модул: Наоружање**

**Предмет: Конструкција аутоматског наоружања**

**Број индекса: 523/2012**

**Никола М. Радовановић**

**Анализа конструкционих параметара  
оружја на бази позајмице барутних  
гасова  
дипломски рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

1. Доц. др Александар Кари дипл. инж. - ментор
2. Проф. др Богдан Недић - председник
3. др Дамир Јерковић дипл. инж - члан

**Датум  
одбране:** \_\_\_\_\_

**Оцена:** \_\_\_\_\_

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да

1. Опише позајмицу барутних гасова (врсте и карактеристике позајмице).
2. Прикаже УБ прорачун за изабрани тип оружја (АП 5,56mm M21).
3. Дефинише математички модел (Мамонтов и Бравин) и утврди кључне параметре за оружје на бази позајмице барутних гасова.
4. Изради алгоритам и формира симулације у програмском пакету Матлаб.
5. Варира одабране параметре у симулацији и анализира резултате.

Препоручена литература:

др Маринко Петровић: Механика аутоматског оружја, Медија центар „Одбрана“, Београд 2009.

Зоран Ристић: Конструкција аутоматског наоружања, (писани материјал), Крагујевац, 2014.

др Милоје Цветковић: Унутрашња балистика, Војноиздавачки завод, Београд, 1998.

Крагујевац, септембар 2016.

Ментор:  
Доц. др Александар Кари дипл. инж.

---

# Садржај

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РЕЗИМЕ.....                                                                                                                        | 4  |
| 1. УВОД.....                                                                                                                       | 5  |
| 2. ОРУЖЈЕ НА ПРИНЦИПУ ПОЗАЈМИЦЕ .....                                                                                              | 6  |
| 2.1. Општа анализа .....                                                                                                           | 6  |
| 2.2. Врсте система.....                                                                                                            | 7  |
| 2.2.1. Позајмица преко уређаја на устима цеви.....                                                                                 | 7  |
| 2.2.2. Позајмица преко дна чауре .....                                                                                             | 7  |
| 2.2.3. Позајмица преко отвора на зиду цеви .....                                                                                   | 8  |
| 2.2.3.1. Позајмица барутних гасова са клипом .....                                                                                 | 8  |
| 2.2.3.2. Позајмица барутних гасова без клипа .....                                                                                 | 10 |
| 2.3. Типови позајмице.....                                                                                                         | 11 |
| 3. ПРОРАЧУН УНУТРАШЊЕ БАЛИСТИКЕ.....                                                                                               | 17 |
| 3.1. Опис полазних података УБ прорачуна .....                                                                                     | 17 |
| 4. ТЕОРЕТСКЕ МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА ПРИТИСАКА БАРУТНИХ ГАСОВА У<br>УРЕЂАЈИМА ЗА ПОЗАЈМИЦУ .....                                         | 20 |
| 4.1. Позајмица са експанзионом комором без прекида.....                                                                            | 20 |
| 4.2. Приближни прорачун процеса у бочном уређају за позајмицу<br>статичког типа по методи проф. Мамонтова .....                    | 21 |
| 4.3. Прорачун карактеристика уређаја за позајмицу гасова и кретања<br>основног склопа аутоматике по методи проф. Бравина Е.Л. .... | 27 |
| 5. ИЗРАДА АЛГОРИТМА И ФОРМИРАЊЕ СИМУЛАЦИЈЕ У<br>ПРОГРАМСКОМ ПАКЕТУ МАТЛАБ .....                                                    | 30 |
| 6. ВАРИРАЊЕ ОДАБРАНИХ ПАРАМЕТАРА У СИМУЛАЦИЈИ И АНАЛИЗА<br>РЕЗУЛТАТА.....                                                          | 33 |
| 6.1. Промена позиције отвора за позајмицу .....                                                                                    | 34 |
| 6.2. Промена вредности пречника отвора барутних гасова.....                                                                        | 38 |
| 6.3. Промена вредности пречника клипа.....                                                                                         | 43 |
| 6.4. Промена вредности запремине коморе за позајмицу.....                                                                          | 47 |
| 6.5. Компарација и анализа добијених резултата .....                                                                               | 52 |
| 7. ЗАКЉУЧАК.....                                                                                                                   | 54 |
| ЛИТЕРАТУРА.....                                                                                                                    | 56 |
| ПРИЛОЗИ .....                                                                                                                      | 57 |

## Summary

This thesis contains an analysis of structural parameters of gas operated weapons, specifically automatic rifle 5.56mm M21. It was made the description of a gas operation, interior ballistics data for closed barrel M21 automatic rifle. It is defined mathematical analysis of Mamontov and Bravin. The algorithm was made and simulation formed in Matlab software package. In addition were done varying the selected parameters in the simulation and analysis of results.

**Keywords:** gas operation, IB analysis, mathematical model, pressure, gunpowder gases, chamber, simulation, bolt

## Резиме

Дипломски рад садржи анализу конструкционих параметара оружја на бази позајмице барутних гасова, конкретно аутоматске пушке 5,56mm M21. Урађен је опис позајмице барутних гасова, УБ прорачун за затворену цев аутоматске пушке M21. Дефинисан је математички модел по Мамонтову и Бравину. Израђен је алгоритам и формирана симулација у програмску пакету Матлаб. Поред тога одрађено је варирање одабраних параметара у симулацији и анализа резултата.

**Кључне речи:** позајмица барутних гасова, УБ прорачун, математички модел, притисак, барутни гасови, комора за позајмицу, симулација, затварач

# 1. Увод

Аутоматско оружје на принципу позајмице барутних гасова (термин позајмица барутних гасова или једноставно позајмица уобичајено се користи уместо термина одвођење барутних гасова) је оно оружје код кога затварач и његови покретни делови раде помоћу механизма који покрећу барутни гасови. Осим за компоненте са спољашњим покретањем, сва радна енергија за ово аутоматско оружје се добија од барутних гасова. Принцип позајмице данас је најпримењиванији принцип рада аутоматског оружја [1].

Аутоматска пушка М21 у НАТО калибру 5,56 x 45mm, функционише на принципу позајмице барутних гасова. Конструисана је на калашњиков принципу, а систем брављења је ротирајући затварач. Намењена је за уништавање незаштићених и балистичким прслуком заштићене живе силе на даљинама до 500 метара. Пушка М21 је предвиђена да замени М70 која је стандардна аутоматска пушка Војске Србије. М21 функционише у најтежим условима. Има уграђену „Пикатини“ шину, која омогућује постављање оптичко-електронских уређаја. Рађена је по угледу на М70 и М80. Уграђен је обострани регулатор палбе, оптички и ноћни нишан, ласерски обележивач циља у видљивом и невидљивом спектру. Такође, омогућена је уградња подцевног бацача граната БГП-40. Поред класичног регулатора палбе, који се налази са десне стране пушке, постављен је још један са леве стране пиштољског рукохвата, а међусобно су повезани. Кундак је преклопан. Предњи поткундак је направљен од полимера са вертикалним ребрима. Пиштољски рукохват је такође израђен од полимера. Цев код заставине јуришне пушке калибра 5,56mm се производи у две варијанте, класично ожљебљена цев која носи ознаку М21 и полигонална цев М21Б. Цев је тврдо хромирана што обезбеђује дужи век цеви [2].



Слика 1.1 АП 5,56mm М21 [2]

## 2.0 Оружје на принципу позајмице

### 2.1 Општа анализа

Оружје са позајмицом је оно које одводи један део барутних гасова кроз отвор на зиду цеви оружја пошто пројектил прође тај отвор. Ово оружје користи енергију позајмљених гасова за остваривање кретања основног склопа, преко кога се покрећу сви остали делови оружја, чиме се уједно врши акумулација енергије у опругама за повратно кретање основног склопа. Време и притисак се регулишу лоцирањем отвора за позајмицу дуж цеви и отворима који ограничавају проток гасова. Чим пројектил прође отвор за позајмицу, барутни гасови истичу у гасну комору и делују притиском на клип. У том тренутку клип не мора да је у стању кретања. Кретање одлаже брава затварача која се не ослобађа док притисак у лежишту не опадне до безбедног нивоа за извлачење чауре.

У оружју са системом одвођења барутних гасова, при опаљењу метка, када зрно прође преко отвора за одвођење гасова, барутни гасови улазе у комору повратника и под дејством притиска потискује клип повратника уназад који при овом одбављује затварач и предаје му потребну кинетичку енергију за кретање уназад, и извлачење и избацивање чаура, сабијање повратне опруге и покретање механизма за храњење (код оружја са храњењем помоћу реденика).

Под дејством силе сабијања повратне опруге, затварач се враћа из задњег у предњи положај и при овом уноси метак из оквира реденика у лежиште метка, забрављује затварач и врши опаљење метка.

Предности система на бази одвођења барутних гасова су: добро забрављивање, велика брзина гађања, примена за све калибре, непокретна цев, затварач мале масе. И поред оволико предности и ови системи имају недостатке које се огледају у следећем: сложенија конструкција због неопходности постојања гасних дизни и цилиндара, затварач најчешће састављен из више делова или сложеније геометрије, покретни делови нагло трзају уназад, а код калибара преко 12,7 mm због великог трзаја оруђа док је затварач забрављен мора постојати хидроеластична веза између аутомата и лафета [1],[3],[4].

## 2.2 Врсте система

При развоју аутоматског оружја појавило се више варијанти у основним системима, који се међусобно разликују у начину искоришћења енергије барутних гасова. Постоје следеће врсте позајмице барутних гасова:

- Преко уређаја на устима цеви
- Преко дна чауре
- Преко отвора на зиду цеви
  - Са клипом
  - Без клипа

### 2.2.1 Позајмица преко уређаја на устима цеви

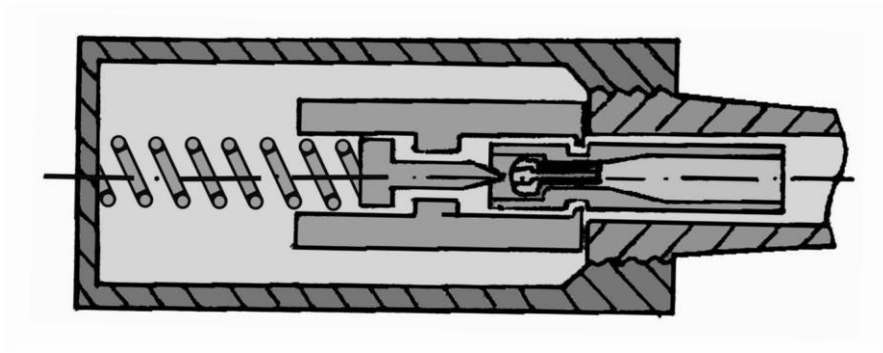
Како је притисак на устима цеви након излетања пројектила знатно мањи од максималног, овај принцип рада давао је слаб импулс, те осим наведеног примера није више био примењиван у пракси [3].



*Слика 2.2.1 Приказ позајмице преко уређаја на устима цеви [3]*

### 2.2.2 Позајмица преко дна чауре

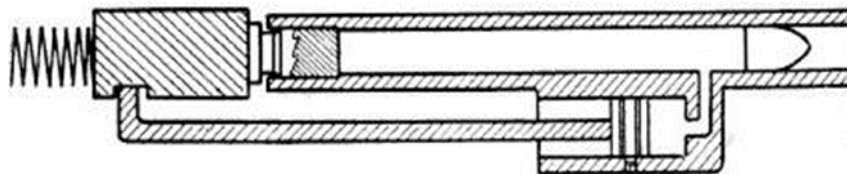
Овај тип рада аутоматике захтева специјалну врсту муниције која има иницијалну капислу са дубоким жљебом. Овај захтев веома компликује конструкцију оружја и због тога се стало само на експерименталном моделу [3].



Слика 2.2.2 Експериментални модел позајмице преко дна чауре [3]

### 2.2.3 Позајмица преко отвора на зиду цеви

Најчешће примењиван систем је одвођење барутних гасова преко отвора на зиду цеви (слика 2.2.3).



Слика 2.2.3 Позајмица барутних гасова кроз отвор на зиду цеви [3]

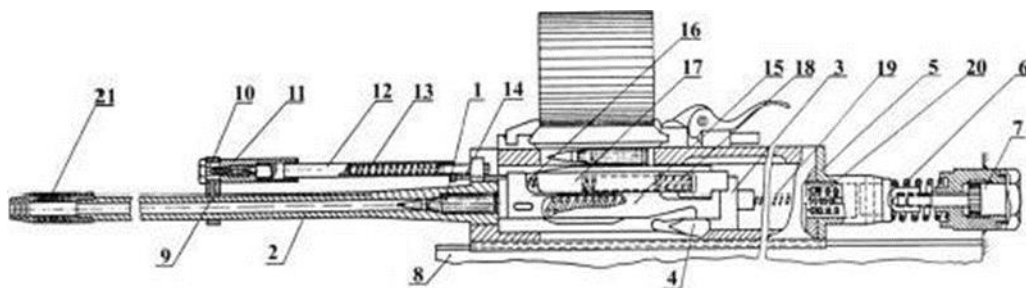
#### 2.2.3.1 Позајмица барутних гасова са клипом

Код позајмице барутних гасова кроз отвор на зиду цеви разликујемо две основне врсте: са или без клипа. Као пример оружја на бази позајмице барутних гасова са клипом може се навести АП 7,62 mm М70 (слика 2.2.4).



Слика 2.2.4 Шематски приказ АП 7. 62 mm М70 [3]

У овом случају, при опаљењу, када зрно прође преко отвора за одвођење барутних гасова, барутни гасови улазе у барутну комору и цилиндар и делују на клип. Услед дејства силе притиска одведених (позајмљених) барутних гасова клип се креће уназад који преко клипњаче и носача затварача делује на затварач, одбављује га и предаје му потребну кинетичку енергију за кретање у задњи положај. Та кинетичка енергија мора да буде довољна да затварач може да изврши све потребне операције у једном циклусу рада аутоматике, односно да извуче и избаци чауру, сабије повратну опруру, а у случају оружја које се храни реденином покрене и механизам за храњење. Наведени пример представља дуго кретање клипа, јер клип прелази приближно исти пут у току циклуса опаљења као и носач затварача (чврста веза). Пример кратког кретања клипа имамо код аутомата ПА топа 20mm M55 (слика 2.2.5) [3].



Слика 2.2.5 Шематски приказ аутомата ПА топа 20 mm M55 [3]

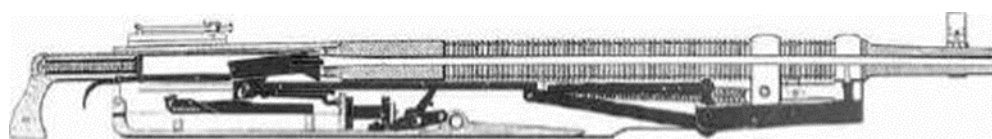
Опаљењем метка (1) сила притиска барутних гасова потискује пројектил у једном смеру, а цели аутомат у супротном смеру. Затварач (3) забрављен је посредством браве (4) за сандук (5), па се цео аутомат трза под дејством силе притиска барутних гасова на чело затварача. За време кретања пројектила кроз цев пре проласка преко отвора за позајмицу барутних гасова (9), трзању цеви и целог аутомата супротставља се сила повратне опруге аутомата (6) и сила хидрауличке кочнице (7), сила трења пројектила и сила трења на клизачима постоља (8). Кад пројектил својим задњим делом пређе отвор за позајмицу барутних гасова (9), барутни гасови пролазе кроз регулатор (10), пуне гасни цилиндар (11) и силом притиска делују на клип (12). Клип (12), коме се опире његова повратна опруга (13) ослања се на потискиваче — шипове (14), преко којих се преноси сила притиска барутни гасова на вођице затварача (15). Део кинетичке енергије троши се на сабијање ударних опруга (16) механизма за опаљење, а остали део на померање вођица затварача ради

одбрављивања. Кад се брава ослободи, подизањем навише, затварач (3) под утицајем барутних гасова на чело затварача почиње да се креће у односу на сандук. Кретању затварача супроставља се сила трења чауре у лежишту метка и сила повратне опруге (19). Код трзања затварача чаура испаленог метка се избацује, а при враћању затварач узима нови метак из уводника, убацује га у лежиште метка и након забрављивања врши опаљење. Описани циклус се понавља. Једноставнији пример кратког трзања описан је на слици 2.2.6.



**Слика 2.2.6** Позајмица барутних гасова са кратким трзањем клипа [3]

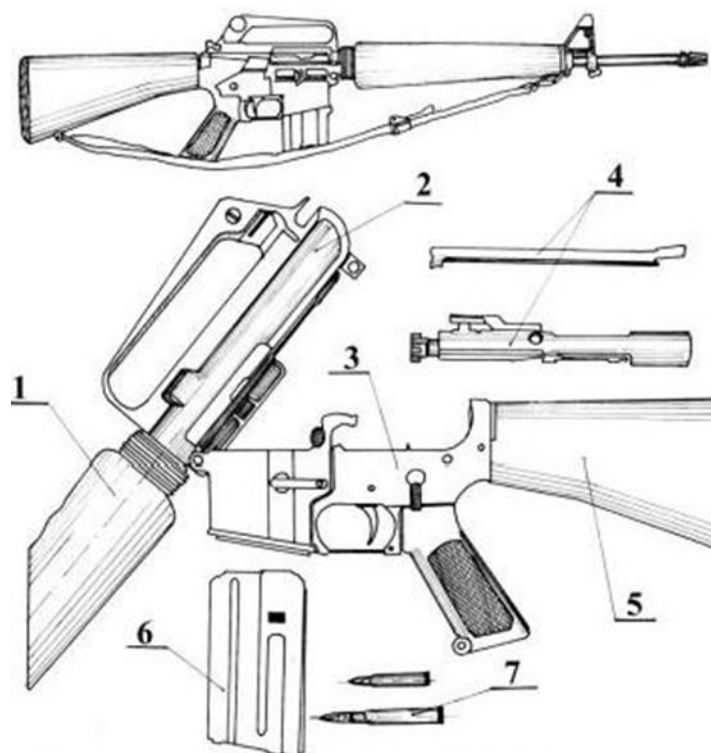
Такав случај имамо код белгијске пушке ФН ФАЛ 7,62 mm. Сва три досад наведена система на бази позајмице барутних гасова имају клип који трза уназад. Постоје системи са осцилирајућим клипом, нпр. митраљез Colt. Такође, постоје системи код којих се клип креће унапред, као код митраљеза Saint-Etienne (слика 2.27). Овај систем рада у литератури се може наћи и под називом повратни гасни потисак [3].



**Слика 2.2.7.** Митраљез Saint-Etienne [3]

### 2.2.3.2 Позајмица барутних гасова без клипа

Пушка која ради на принципу позајмице барутних гасова кроз отвор на зиду цеви, а нема клип је аутоматска пушка 5,56 mm М-16 (САД) приказана на слици 2.2.8.



**Слика 2.2.8.** Склопови и делови пушке 5.56 mm M16  
1- цев са навлаком, 2- сандук, 3- механизам за окидање, 4- склоп затварача, 5- кундак, 6 -оквир, 7 - метак 5.56 mm [3]

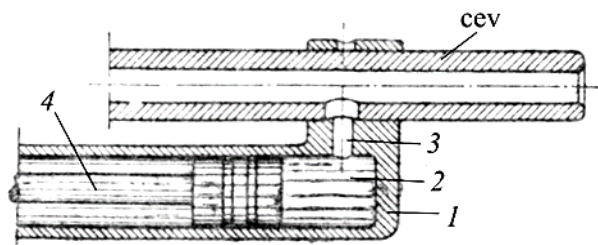
Код ове пушке барутни гасови, након проласка зрна преко отвора за позајмицу гасова, кроз гасни цилиндар малог попречног пресека улазе у комору између затварача и носача затварача. На тај начин потискују носач затварача назад, што доводи до одбрављивања затварача. Након тога они се заједно крећу у задњи положај [3].

**Предности** овакве конструкције у односу на конструкцију са клипом је што је смањена укупна маса оружја (нема клип и клипњачу, знатно лакши гасни цилиндар), али је и велики **недостатак** што услед нечистоћа или механичких оштећења може доћи до промене попречног пресека гасног цилиндра, смањене силе трзања носача затварача, а самим тим и до застоја [3].

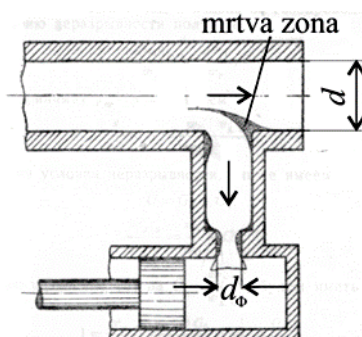
## 2.3 Типови позајмице

Уређај за одвођење барутних гасова најчешће се назива гасни повратник, а чине га следећи елементи: цилиндар (1) гасног повратника, који представља истовремено резервоар и управљачки елемент (често се назива комора), радна запремина (2), простор у који утиче

гас, обезбеђује термички процес и механичко дејство гаса, одводни канал (3), канал различитих облика кроз који пролазе барутни гасови из канала цеви оружја у радну запремину гасног повратника, потискивач (4), који дејство гасова претвара у кинетичку енергију, зазори ( $\Delta d_k$ ) и издувни отвори кроз које барутни гасови истичу из радне запремине, сл. 2.3.1 и 2.3.5 [1].



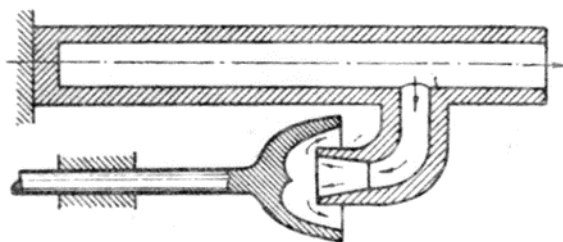
Слика 2.3.1 Статички тип позајмице [1]



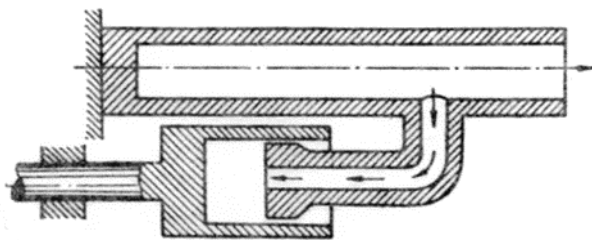
Слика 2.3.2 Одвођење гасова [1]

По карактеру деловања барутних гасова на радну површину, постоје три типа гасних повратника:

- статички тип (сл. 2.3.1), код кога струја гаса, који долази из одводног канала у радну запремину, има нагло ширење при уласку у радну запремину (сл. 2.3.2) и при томе гасови само статичким ширењем делују на радну површину (чело клипа),
- динамички тип (сл. 2.3.3), код кога је издувни отвор одводног канала изведен непосредно на радну површину, а струја гаса из одводног канала удара у њу и затим истиче слободно у атмосферу,
- динамичко-статички тип (сл. 2.3.4), код кога струја гаса из одводног канала удара у радну површину, а притом има нагло ширење при уласку у радну запремину.



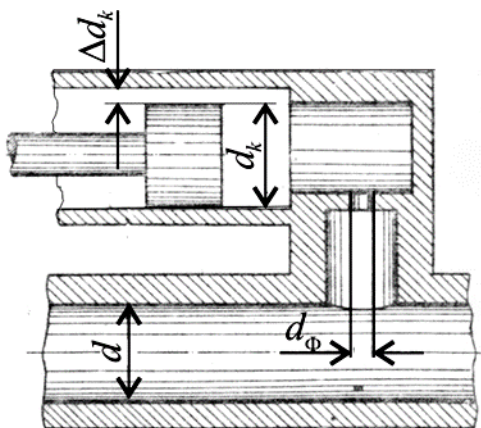
Слика 2.3.3 Динамички тип позајмице [1]



Слика 2.3.4 Динамичко-статични тип позајмице [1]

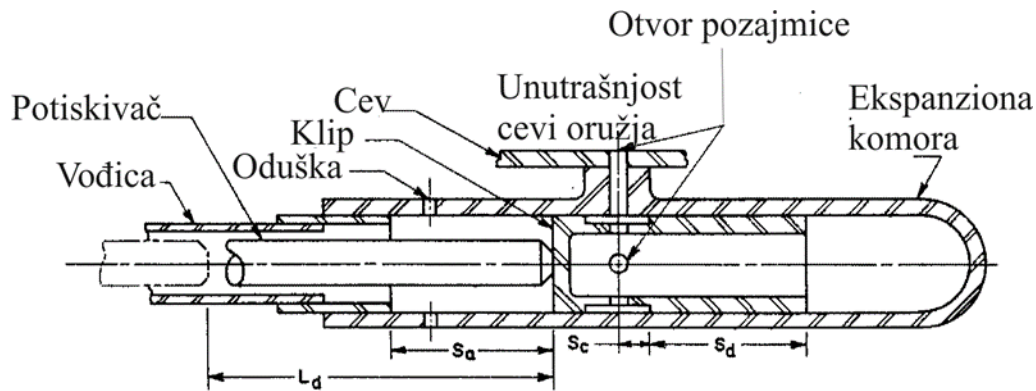
На стрељачком аутоматском оружју статички тип је најчешће примењени облик позајмице. При томе су ширу примену нашле четири основне врсте: са експанзионом комором, са експанзионом комором са прекидом, са директним ударом и са индиректним ударом [1].

- а. **Позајмица са експанзионом комором** има знатну почетну запремину у експанзионој комори која захтева више времена да се комора доведе под притисак, а и више времена за одвођење гасова. Одговарајућим избором величине и локације отвора за позајмицу, потребни гасови под притиском одводе се из унутрашњости цеви оружја.



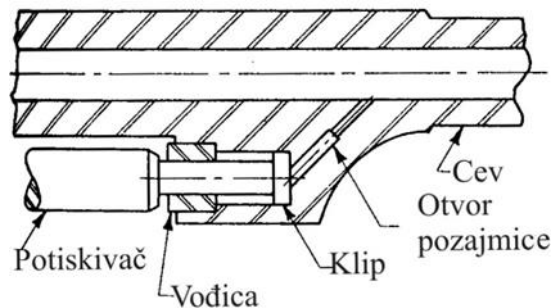
Слика 2.3.5 Позајмица са експанзионом комором [1]

- b. **Позајмица са експанзионом комором са прекидом** слична је систему позајмице са експанзионом комором само што има један вентил који затвара отвор за позајмицу пошто се клип покрене. Кад се створи притисак до одређене вредности, клип се покреће, затварајући отвор за позајмицу и остављајући гасове да се шире политропно да би се обезбедила сила потребна за рад покретних делова склопа затварача. На слици 2.3.6 је приказан систем позајмице са експанзионом комором са прекидом.

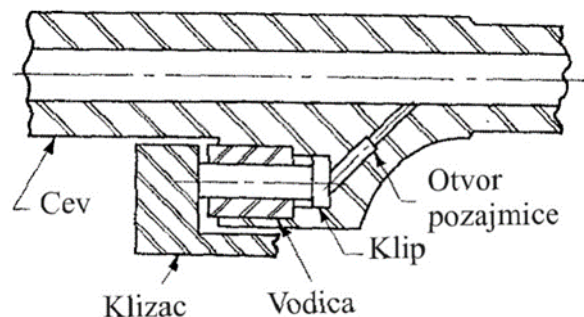


Слика 2.3.6 Позајмица са експанзионом комором са прекидом [1]

- c. **Позајмица са директним ударом** има занемарљиву количину гасова у цилиндру, а експанзија зависи од кретања клипа. Како се клип креће, гас континуално истиче кроз отвор за позајмицу док пројектил не напусти уста цеви. Са даљим падом притиска у унутрашњости цеви оружја, гасови у цилиндру гасног повратника могу или да преокрену ток и врате се у унутрашњост цеви или могу да изађу кроз отворе у зиду цилиндра као што је показано на слици 2.3.7. Трајање примењеног притиска је кратко и зависи искључиво од положаја отвора за позајмицу.



Слика 2.3.7 Позајмица са директним ударом [1]

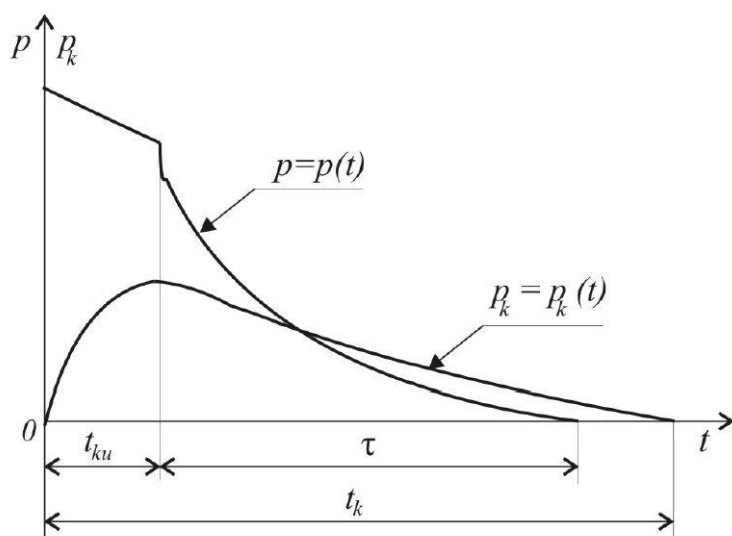


Слика 2.3.8 Позажмица са индиректним ударом [1]

- d. **Позажмица са индиректним ударом** представља систем који има релативно кратак пут клипа (слика 2.3.8). Сила притиска даје релативно велику брзину клипу који покреће носач затварача и затварач. Пут клипа је кратак и његово кретање престаје када удари у крај свог цилиндра.

Протицање гасова кроз одводни канал зависи од више фактора, као што су разлика величине притисака у цеви оружја и гасном повратнику, површина пресека отвора за одвођење гасова, почетна радна запремина и других [1].

Промена притиска у цеви оружја и повратнику од тренутка када пројектил пређе отвор за одвођење барутних гасова до тренутка завршетка истицања приказана је на сл. 2.3.9.



Слика 2.3.9 Дијаграми притисака у цеви оружја и у повратнику [1]

Мерењем је утврђено да је време деловања притиска гасова у повратнику (време  $t_k$ ) нешто дуже од времена  $t_{ku} + \tau$ , које представља време завршетка истицања гасова из цеви оружја ( $t_{ku}$ , —време од тренутка када пројектил прође отвор за позајмицу до тренутка када напусти уста цеви,  $\tau$  - трајање периода накнадног дејства барутних гасова). До ове појаве долази због тога што гасови из гасног повратника морају да истичу кроз релативно мале отворе, зазоре између клипа и цилиндра и кроз доводни канал, када је притисак у цеви оружја нижи од притиска у повратнику [1].

## **3.0 Прорачун унутрашње балистике (АП 5.56mm M21)**

Унутрашње-балистички прорачун је урађен по методи Дроздова. Метода Дроздова се користи код оруђа код којих се употребљава једна врста барута. То су стрељачка оружја, топови и хаубице када гађају са пуњењима од само једне врсте барута. Овај метод се заснива на аналитичком решавању система једначина унутрашње балистике. Решавањем ових једначина добијају се вредности карактеристика опаљења на основу познатих карактеристика цеви, пројектила и карактеристика употребљеног барута.

У УБ прорачуну коришћен је барут СБ-511, док су карактеристике цеви узете са конструктивних цртежа.

Решавање система једначина по методу Дроздова врши се по периодима. Претходни период даје улазне величине за први период. У претходном периоду нема кретања пројектила већ сагоревање барута у простору сталне запремине. Због тога није у интересу прорачун тока претходног периода, већ само прорачун вредности одговарајућих карактеристика на крају претходног периода јер су то подаци за први период. Први период траје од почетка кретања пројектила па до краја сагоревања барута. У току првог периода остварује се максимални притисак барутних гасова. У другом периоду имамо кретање пројектила под дејством притиска барутних гасова. Други период траје од краја сагоревања барута до момента изласка пројектила из цеви оружја. У другом периоду јавља се само адијабатско ширење барутних гасова услед кретања пројектила. Трећи период чини накнадно дејство барутних гасова [5].

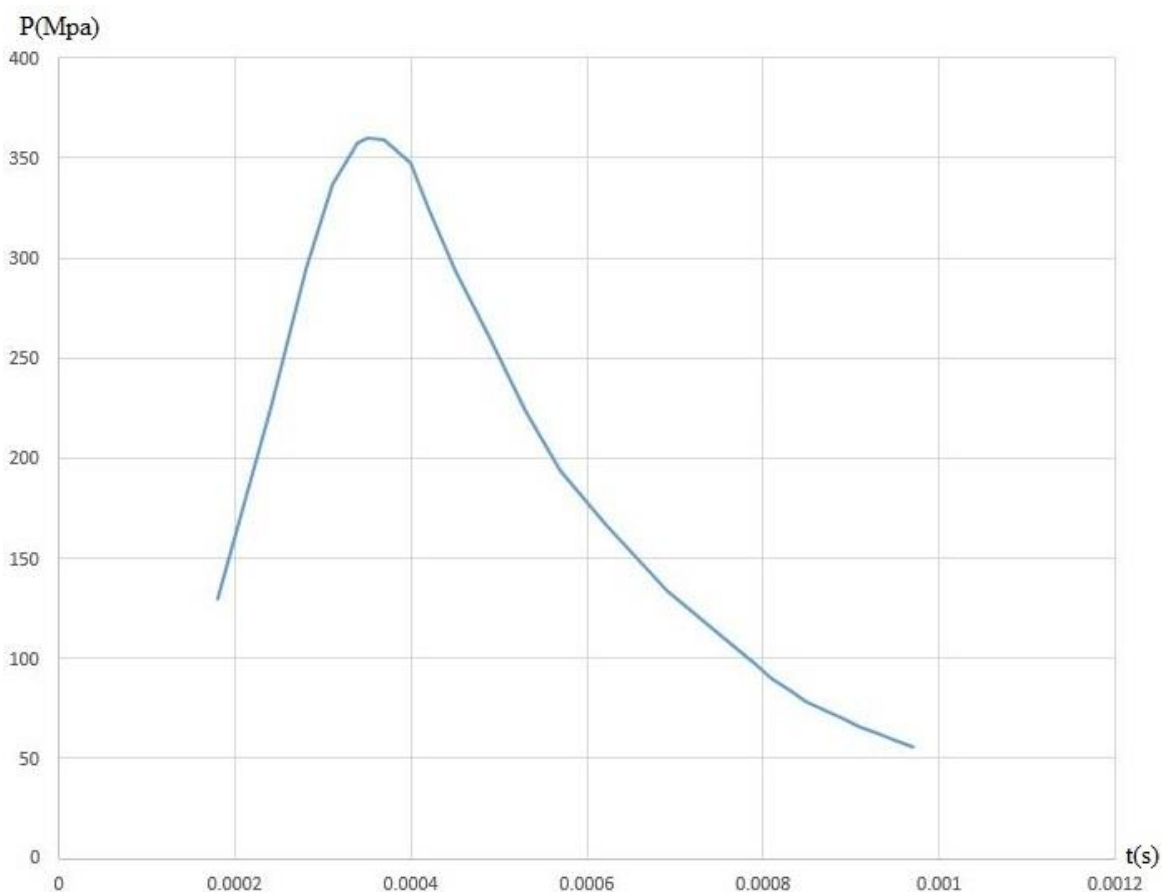
### **3.1 Опис полазних података УБ прорачун**

Програмско решења методе Дроздова за унутрашње-балистички прорачун направљено је у програмском језику Фортран, и налази се у прилогу 1. Дефинисање законитости кретања пројектила у процесу опаљења огледа се у решавању система једначина по периодима. Изузетак је ток времена који се изводи за цео ток процеса опаљења. Све константе које улазе у систем једначина представљају полазне податке и

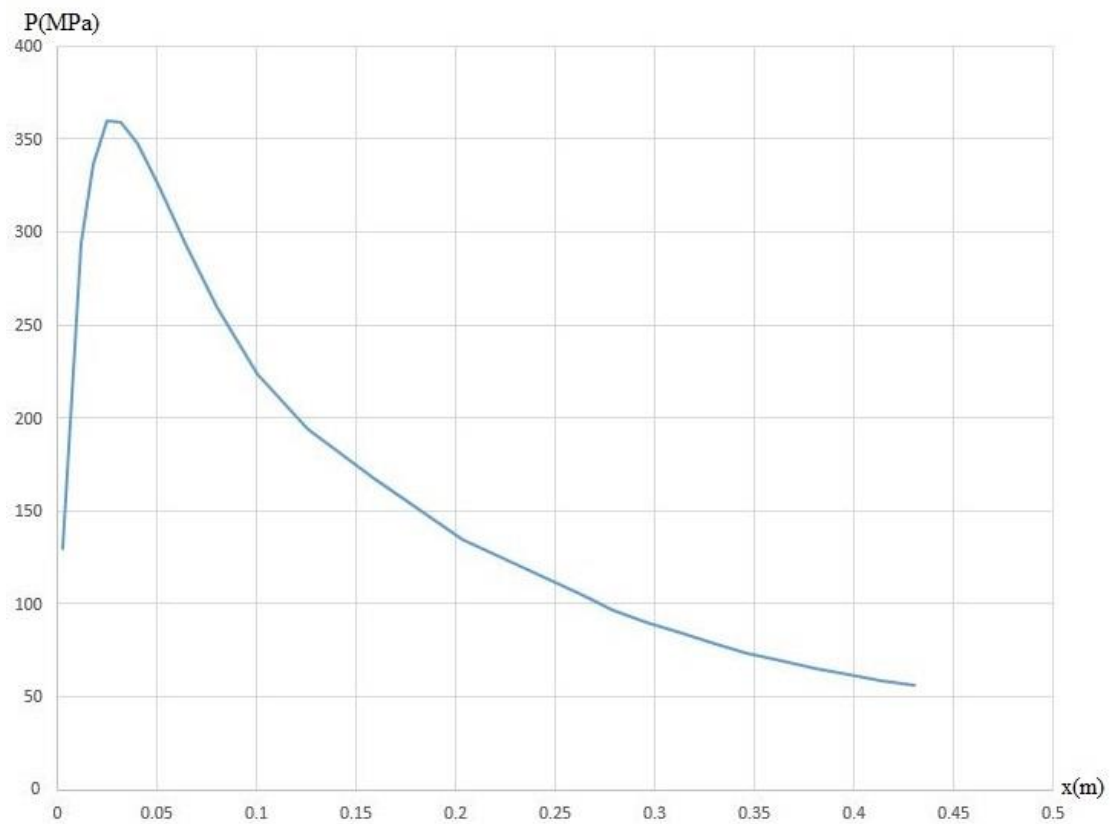
подразумева се да су познате њихове бројчане вредности. Метода подразумева да су барутна зрна дегресивног облика. Улазни подаци се добијају на основу врсте барута који се користи, на основу карактеристика самога пројектила и карактеристика цеви оружја [5], [6].

Полазни подаци су груписани као:

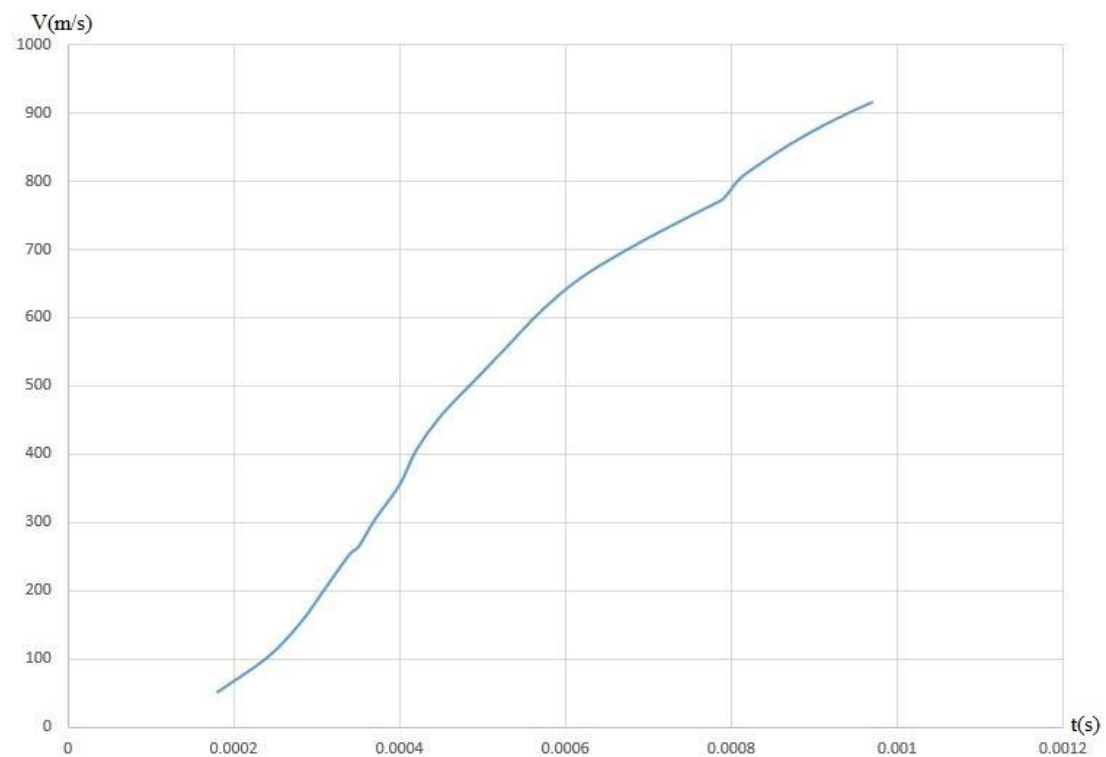
- карактеристике цеви:  $S_c$ ,  $W_0$ ,  $X_u$
- карактеристике пројектила:  $m$ ,  $p_0$ ,  $\varphi$
- карактеристике барута:  $m_b$ ,  $f_b$ ,  $\alpha$ ,  $u_{z0}$ ,  $\rho_b$ ,  $\theta$ ,  $2r_0$ ,  $k$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$



**Слика 3.1.** Промена притиска барутних гасова у зависности од времена



**Слика 3.2.** Промена притиска барутних гасова у зависности од пређеног пута



**Слика 3.3.** Промена брзине по времену

Из приложеног УБ прорачуна може се видети да је максимални притисак барутних гасова у цеви аутоматске пушке М21  $P_m=359\text{MPa}$ , време које је протекло од опаљења до напуштања пројектила уста цеви је  $t_u=0,97\text{ms}$ , пут који је пројектил прешао је  $x_u=0,43\text{m}$  док је брзина пројектила на устима цеви  $V_0=916\text{m/s}$ .

## **4.0 Теоретске методе испитивања притисака барутних гасова у уређајима за позајмицу**

### **4.1 Позајмица са експанзијом комором без прекида**

Питањима испитивања притисака барутних гасова у позајмицама за њихово одвођење са циљем одређивања закона промене  $p=f(t)$  и коришћења тог закона за прорачун карактеристика кретања основног склопа аутоматике бавили су се истакнути како домаћи, тако и инострани научници. У току 30-их година значајан улог у испитивању позајмица за одвођење барутних гасова унео је академик Благонравов А.А, предлагањем начина за одређивање карактеристика кретања основног склопа аутоматике по импулсу притиска барутних гасова у комори. Касније ову тему су у својој теорији развили проф. Мамонтов М.А., проф. Бравин Е.Л., проф. Горов Е.А. и други.

Проф. Мамонтов је понудио прецизну методу испитивања параметара гаса у уређајима за позајмицу, засновану на истраживању закона гасне динамике и термодинамике. Ипак, без обзира на своја преимућства (тачност и прорачун свих параметара) прецизни метод је веома сложен и гломазан. Зато за практично инжењерско прорачунавање овај метод се не може применити, већ се може користити само при специјалним испитивањима, која захтевају највишу прецизност [1].

С тим у вези, у овом раду прецизни метод се не разматра јер је задатак рада-разрада инжењерског метода прорачуна уређаја за позајмицу, који обезбеђује просту и за праксу повољну тачност са урачунавањем толеранција, које се користе при прорачуну карактеристика кретања основних склопова аутоматике стрелачког оружја.

Полазећи од услова постављеног задатка размотрићемо две методе теоретског испитивања притисака барутних гасова у уређајима за позајмицу: метод Мамонтова М.А. (упрошћени) и метод Бравина Е.Л.

## 4.2. Приближни прорачун процеса у бочном уређају за позајмицу статичког типа по методи проф. Мамонтова

### 1. Израз за закон мерења притиска у комори гасова

У основи овога закона утемељен је приближни закон промене притиска у комори гасова, који даје основни карактер стварног закона промене притиска и представља утицај основних параметара на рад покретних делова аутоматике [1].

У основи овога закона промене притиска у комори Мамонтов добија облик:

$$p_k = p_{km} \cdot ze^{-1-z} \quad \text{где је: } z = \frac{t}{t_{km}} \quad (4.1)$$

$t_{km}$  - време које одговара максималном притиску у комори гасова

Овај закон одређује вредност следећих величина:

- специфичног (јединичног) импулса гасова у комори гасова
- максималног притиска у комори
- времена које одговара максималном притиску у комори,  $t_{km}$
- времену које одговара пуном трајању дејства гаса на клип  $t_k$

Ради лакшег одређивања притиска у различитим тренуцима времена уводи се помоћна функција  $\Phi_1(z) = ze^{-z}$  за коју су састављене таблице, а притисак се одређује из једначине

$$p_k = p_{km} e \Phi_1(z) \quad (4.2)$$

**Табела 4.2.1** Вредности  $\Phi_1(z) = ze^{-z}$

| z | 0     | 0.1   | 0.2   | 0.3   | 0.4   | 0.5   | 0.6   | 0.7   | 0.8   |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0.000 | 0.095 | 0.170 | 0.228 | 0.268 | 0.303 | 0.330 | 0.347 | 0.360 |
| 1 | 0.368 | 0.366 | 0.362 | 0.364 | 0.344 | 0.334 | 0.323 | 0.311 | 0.298 |
| 2 | 0.271 | 0.258 | 0.244 | 0.230 | 0.217 | 0.201 | 0.192 | 0.181 | 0.170 |
| 3 | 0.150 | 0.140 | 0.131 | 0.122 | 0.113 | 0.104 | 0.097 | 0.091 | 0.085 |
| 4 | 0.073 | 0.068 | 0.063 | 0.058 | 0.054 | 0.050 | 0.046 | 0.043 | 0.040 |
| 5 | 0.033 | 0.031 | 0.029 | 0.027 | 0.025 | 0.023 | 0.021 | 0.019 | 0.018 |
| 6 | 0.015 | 0.014 | 0.013 | 0.011 | 0.011 | 0.010 | 0.009 | 0.008 | 0.007 |
| 7 | 0.006 | 0.005 | 0.005 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |

## 2. Израз за одређивање брзине клипа и основног склопа

По основном закону динамике за кретање клипа добићемо следећи израз:  
 $M_n \frac{dV}{dt} = (p_k - 1)S_n - R$  или  $M_n \frac{dV}{dt} = p_k S_n - (R + S_n)$ , при том за упрошћавање облика сила отпора  $R + S_n$  се не узима у обзир.

Заменивши израз силе притиска  $p_k$  у изразу добијамо:

$$dV = \frac{S_n p_{km} e}{M_n} z e^{-z} dt \quad (4.3) \quad \text{или} \quad dV = \frac{S_n p_{km} e t_{km}}{M_n} z e^{-z} dz, \quad (4.4) \quad \text{пошто је}$$

$$t = t_{km} \cdot z \Rightarrow dt = t_{km} \cdot dz$$

После интеграљења добијамо:  $V - V_0 = \frac{S_n p_{km} e t_m}{M_n} \int_0^z z e^{iz} dz$  или  $V = V_0 + B \Phi_2(z)$ , где је

$$\Phi_2(z) = \int_0^z z e^{-z} dz = 1 - (1 - z)e^{-z} \quad (4.5) \quad B = \frac{S_n p_{km} e t_m}{M_n} = \frac{S_n p_{km} e t_{mg}}{Q_n} \quad (4.6)$$

Пошто је  $V_0 = 0$  онда је  $V = B \Phi_2(z)$

**Табела 4.2.2** Вредности  $\Phi_2(z) = 1 - (1 - z)e^{-z}$

| z | 0     | 0.1   | 0.2   | 0.3   | 0.4   | 0.5   | 0.6   | 0.7   | 0.8   | 0.9   |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0.000 | 0.004 | 0.017 | 0.037 | 0.066 | 0.094 | 0.121 | 0.155 | 0.190 | 0.230 |
| 1 | 0.264 | 0.300 | 0.339 | 0.374 | 0.408 | 0.443 | 0.474 | 0.507 | 0.537 | 0.567 |
| 2 | 0.594 | 0.620 | 0.645 | 0.670 | 0.691 | 0.713 | 0.733 | 0.751 | 0.769 | 0.786 |
| 3 | 0.800 | 0.815 | 0.828 | 0.841 | 0.853 | 0.864 | 0.874 | 0.884 | 0.893 | 0.900 |
| 4 | 0.909 | 0.915 | 0.922 | 0.928 | 0.934 | 0.939 | 0.944 | 0.948 | 0.952 | 0.956 |
| 5 | 0.960 | 0.963 | 0.966 | 0.968 | 0.971 | 0.973 | 0.975 | 0.978 | 0.980 | 0.981 |
| 6 | 0.983 | 0.984 | 0.986 | 0.987 | 0.988 | 0.989 | 0.990 | 0.990 | 0.991 | 0.992 |
| 7 | 0.993 | 0.993 | 0.994 | 0.994 | 0.995 | 0.995 | 0.996 | 0.996 | 0.996 | 0.997 |

## 3. Израз за израчунавање пута клипа

Из израза за одређивање брзине клипа имамо:  $V = \frac{dX}{dt} = V_0 + B[1 - (1 + z)e^{-z}]$  (4.7)

Интегрирајући овај израз добићемо:  $X - X_0 = V_0 \int_0^t dt + B t_m \int_0^t [1 - (1 + z)e^{-z}] dz$  (4.8) или

$$X = X_0 + V_0 t + B t_m \Phi_3(z), \text{ где је } \Phi_3(z) = \int_0^z [1 - (1 + z)e^{-z}] dz = (z - 2) + (z + 2)e^{-z} \quad (4.9)$$

Узимајући да је  $V_0 = 0$  и  $X_0 = 0$  за одређивање пута клипа добићемо следећи израз:

$$X = B t_{km} \Phi_3(z) \quad (4.10)$$

**Табела 4.2.3** Вредности  $\Phi_3(z) = (z-2) + (z+2)e^{-z}$

| z | 0    | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.08 |
| 1 | 0.10 | 0.13 | 0.16 | 0.20 | 0.24 | 0.28 | 0.33 | 0.38 | 0.43 | 0.48 |
| 2 | 0.54 | 0.60 | 0.67 | 0.73 | 0.80 | 0.87 | 0.94 | 1.02 | 1.10 | 1.17 |
| 3 | 1.25 | 1.33 | 1.41 | 1.50 | 1.58 | 1.67 | 1.75 | 1.84 | 1.93 | 2.02 |
| 4 | 2.00 | 2.20 | 2.29 | 2.38 | 2.48 | 2.57 | 2.67 | 2.76 | 2.86 | 2.95 |
| 5 | 3.05 | 3.14 | 3.21 | 3.34 | 3.43 | 3.53 | 3.63 | 3.73 | 3.82 | 3.92 |
| 6 | 4.02 | 4.12 | 4.22 | 4.32 | 4.41 | 4.51 | 4.61 | 4.71 | 4.81 | 4.91 |
| 7 | 5.01 | 5.11 | 5.21 | 5.31 | 5.41 | 5.51 | 5.60 | 5.70 | 5.80 | 5.90 |

#### 4. Израз за импулс притиска барутних гасова у комори

За јединични (специфични) импулс имамо:

$$i_k = \int_0^{t_k} p_k dt = \int_0^{t_k} p_{km} e z e^{-z} dt = \int_0^{z_k} p_{km} e t_m z e^{-z} dz \quad (4.11) \quad i_k = p_{km} e t_m \left( 1 - \frac{1+z_k}{e^{z_k}} \right), \quad (4.12)$$

Пошто је  $z_k = \frac{t_k}{t_{km}} = 7 \div 10$ , онда други члан у заградама можемо занемарити услед његове изузетно мале вредности у односу на 1, тада је  $i_k = p_{km} e t_{km}$  (4.13)

#### 4. Израз за израчунавање импулса за време деловања импулса:

$$p_k = p_{km} \cdot e z e^{-z} \quad \text{али} \quad p_{km} = \frac{i_k}{e t_{km}}$$

$$p_k = \frac{i_k}{e t_m} e z e^{-z} = \frac{i_k}{t} \cdot \frac{t}{t_m} z e^{-z} = \frac{i_k}{t} \cdot z^2 e^{-z} \quad \text{или} \quad p_k = i_k z^2 e^{-z} \quad (4.14)$$

за

$$t = t_k \quad p_k = 1 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{тада је: } t_k = i_k z^2 e^{-z} \quad t_k = 1.2(t_n + T) \quad (4.15)$$

Ради упрошћавања прорачуна уводи се функција  $\Phi_4(z) = z^2 e^{-z}$  за коју се састављају табеле и израз за добија облик  $t_k = i_k \Phi_4(z)$  где је  $z_k = \frac{t_k}{t_{km}}$  (4.16)

**Табела 4.2.4** Вредности  $\Phi_4(z) = z^2 e^{-z}$

| z | 0.1    | 0.2    | 0.3    | 0.4    | 0.5    | 0.6    | 0.7    | 0.8    | 0.9   |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 5 | 0.1670 | 0.1570 | 0.1475 | 0.1382 | 0.1300 | 0.1220 | 0.1145 | 0.1006 | 00944 |
| 6 | 0.0885 | 0.0829 | 0.0776 | 0.0726 | 0.0678 | 0.0630 | 0.0585 | 0.0510 | 00477 |
| 7 | 0.0447 | 0.0417 | 0.0388 | 0.0360 | 0.0333 | 0.0310 | 0.0289 | 0.0251 | 00233 |
| 8 | 0.0217 | 0.0202 | 0.0188 | 0.0174 | 0.0161 | 0.0150 | 0.0139 | 0.0117 | 00108 |
| 9 | 0.0100 | 0.0092 | 0.0085 | 0.0079 | 0.0073 | 0.0068 | 0.0063 | 0.0053 | 00048 |

## 6. Одређивање јединичног (специфичног) импулса у комори гасова

У комори бочног уређаја за позајмицу гасова статичког типа за прорачун карактеристика погодан је јединични импулс: 
$$i_k = \int_0^{t_k} p_k dt \quad (4.17)$$

За оцену ефикасности рада уређаја за позајмицу барутних гасова статичког типа уводи се величина аналогна коефицијенту корисног дејства обичног топлотног мотора.

За разлику од коефицијента корисног дејства топлотног мотора где се он одређује односом произведеног рада у односу на количину кинетичке енергије која се доведе на мотор, коефицијент корисног дејства позајмице гасова одређује се односом импулса:

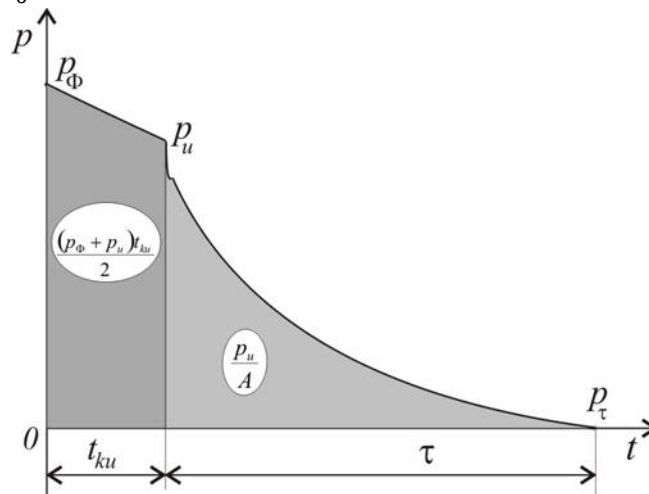
$$\eta_k = \frac{i_k}{i_0} \quad i_k = i_0 \cdot \eta_k \quad (4.18)$$

где је:  $i_k$  - јединични импулс отвора за позајмицу гасова

$i_0$  - јединични импулс у каналу цеви за период од пролаза пројектила отвора за позајмицу гасова до краја периода насталог дејства (последике)

Величину  $\eta_k$  Мамонтов је назвао релативним специфичним импулсом уређаја позајмице гасова (мотора). Величина јединичног импулса у каналу цеви одређује се изразом:

$$i = \int_0^{t_n+r} p dt = \int_0^{t_n} p dt + \int_0^r p dt \quad \text{или} \quad i_0 = \frac{p_\Phi + p_\partial}{2} t_n + \frac{p_\partial}{A} \quad A = 0.365 \frac{\beta^2}{\beta - 0.5} \cdot \frac{v_0}{L'} \quad (4.19)$$



Слика 4.2.1 Импулс барутних гасова у каналу цеви [1]

За одређивање јединичног импулса у комори гасова потребно је знати величину  $\eta_k$ .

Код познатог закона промене  $p_k$  импулс  $i_k$  зависи од следећих основних параметара:

- површине најмањег пресека позајмице гасова  $S_\Phi$
- површине клипа  $S_\Pi$
- површине пресека зазора између цилиндра и клипа  $\Delta S_n$
- почетне запремине коморе  $W_\Phi$
- масе клипа и делова који су повезани са њим  $Q_\Pi$

Ради добијања уопштених зависних карактеристика рада уређаја за позајмицу гасова – од његових параметара Мамонтов је увео следеће релативне параметре:

- релативна површина клипа  $v_0$
- релативна површина зазора између клипа и цилиндра коморе гасова  $\sigma_\Delta = \frac{\Delta S_n}{S_\Phi}$
- релативна маса клипа  $\sigma_q = \frac{Q_n}{S_n}$
- релативна почетна запремина коморе (наведена је дужина коморе)  $\sigma_0 = \frac{W_\Phi}{S_\Phi}$

За одређивање релативног специфичног импулса отвора за позајмицу гасова  $\eta_k$  Мамонтов је формирао табелу вредности:  $\eta_{k0} = f(\sigma_n, \sigma_\Delta)$  за  $\sigma_0 = 0$  и  $\sigma_q = 0.25 \text{ kg/cm}^2$  и таблице коефицијената у зависности од  $\sigma_n, \sigma_0, \sigma_q$ :

$$v_0 = f(\sigma_\Pi, \sigma_0)$$

$$v_q = f(\sigma_\Pi, \sigma_q)$$

$$v_{q0} = f(\sigma_0, \sigma_q)$$

**Tabela 4.2.5** Вредности  $\eta_{k0} = f(\sigma_\Pi, \sigma_\Delta)$  при  $\sigma_q = 0.25 \text{ bar}$  и при  $\sigma_0 = 0$

| $\sigma_\Delta \rightarrow$<br>$\sigma_\Pi \downarrow$ | 0.00  | 0.25  | 0.50  | 0.75  | 1.00  | 1.50  | 2.00  | 2.50  | 3.00  |
|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0                                                      | 1.000 | 0.803 | 0.685 | 0.598 | 0.526 | 0.411 | 0.327 | 0.260 | 0.213 |
| 10                                                     | 0.960 | 0.813 | 0.703 | 0.616 | 0.545 | 0.430 | 0.345 | 0.278 | 0.228 |
| 20                                                     | 0.905 | 0.804 | 0.713 | 0.633 | 0.562 | 0.448 | 0.363 | 0.296 | 0.244 |
| 30                                                     | 0.855 | 0.777 | 0.705 | 0.637 | 0.576 | 0.465 | 0.380 | 0.318 | 0.260 |
| 40                                                     | 0.805 | 0.744 | 0.687 | 0.631 | 0.577 | 0.479 | 0.395 | 0.327 | 0.275 |
| 50                                                     | 0.761 | 0.709 | 0.660 | 0.614 | 0.567 | 0.485 | 0.407 | 0.342 | 0.288 |
| 60                                                     | 0.720 | 0.676 | 0.632 | 0.591 | 0.551 | 0.477 | 0.413 | 0.353 | 0.300 |
| 70                                                     | 0.681 | 0.641 | 0.603 | 0.566 | 0.532 | 0.465 | 0.408 | 0.357 | 0.309 |
| 80                                                     | 0.644 | 0.609 | 0.574 | 0.542 | 0.511 | 0.451 | 0.400 | 0.353 | 0.313 |

|     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 90  | 0.610 | 0.578 | 0.544 | 0.517 | 0.488 | 0.435 | 0.388 | 0.346 | 0.310 |
| 100 | 0.579 | 0.549 | 0.520 | 0.494 | 0.468 | 0.419 | 0.376 | 0.338 | 0.303 |
| 125 | 0.510 | 0.487 | 0.463 | 0.441 | 0.420 | 0.382 | 0.346 | 0.313 | 0.283 |
| 150 | 0.455 | 0.436 | 0.416 | 0.399 | 0.381 | 0.350 | 0.320 | 0.291 | 0.265 |
| 175 | 0.409 | 0.394 | 0.378 | 0.362 | 0.348 | 0.322 | 0.297 | 0.272 | 0.250 |
| 200 | 0.371 | 0.358 | 0.344 | 0.331 | 0.319 | 0.298 | 0.276 | 0.256 | 0.237 |
| 225 | 0.340 | 0.329 | 0.317 | 0.306 | 0.296 | 0.277 | 0.259 | 0.241 | 0.226 |
| 250 | 0.314 | 0.303 | 0.294 | 0.284 | 0.275 | 0.258 | 0.243 | 0.229 | 0.218 |

**Tabela 4.2.6** Вредности поправног коефицијента  $v_o$  на утицај  $\sigma_o$  при различитим  $\sigma_{II}$

| $\sigma_{II} \rightarrow$<br>$\sigma_o \downarrow$ | 0    | 50   | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  |
|----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0                                                  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 50                                                 | 0.85 | 0.88 | 0.90 | 0.92 | 0.94 | 0.96 | 0.98 |
| 100                                                | 0.74 | 0.78 | 0.82 | 0.86 | 0.90 | 0.93 | 0.96 |
| 150                                                | 0.66 | 0.71 | 0.76 | 0.81 | 0.86 | 0.90 | 0.94 |
| 200                                                | 0.60 | 0.66 | 0.71 | 0.77 | 0.82 | 0.87 | 0.92 |
| 250                                                | 0.55 | 0.61 | 0.67 | 0.73 | 0.79 | 0.85 | 0.90 |
| 300                                                | 0.50 | 0.57 | 0.63 | 0.70 | 0.76 | 0.83 | 0.89 |

**Tabela 4.2.7** Вредности поправног коефицијента  $v_q$  на утицај  $\sigma_q$  при различитим  $\sigma_{II}$

| $\sigma_{II} \rightarrow$<br>$\sigma_q \downarrow$ | 0    | 50   | 100  | 150  | 200  | 250  |
|----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 0.10                                               | 0.85 | 0.64 | 0.55 | 0.52 | 0.51 | 0.50 |
| 0.15                                               | 0.92 | 0.82 | 0.76 | 0.73 | 0.72 | 0.71 |
| 0.20                                               | 0.97 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.89 | 0.88 |
| 0.25                                               | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 0.30                                               | 1.02 | 1.04 | 1.06 | 1.08 | 1.10 | 1.12 |
| 0.35                                               | 1.03 | 1.07 | 1.11 | 1.16 | 1.20 | 1.23 |
| 0.40                                               | 1.04 | 1.11 | 1.17 | 1.23 | 1.29 | 1.35 |
| 0.45                                               | 1.05 | 1.13 | 1.21 | 1.29 | 1.37 | 1.45 |
| 0.50                                               | 1.06 | 1.17 | 1.27 | 1.37 | 1.48 | 1.58 |
| 0.60                                               | 1.07 | 1.20 | 1.35 | 1.48 | 1.60 | 1.72 |
| 0.70                                               | 1.08 | 1.24 | 1.41 | 1.58 | 1.72 | 1.86 |

На тај начин се величина  $\eta_k$  одређује помоћу ових табела на основу израза:

$$\eta_k = \eta_{k0} v_o v_q v_{q0}$$

### 4.3 Прорачун карактеристика уређаја за позајмицу гасова и кретања основног склопа аутоматике по методи проф. Бравина Е.Л.

За разлику од Мамонтова, Бравин не посматра процес истицања гасова у комору као термодинамички процес, већ нуди емпиријски израз за изражавање притиска барутних гасова у комори гасова и на клипу главног склопа, како би најприближније правилно представио закон промене притиска гасова доспелих у комору гасова [1].

За основне факторе који утичу на закон промене притиска барутних гасова на клип, Бравин Е.Л. узима:

- однос површина попречног пресека позајмице гасова и клипа:  $\sigma_0 = \frac{S_\Phi}{S_n}$

-поречно оптерећење клипа:  $K_0 = \frac{M_0}{S_n}$

При том се нуди следећи израз промене притисака гасова на клип зависи од времена:

$$p = p_\Phi e^{-\frac{t}{b} \left( 1 - e^{-\alpha \frac{t}{b}} \right)} \quad (4.20)$$

где је:  $\alpha = n \frac{S_w M_n}{S_2^n}$  ;  $b = \frac{i_0}{p_\Phi}$  ;  $i_0 = \frac{p_\Phi + p_\partial}{2} t_n + \frac{p_\partial}{A}$

$p_\Phi$  - притисак барутних гасова у каналу цеви, у тренутку пролаза пројектила поред отвора за позајмицу

$p_\partial$  - притисак барутних гасова у каналу цеви, у тренутку излетања пројектила из цеви

$e = 2.71$  - основа природних алгоритама

$$A = 0.365 \frac{\beta^2}{\beta - 0.5} \cdot \frac{v_0}{L'} \quad \beta = C \frac{d}{v_0} \sqrt{\frac{p_\partial L' g}{\omega}}$$

По експерименталним подацима коефицијент  $C = 1.5$

$t_n$  - време од тренутка пролаза пројектила поред отвора за позајмицу, до излетања из цеви;

$n$  - опитни коефицијент

$M_n$  - маса погонског склопа аутоматике

$i_0$  - јединични импулс притиска барутних гасова у каналу цеви за време  $t_g$

Тада за јединични (специфични) импулс у уређају позајмице добијамо:

$$i_k = \int_0^t p_{\Phi} e^{-\frac{t}{b}} \left( t - e^{-\alpha \frac{t}{b}} \right) dt = p_{\Phi} b \left[ \frac{\alpha}{1+\alpha} + \frac{\alpha}{1+\alpha} e^{-(1+\alpha)\frac{t}{b}} - e^{-\frac{t}{b}} \right] \quad (4.21)$$

При  $t \rightarrow \infty$   $i_k = p_{\Phi} b \frac{1}{1+\alpha}$  где је  $\frac{\alpha}{1+\alpha} = \eta$

Величина  $\eta$  представља коефицијент корисног дејства позајмице.

За  $\eta = 1$  читави импулс притиска у каналу цеви преносио би се на клип без губитака.

Укупни јединични импулс у каналу цеви износи:

$$i_0 = \frac{p_{\Phi} + p_{\partial}}{2} t_n + \frac{p_{\partial}}{A} \quad \text{где је} \quad A = 0.365 \frac{\beta^2}{\beta - 0.5} \cdot \frac{v_0}{L'} N \quad (4.22)$$

Тада је:  $p_{\Phi} b = i_0$  и  $b = \frac{i}{p_{\Phi}}$

При томе, када  $\alpha \rightarrow \infty$  израз за притисак у комори гасова ће добити облик:

$$p = p_{\Phi} e^{-\frac{t}{b}} \left( 1 - e^{-\alpha \frac{t}{b}} \right) \quad (4.23)$$

При  $\alpha \rightarrow \infty$  :

$$p = p_{\Phi} e^{-\frac{t}{b}}$$

и представљаће граничну породицу кривих :

$$p = p_{\Phi} e^{-\frac{t}{b}} \left( 1 - e^{-\alpha \frac{t}{b}} \right) \quad (4.24)$$

Зависност:  $p = p_{\Phi} e^{-\frac{t}{b}}$  може да приближно изрази закон промене притиска у каналу цеви после пролаза пројектила поред отвора за позајмицу до краја периода.

Импулс силе притиска барутних гасова на клип одређује се на основу израза :

$$S_n i_k = S_n \left( \frac{\alpha}{1+\alpha} + \frac{1}{1+\alpha} e^{-(1+\alpha)\frac{t}{b}} - e^{-\frac{t}{b}} \right) p_{\Phi} b \quad (4.25)$$

Али пошто је  $M_n V = S_n i_k$  :

$$M_n V = S_n \left( \frac{\alpha}{1+\alpha} + \frac{1}{1+\alpha} e^{-\frac{(1+\alpha)t}{b}} - e^{-\frac{t}{b}} \right) p_\Phi b \quad (4.26)$$

При  $t \rightarrow \infty$  :  $M_n V = S_n \frac{\alpha}{1+\alpha}$  ; при  $M_n = \text{const}$  израз за  $M_n V$  омогућава да се одреди брзина основног склопа у односу на било који момент времена.

Интегрирајући израз за брзину добићемо израз за кретање основног склопа:

$$X = \int_0^x dX = \int_0^t V dt = \frac{S_n b}{M_n} \left( \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \frac{t}{b} - \frac{\alpha(2+\alpha)}{(1+\alpha)^2} - \frac{1}{(1+\alpha)^2} e^{-\frac{(1+\alpha)t}{b}} + e^{-\frac{t}{b}} \right) i_0 \quad (4.27)$$

Ради лакшег коришћења изрази за одређивање  $p, V, X$  формиране су табеле коефицијената:

$$\begin{aligned} K_p &= e^{-\frac{t}{b}} \left( 1 - e^{-\alpha \frac{t}{b}} \right) \\ K_v &= \frac{\alpha}{1+\alpha} + \frac{1}{1+\alpha} e^{-\frac{(1+\alpha)t}{b}} - e^{-\frac{t}{b}} \\ K_x &= \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \frac{t}{b} - \frac{\alpha(2+\alpha)}{(1+\alpha)^2} - \frac{1}{(1+\alpha)^2} e^{-\frac{(1+\alpha)t}{b}} + e^{-\frac{t}{b}} \end{aligned} \quad (4.28)$$

Вредности коефицијената  $K_v, K_p, K_x$  наведене у табелама треба помножити са  $10^{-4}$ . При том нуле које се налазе иза бројева су непостојећи бројеви.

Тада имамо:

$$\begin{aligned} p &= p_\Phi K_p & V &= \frac{S_n i_0}{M_n} K_v \\ X &= \frac{S_n b i_0}{M_n} K_x = \frac{V b}{K_v} K_x \end{aligned} \quad (4.29)$$

За одређивање величине  $\eta_k = \frac{\alpha}{1+\alpha} \eta_0 v_0 v_q v_{q0}$  формиране су таблице зависности:

$$\eta_0 = f(\sigma_\Pi, \sigma_\Delta) \quad v_0 = f(\sigma_\Pi, \sigma_0) \quad v_q = f(\sigma_\Pi, \sigma_q) \quad v_{q0} = f(\sigma_0, \sigma_q)$$

Наведене табеле за одређивање импулсних коефицијената корисног дејства могу бити узете за прорачун притиска и карактеристика кретања основног склопа аутоматике за време његовог слободног хода, како по методи Мамонтова М.А., а тако и по методу Бравина Е.Л. Вредности коефицијената  $\eta_0, v_0, v_q$  наведене у табелама треба помножити са  $10^{-3}$  [1].

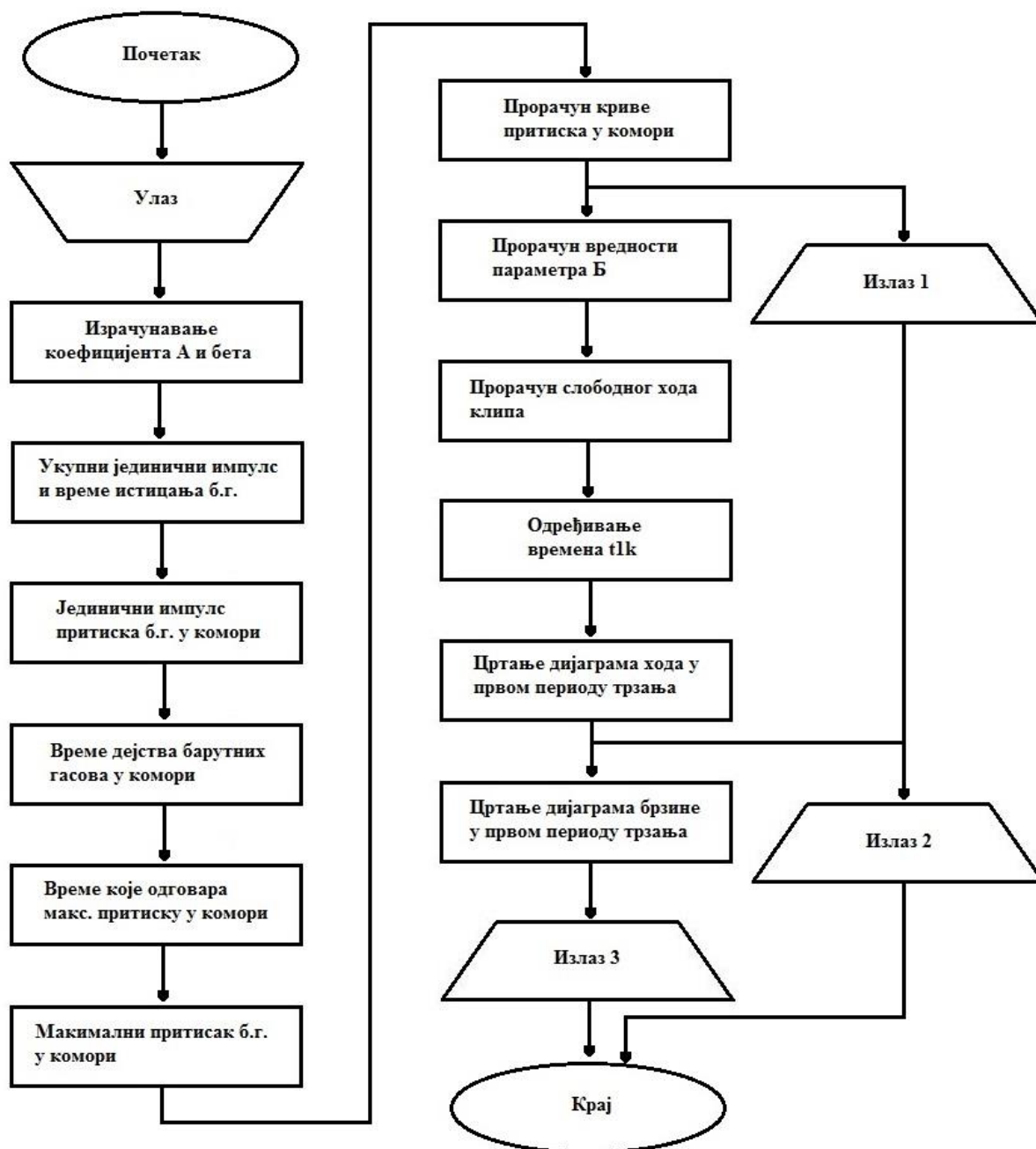
Предности система на бази одвођења барутних гасова су: добро забрављивање, велика брзина гађања, примена за све калибре, непокретна цев, затварач мале масе итд. И поред бројних предности и ови системи имају недостатке који се огледају у следећем: сложена конструкција због непходности постојања гасних отвора и гасног повратника, затварач најчешће је састављен из више делова и углавном сложене геометрије, покретни делови нагло трзају уназад са сударима, а код калибра преко 12,7mm због великог трзаја оруђа док је затварач забрављен мора постојати еластична веза између оружја и постоља.

## **5.0 Израда алгоритма и формирање симулације у програмском пакету матлаб**

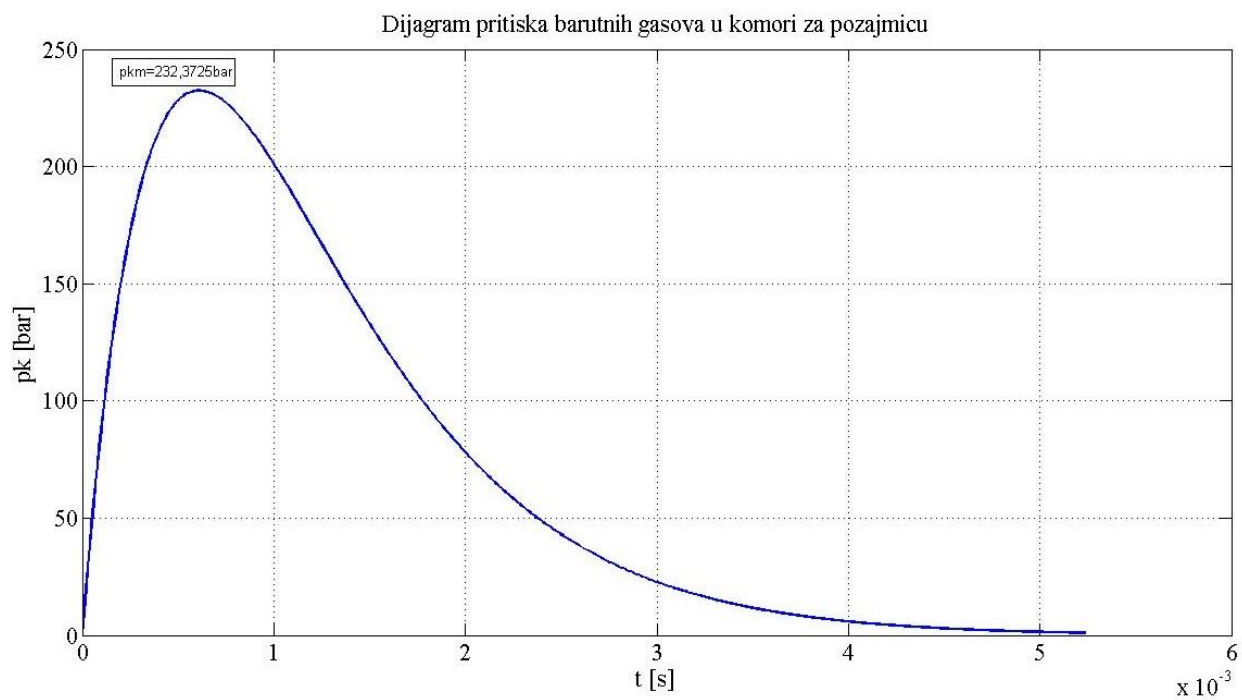
Програм КомораМ21 је написан у програмском пакету Матлаб и намењен је за прорачун параметара позајмице барутних гасова код АП 5,56mm М21. Програм је линијски и нема посебних улазних нити излазних датотека. Као улазне величине директно у програм се уносе калибар цеви, маса пројектила, маса барутног пуњења, маса затварача, почетна брзина пројектила, максимални притисак барутних гасова, притисак барутних гасова на устима цеви, притисак барутних гасова на месту позајмице, пречник одвода барутних гасова, пречник клипа, дијаметрални зазор између клипа и коморе, почетна запремина коморе, сведена дужина цеви, време кретања пројектила од одвода до уста цеви, почетна сила повратне опруге, крутост повратне опруге и коефицијент трења клизања. Као излаз добијају се кључни параметри у виду три дијаграма, а то су дијаграм притиска у комори у

функцији времена, дијаграм хода клипа у његовом првом периоду трзања и криву брзине у првом периоду трзања.

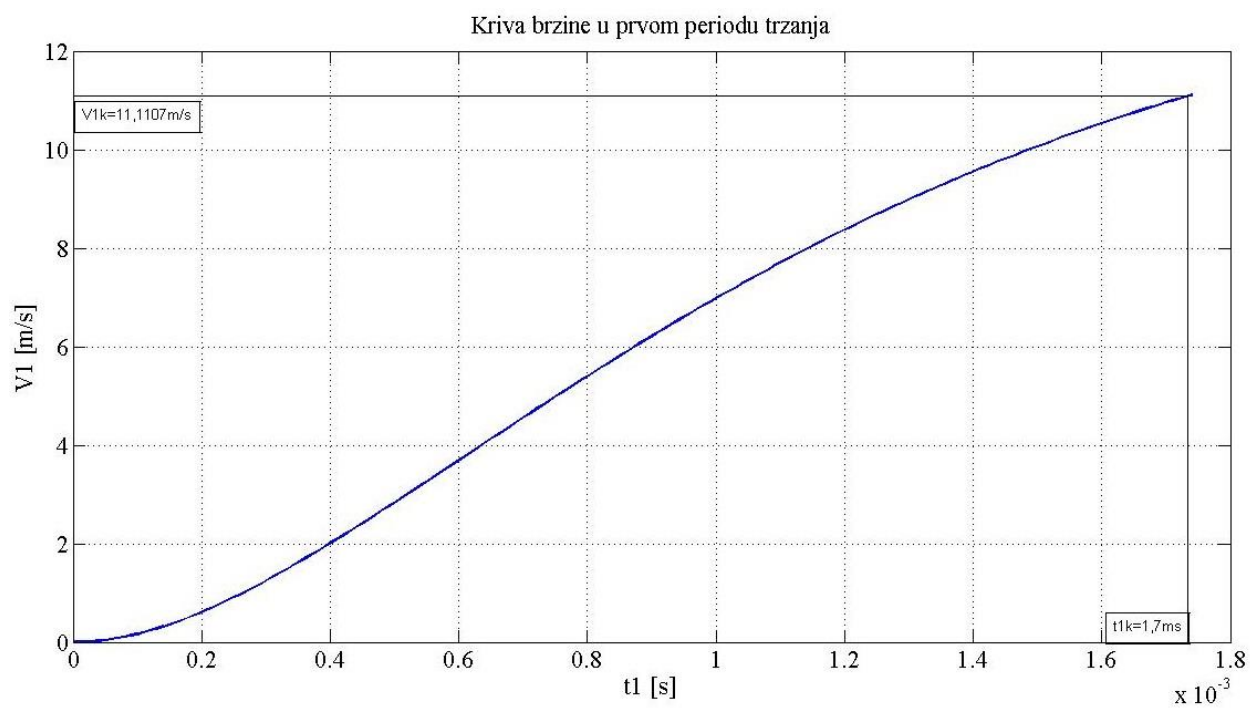
Програмско решење је дато у прилогу 2, док је алгоритам програмског решења приказан на слици 5.1.



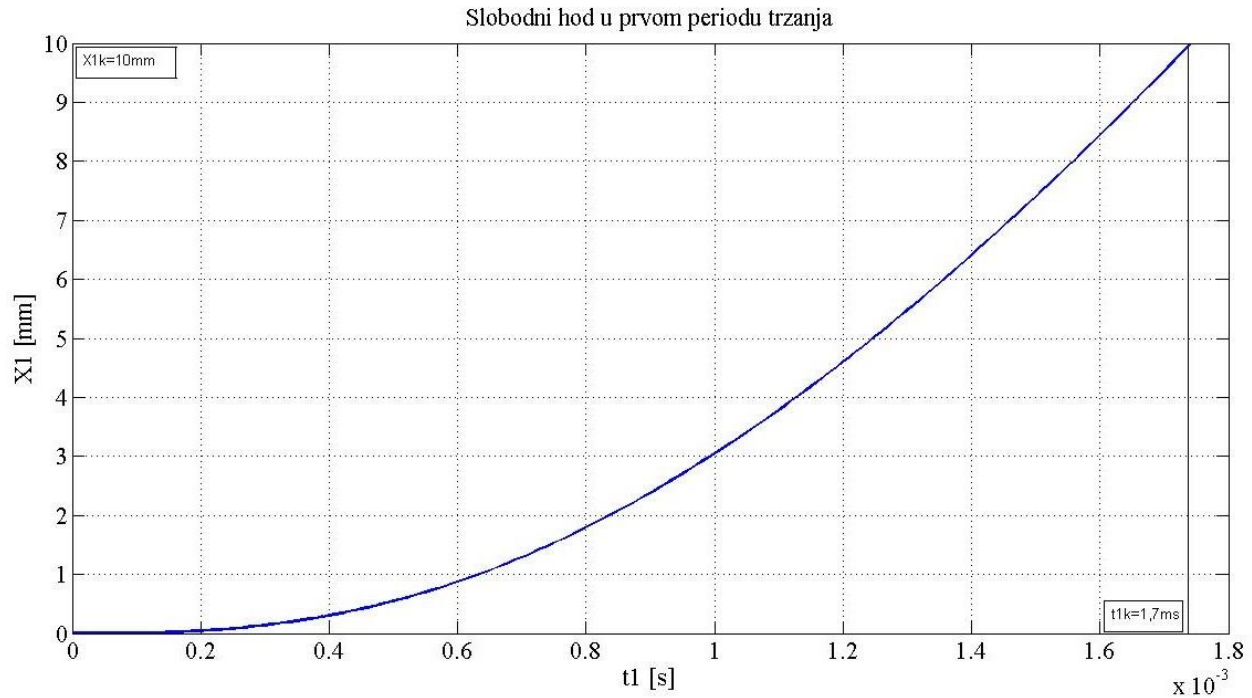
Слика 5.1 Алгоритам програмског решења КомораМ21



**Слика 5.2** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу



**Слика 5.3** Крива брзине у првом периоду трзања



Слика 5.4 Сlobодни ход у првом периоду трзања

Кључне параметре које анализирамо су максимални притисак барутних гасова у комори за позајмицу  $P_{km}$ , брзина клипа на крају првог периода трзања  $V_{1k}$ , и време  $t_{1k}$  које претставља крај прве фазе трзања клипа. Битно је нагласити да је кретање клипа подељено по својим периодима и да није повезано са периодом трзања пушке. Као први период кретања клипа узима се слободни ход који износи 10mm.

Добијени резултати кључних параметара гаса у уређају за позајмицу су  $P_{km}=232,3725\text{bar}$ ,  $V_{1k}=11,1107\text{m/s}$ ,  $t_{1k}=1,7\text{ms}$ .

## 6.0 Варирање одабраних параметара у симулацији и анализа резултата

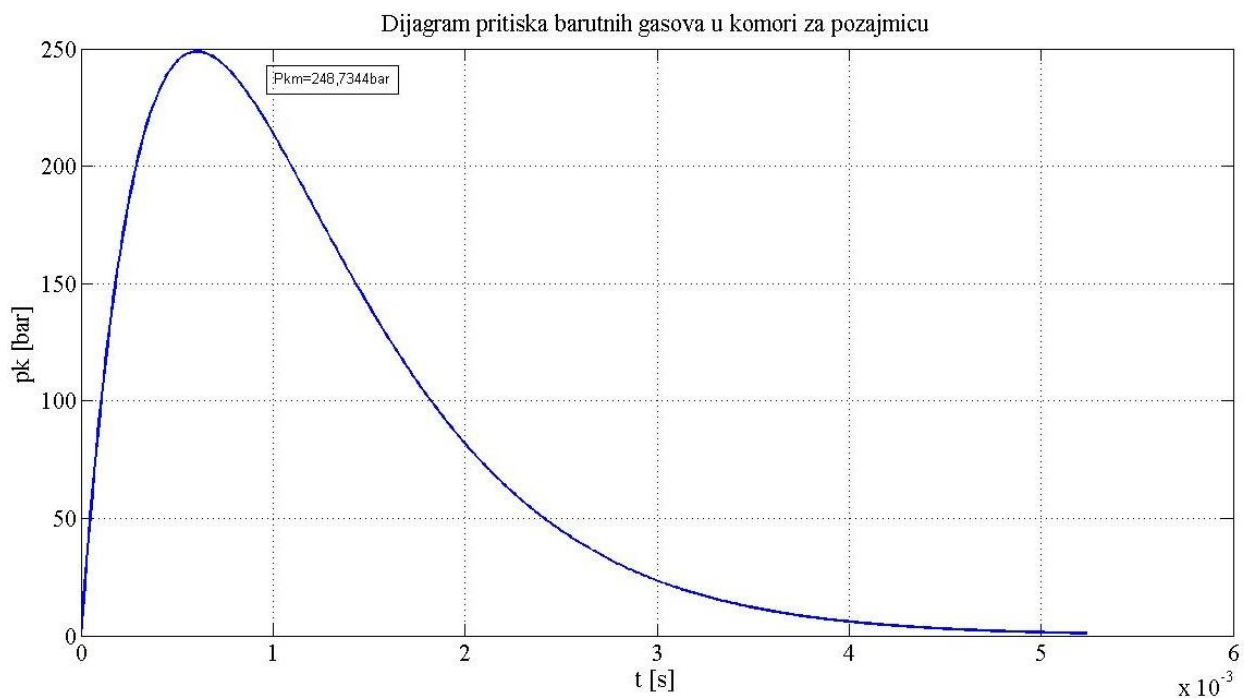
Док није дошло до позајмице систем је забрављен, комплетна сила притиска барутних гасова једним делом се преноси на пројектил да би излетео али на супротну страну преноси се на раме стрелца. Иза тога, када дође до позајмице почиње динамика система, и све зависи од притиска у повратнику, односно у гасном цилиндру. Како ће изгледати крива

притиска у гасном цилиндру зависи од тога где се налази отвор за позајмицу барутних гасова, колико је велики отвор за позајмицу, од величине пречника клипа, почетне запремине коморе, тежине клипа, дијаметралног зазора између клипа и коморе.

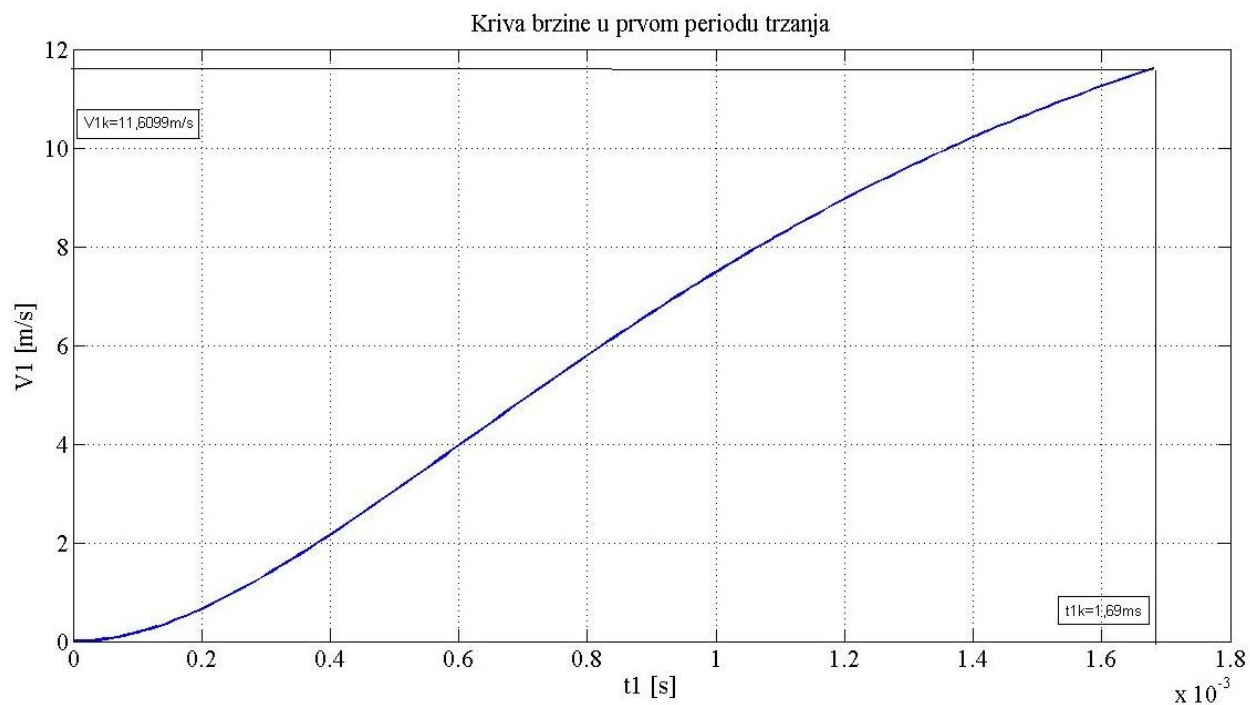
## 6.1 Промена позиције отвора за позајмицу

Променом позиције отвора вршимо тако што мењамо вредност притиска барутних гасова на месту позајмице. Ове вредности очитавамо из ставке 3, слика 3.2 промена притиска барутних гасова у зависности од пређеног пута.

Ако позицију отвора приближавамо, примећујемо да притисак расте. На растојању  $x=0,16m$ , притисак барутних гасова на месту позајмице износи  $P_{fi}=1560bar$ . Дијаграми промене приказани су на сликама 6.1.1 и 6.1.2.

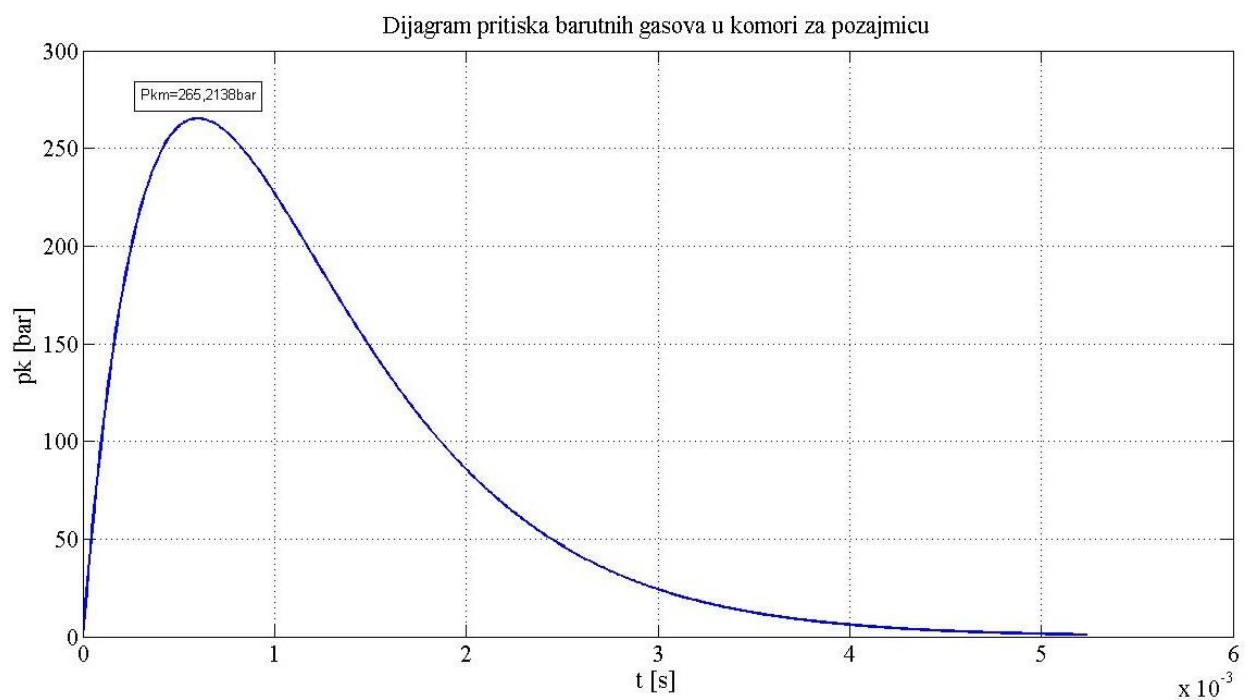


Слика 6.1.1 Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за позицију отвора  $x=0,16m$

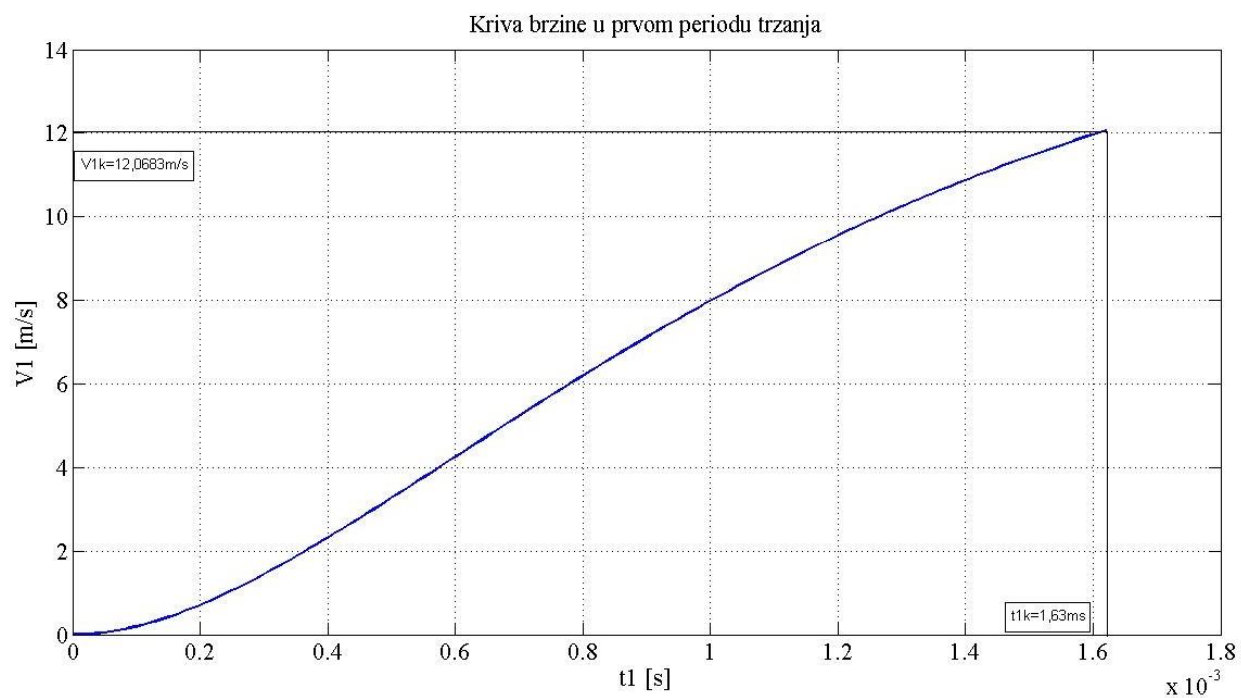


**Слика 6.1.2** Крива брзине у првом периоду трзања за позицију отвора  $x=0,16\text{m}$

За позицију отвора на растојању  $x=0,13\text{m}$  притисак барутних гасова на месту позајмице износи  $P_{\text{н}}=1820\text{bar}$ .

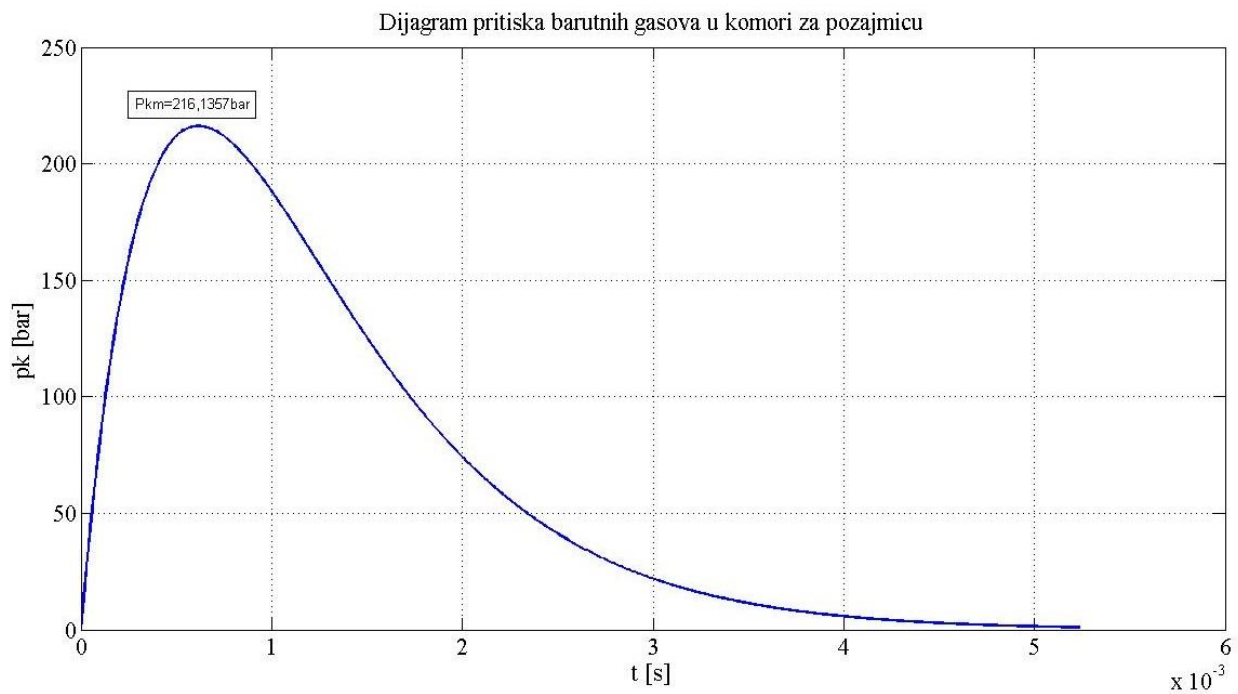


**Слика 6.1.3** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за позицију отвора  $x=0,13\text{m}$

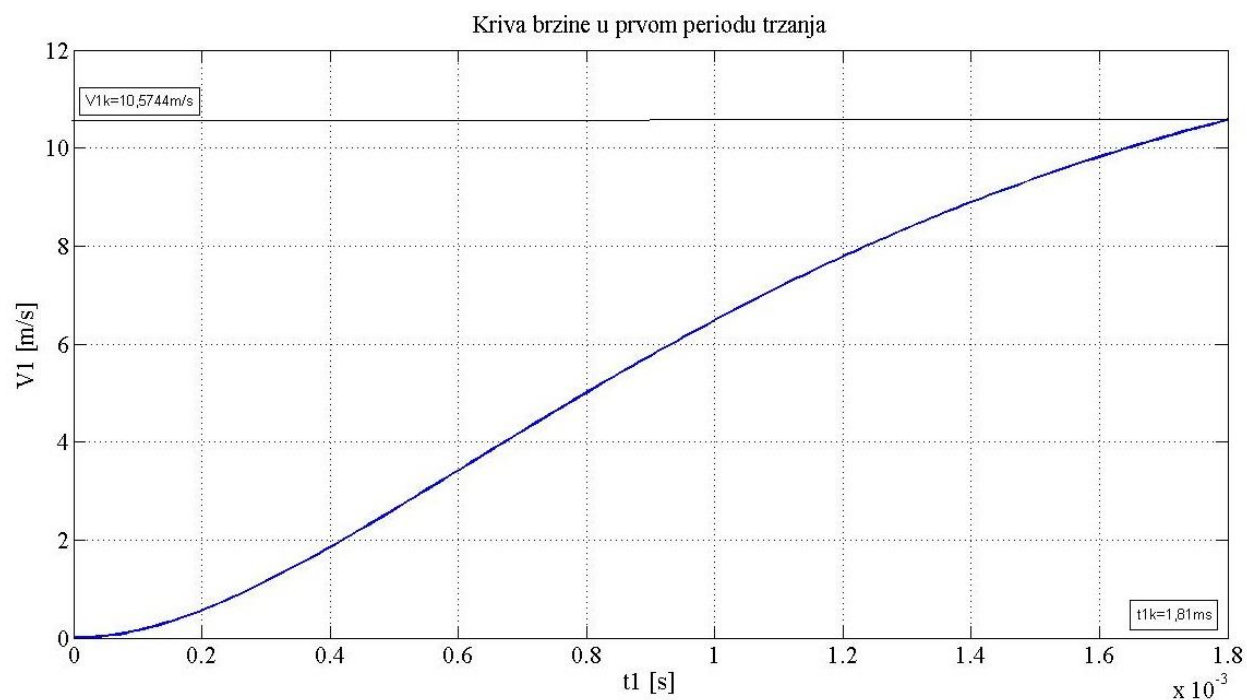


**Слика 6.1.4** Крива брзине у првом периоду трзања за позицију отвора  $x=0,13\text{m}$

Одаљавањем позиције отвора, на основу УБ прорачуна притисак у цеви опада. Па је за позицију отвора на растојању  $x=0,26\text{m}$ ,  $P_{fi}=1040\text{bar}$ .

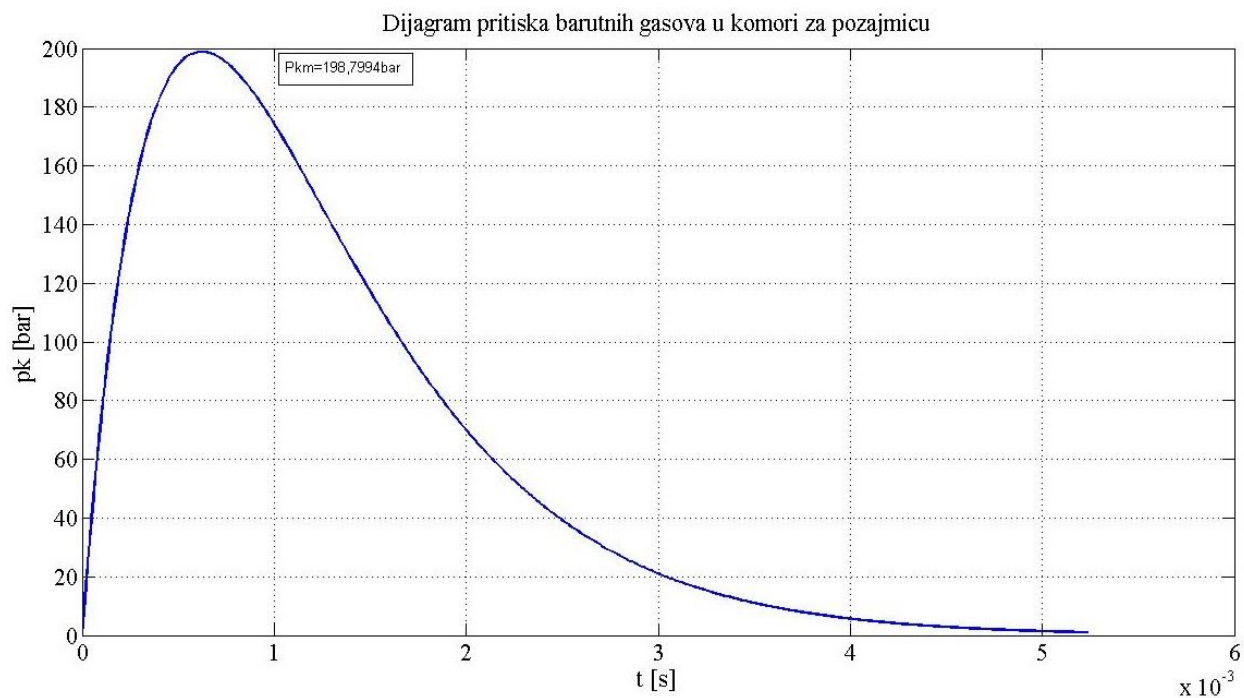


**Слика 6.1.5** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за позицију отвора  $x=0,26\text{m}$

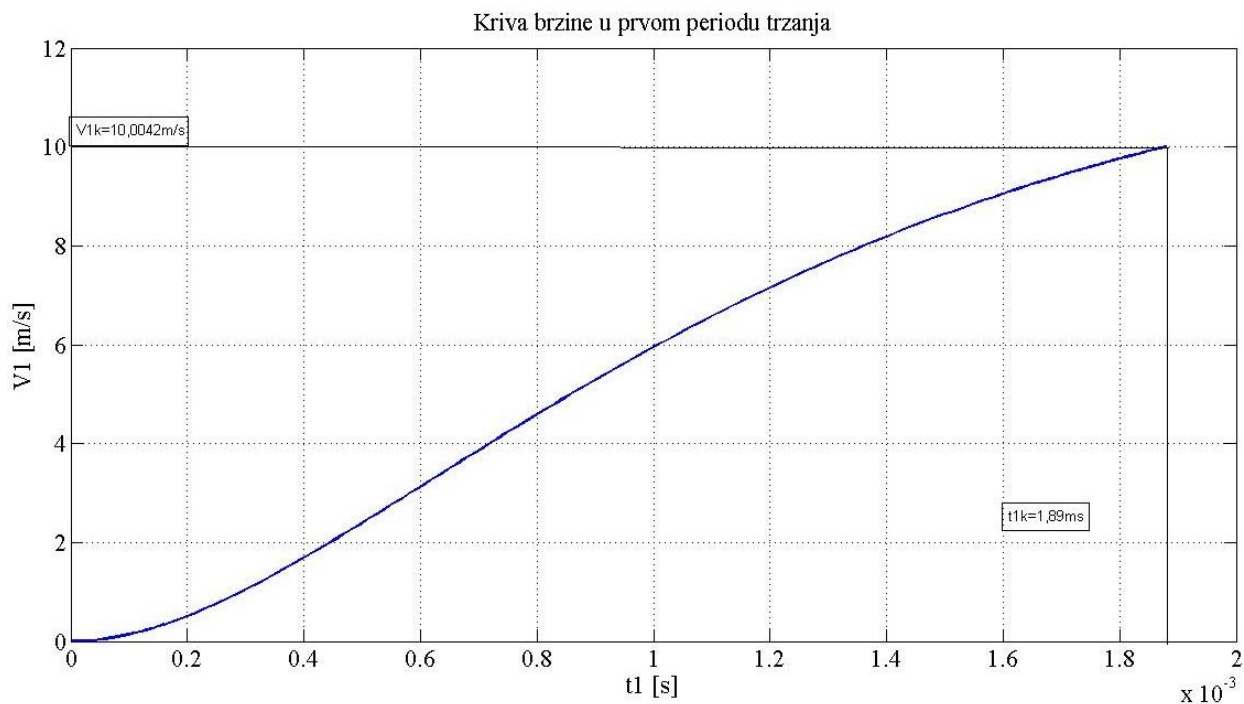


**Слика 6.1.6** Крива брзине у првом периоду трзања за позицију отвора  $x=0,26\text{m}$

За позицију отвора на растојању  $x=0,3\text{m}$  притисак барутних гасова на месту позајмице износи  $P_{\text{ф}}=780\text{bar}$ .



**Слика 6.1.7** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за позицију отвора  $x=0,3\text{m}$



**Слика 6.1.6** Крива брзине у првом периоду трзања за позицију отвора  $x=0,3m$

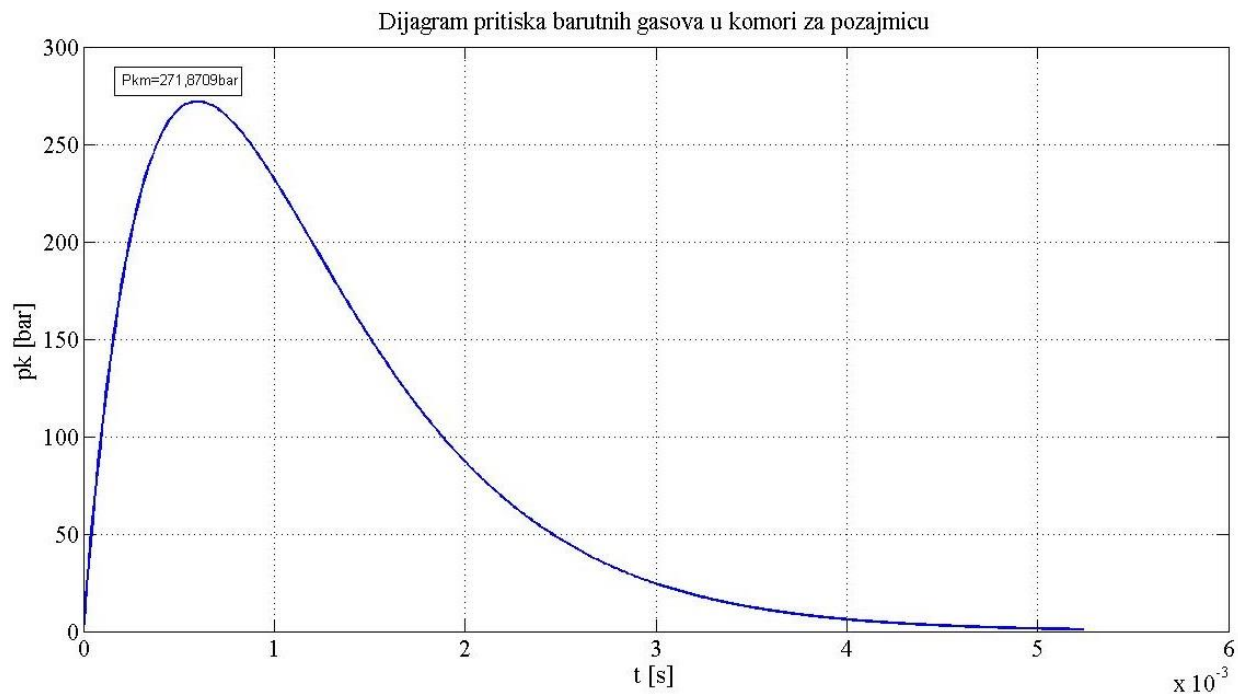
Поређење добијених вредности у односу на стандардне вредности је приказано у табели 6.1.1

**Табела 6.1.1** Вредности услед промене позиције отвора

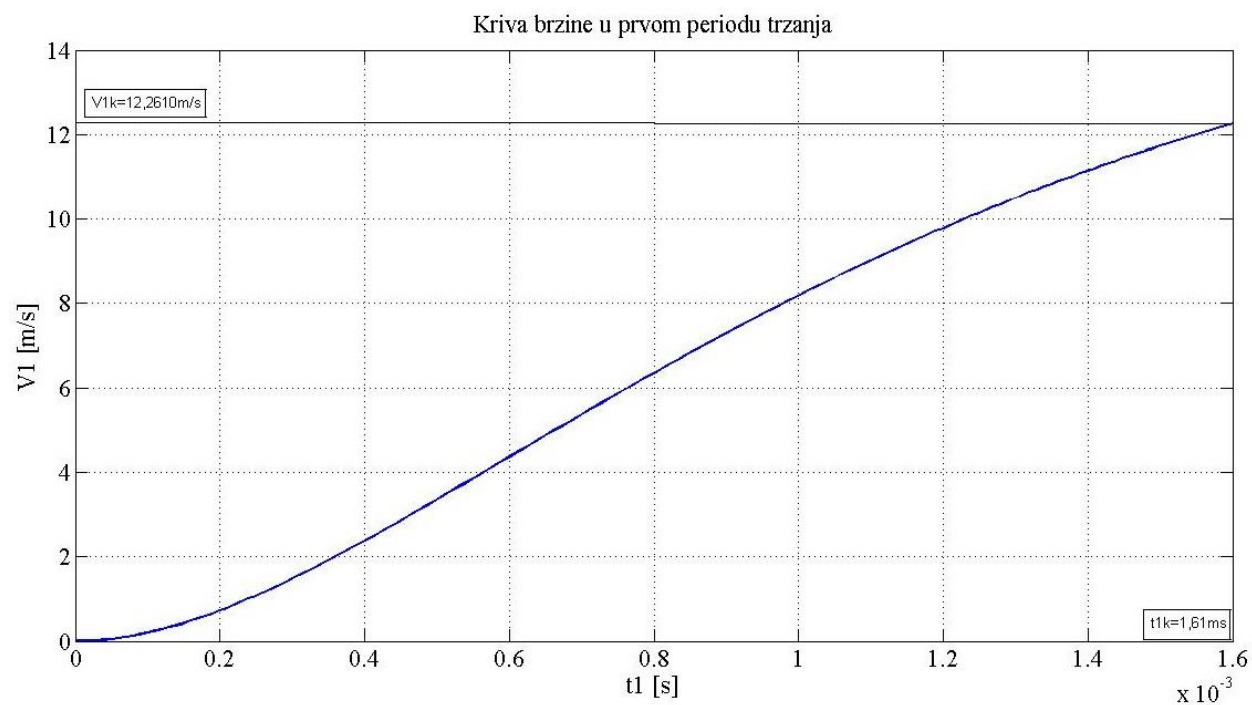
|                      | Норм. $X=0.21m$ | $X=0.13m$ | $X=0.16m$ | $X=0.26m$ | $X=0.3m$ |
|----------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| $P_{km}[\text{bar}]$ | 232,3725        | 265,2138  | 248,7344  | 216,1357  | 198,7994 |
| $V_{1k}[\text{m/s}]$ | 11,1107         | 12,0683   | 11,6099   | 10,5744   | 10,0042  |
| $t_{1k}[\text{ms}]$  | 1,7             | 1,63      | 1,69      | 1,81      | 1,89     |

## 6.2 Промена вредности пречника отвора барутних гасова

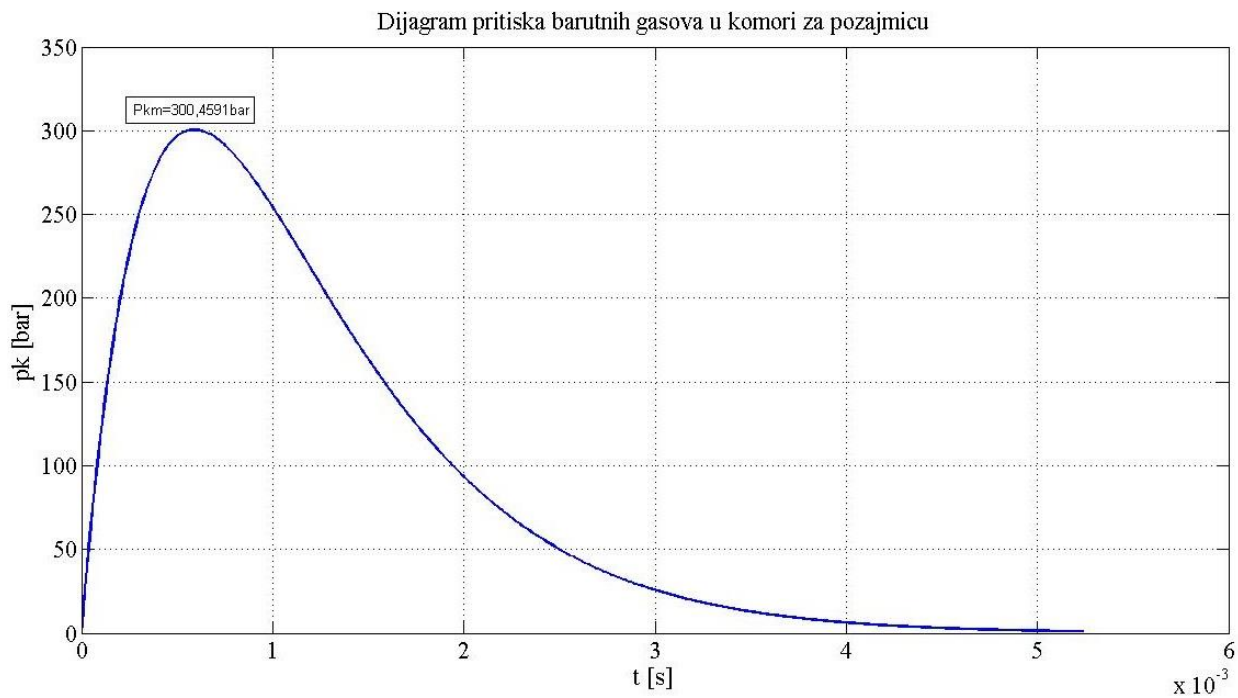
До повећања пречника отвора углавном долази због оштећења и истрошености материјала. Разматрана је промена криве притиска и брзине клипа при вредности пречника отвора  $d_{fi}=0.24\text{cm}$  и  $d_{fi}=0.28\text{cm}$ , што је приказано на сликама 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3 и 6.2.4.



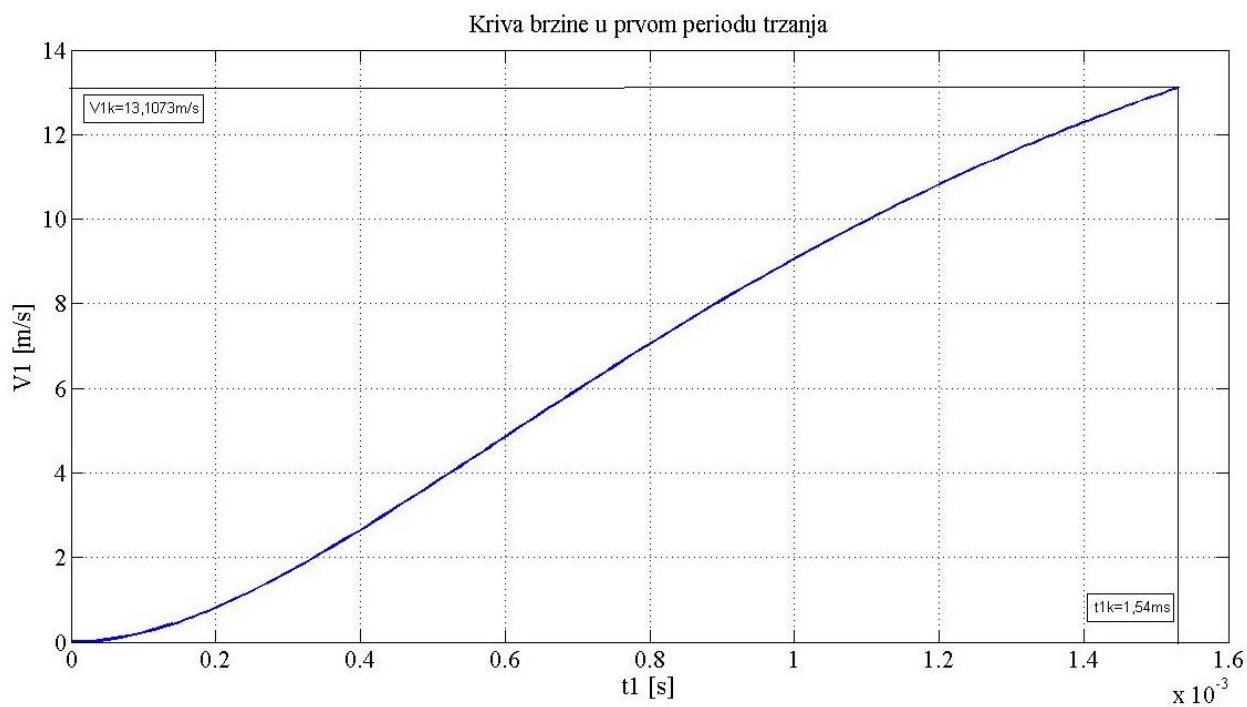
**Слика 6.2.1** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за вредност пречника отвора  $d_{\bar{n}} = 0.24 \text{ cm}$



**Слика 6.2.2** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност пречника отвора  $d_{\bar{n}} = 0.24 \text{ cm}$

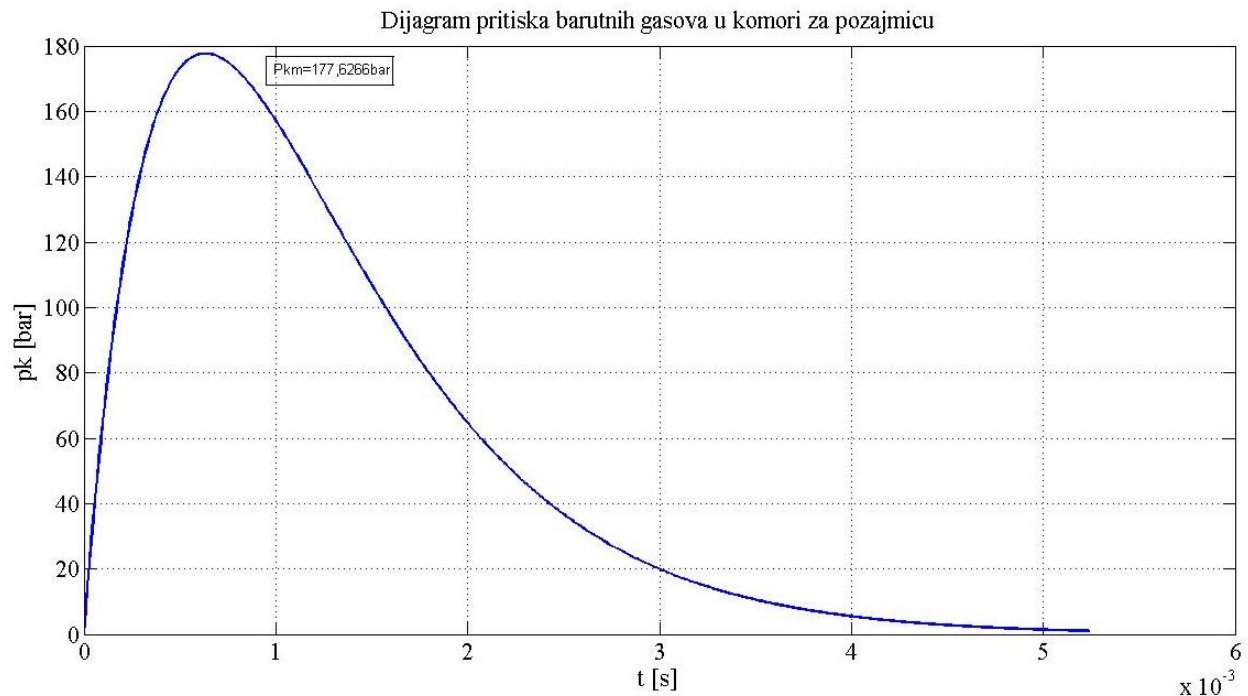


**Слика 6.2.3** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за вредност пречника отвора  $d_{\bar{r}}=0.28\text{cm}$

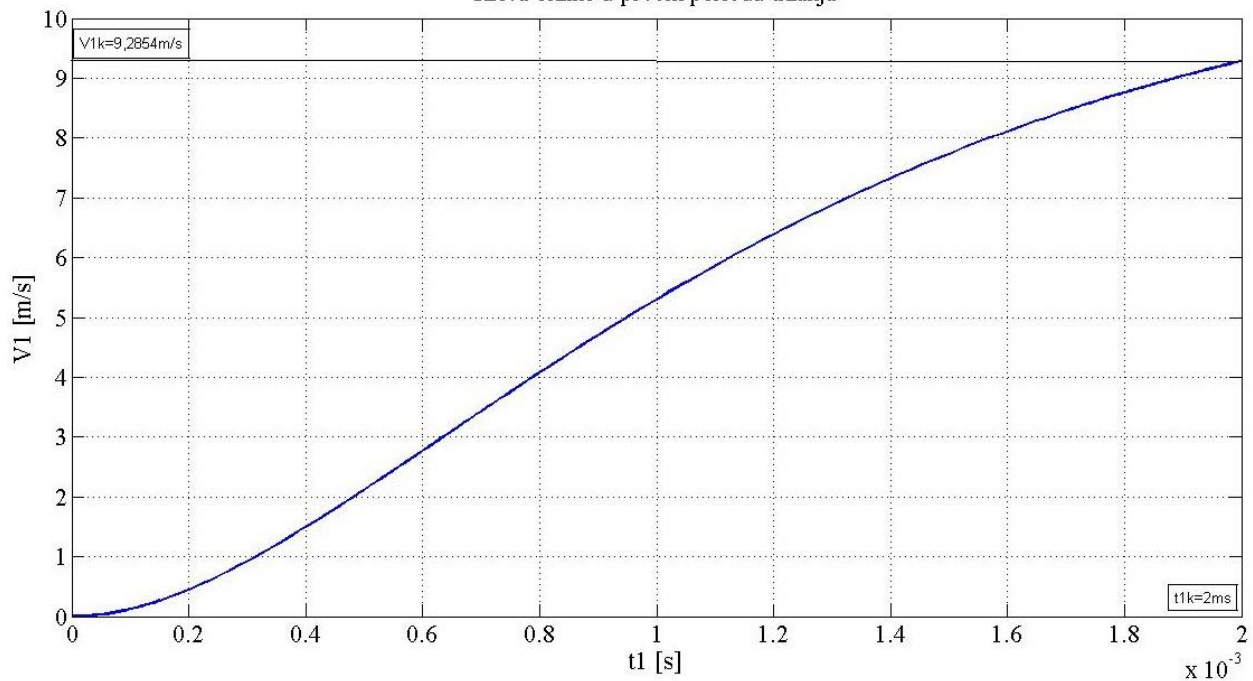


**Слика 6.2.4** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност пречника отвора  $d_{\bar{r}}=0.28\text{cm}$

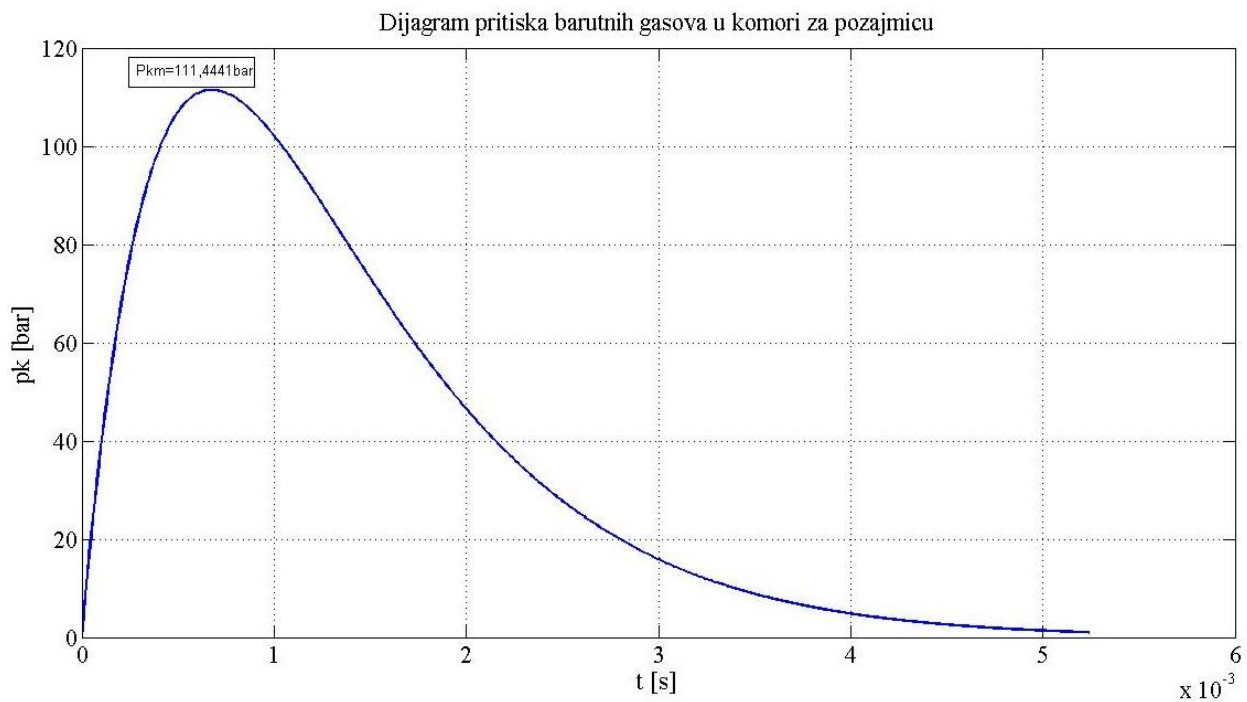
Следеће се разматра смањење пречника отвора за позајмицу гасова. До смањења долази услед запрљаности отвора. Дијаграм притиска барутних гасова у комори за позајмицу и крива брзине клипа у првом периоду трзања услед смањења пречника отвора су приказани на сликама 6.2.5, 6.2.6, 6.2.7, и 6.2.8.



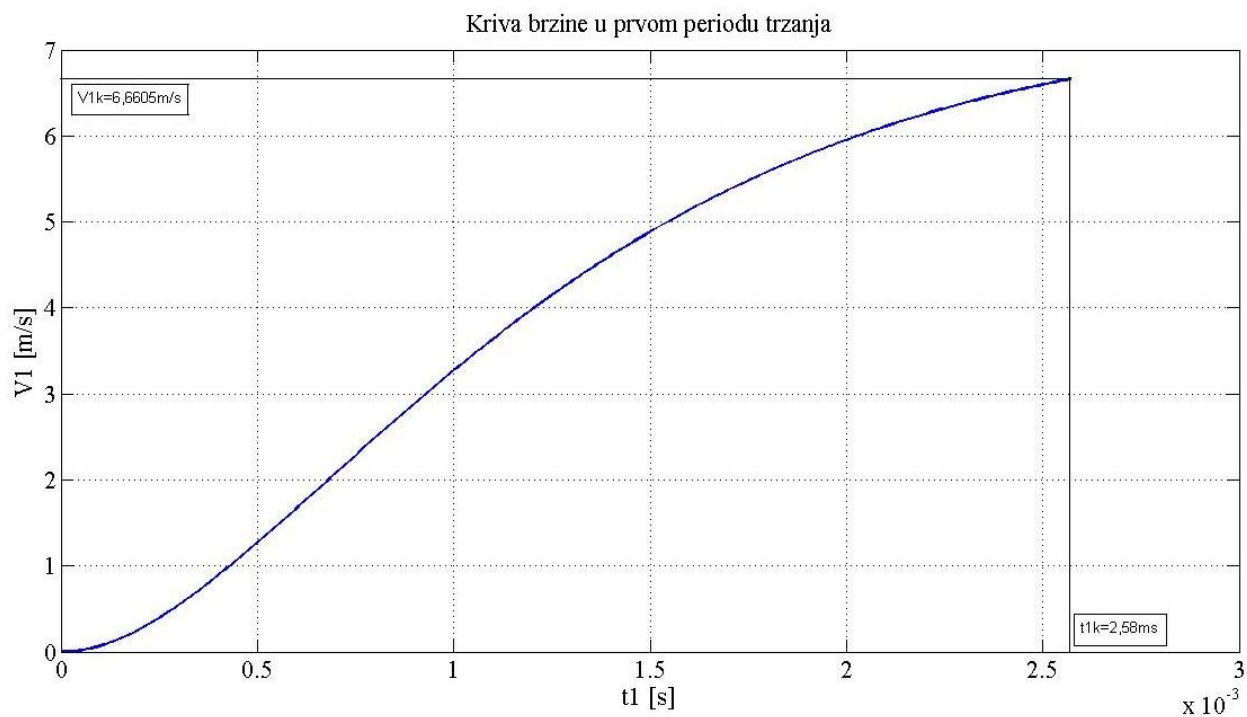
**Слика 6.2.5** Промена притиска б.г. у комори за вредност пречника отвора  $d_f=0.16\text{cm}$   
Kriva brzine u prvom periodu trzanja



**Слика 6.2.6** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност пречника отвора  $d_f=0.16\text{cm}$



**Слика 6.2.5** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за вредност пречника отвора  $d_{fi}=0.12 \text{ cm}$



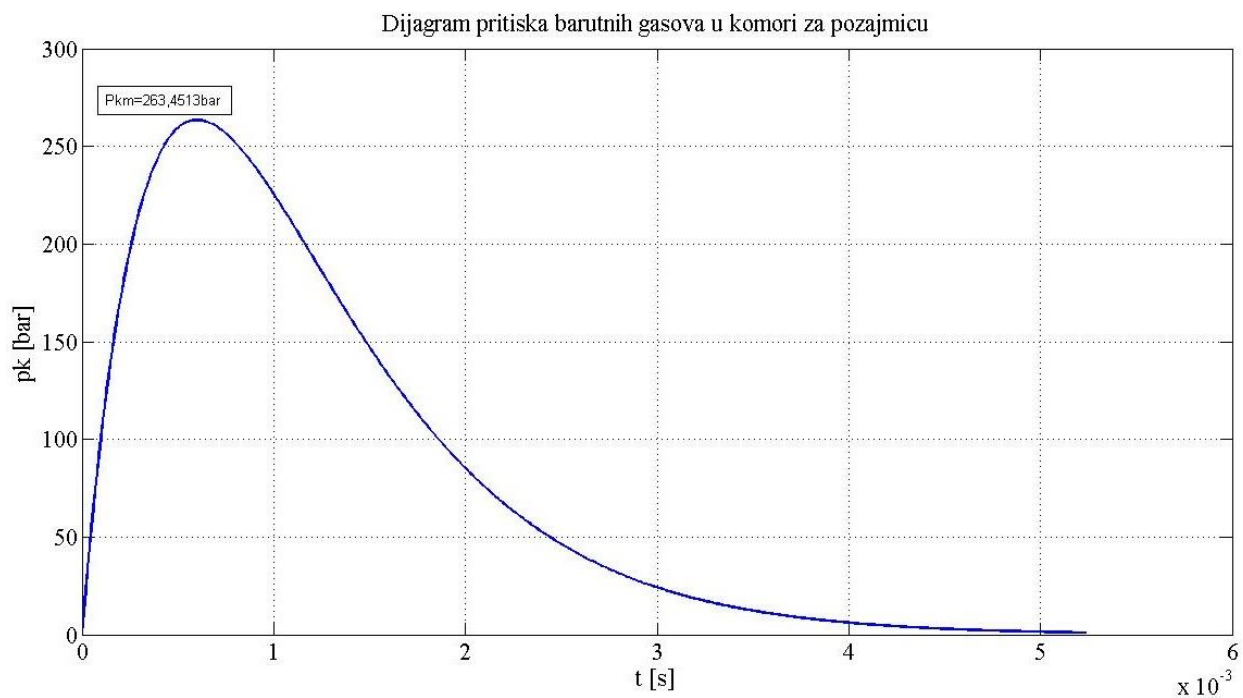
**Слика 6.2.8** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност пречника отвора  $d_{fi}=0.12 \text{ cm}$

**Табела 6.2.1** Вредности услед промене пречника отвора за позајмицу

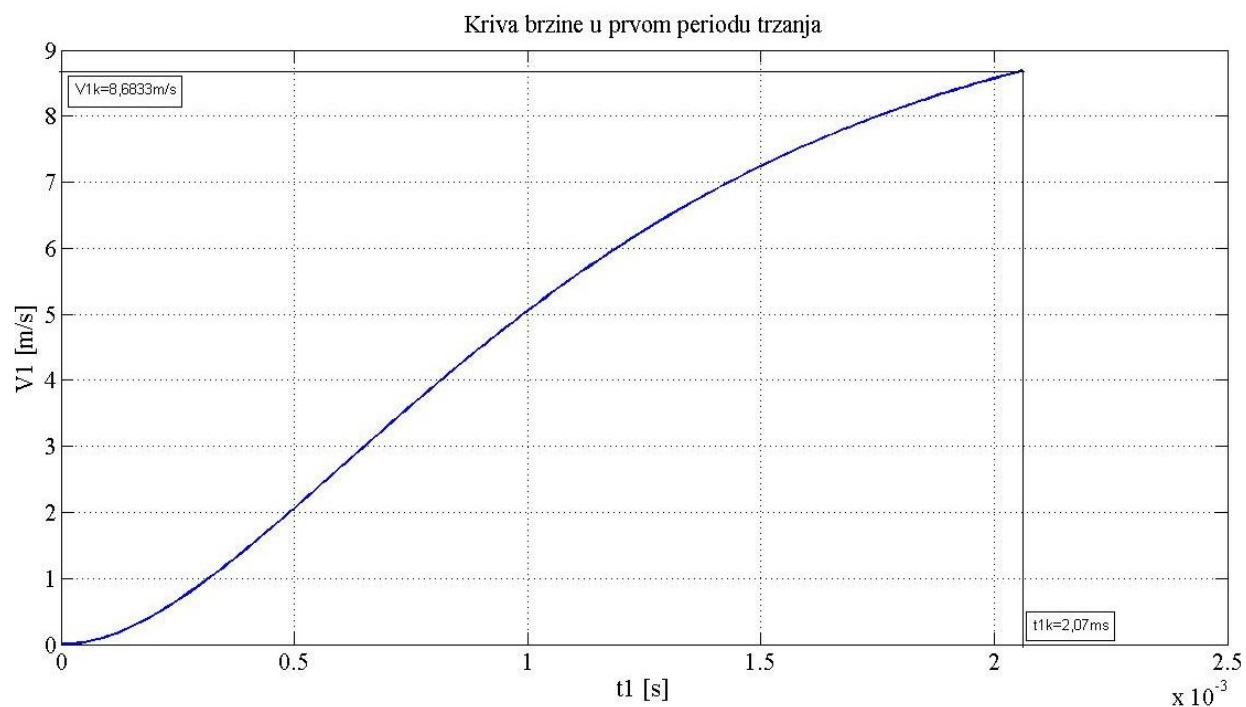
|                      | Нор. dfi =0.2cm | dfi =0.12cm | dfi =0.16cm | dfi =0.24cm | dfi =0.28cm |
|----------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $P_{km}[\text{bar}]$ | 232,3725        | 111,4441    | 177,6266    | 271,8709    | 300,4591    |
| $V_{1k}[\text{m/s}]$ | 11,1107         | 6,6605      | 9,854       | 12,2610     | 13,1073     |
| $t_{1k}[\text{ms}]$  | 1,7             | 2,58        | 2           | 1,61        | 1,54        |

### 6.3 Промена вредности пречника клипа

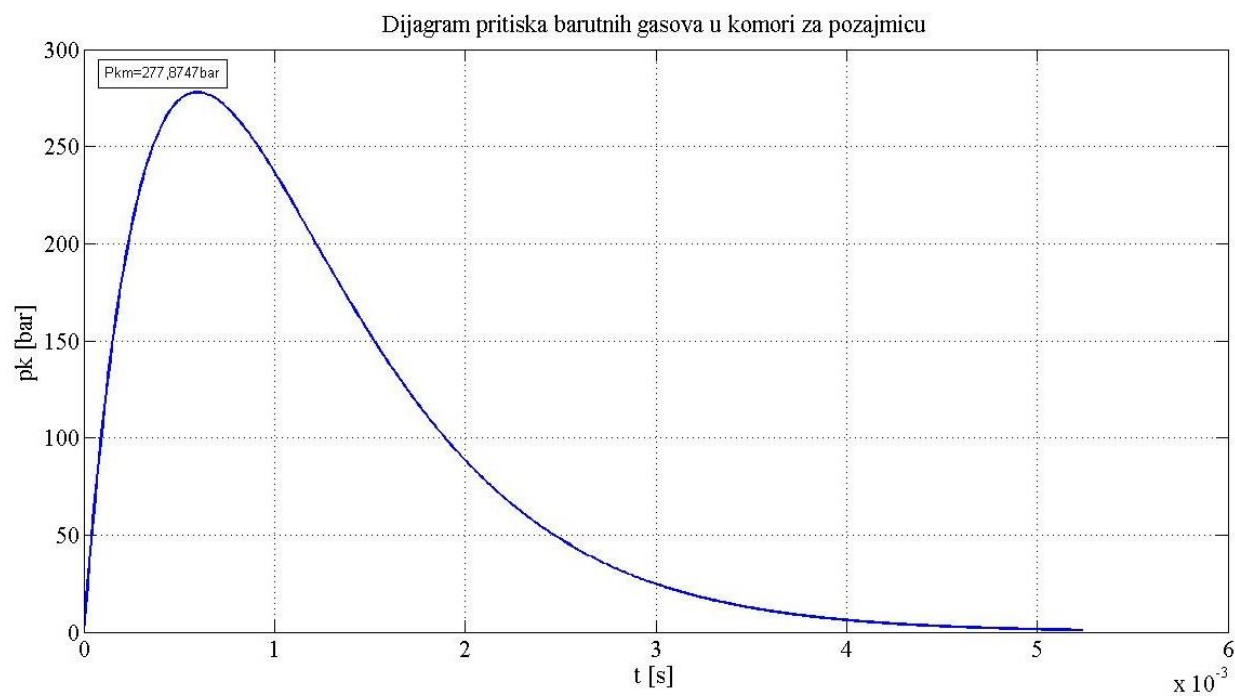
Пречник клипа је вариран у вредностима  $d_p=1\text{cm}$ ,  $d_p=1,1168\text{cm}$ ,  $d_p=1,6752\text{cm}$ , и  $d_p=1.9544\text{cm}$ . Криве промене притиска и брзине приказане су на сликама 6.3.1, 6.3.2, 6.3.3 и 6.3.4, а максималне вредности кључних параметара у табели 6.3.1.



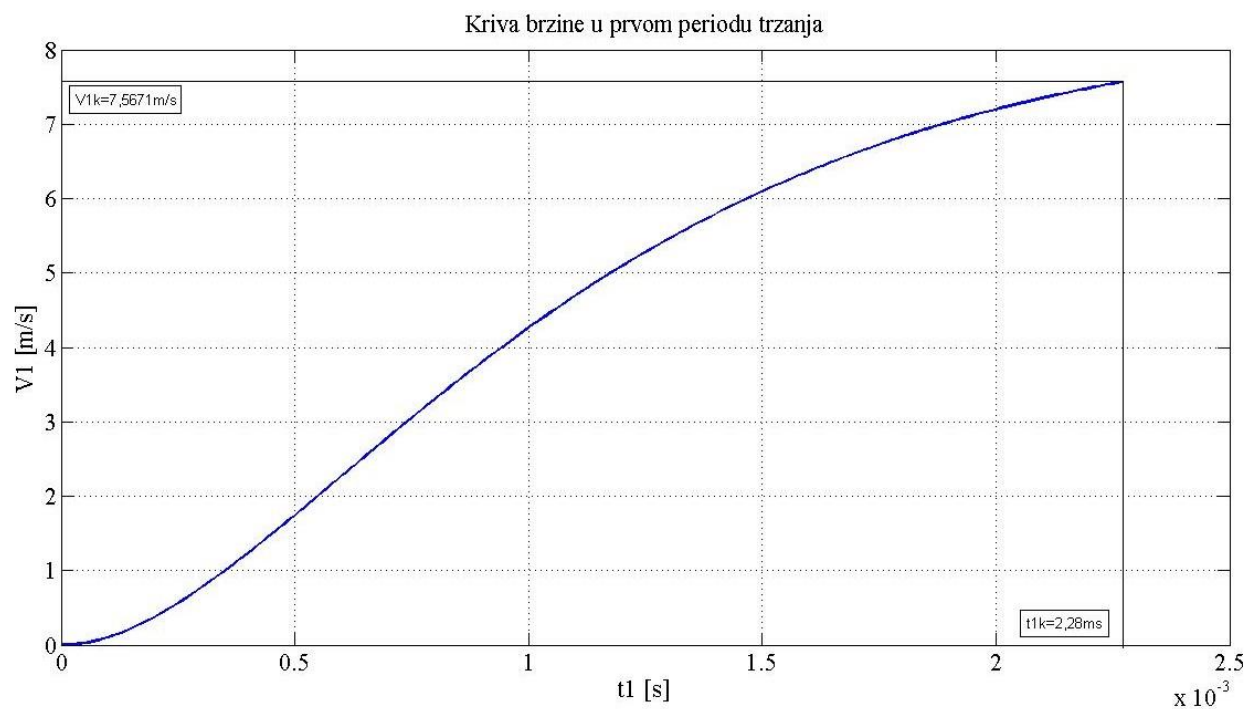
**Слика 6.3.1** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за вредност пречника клипа  $d_p=1.1168\text{cm}$



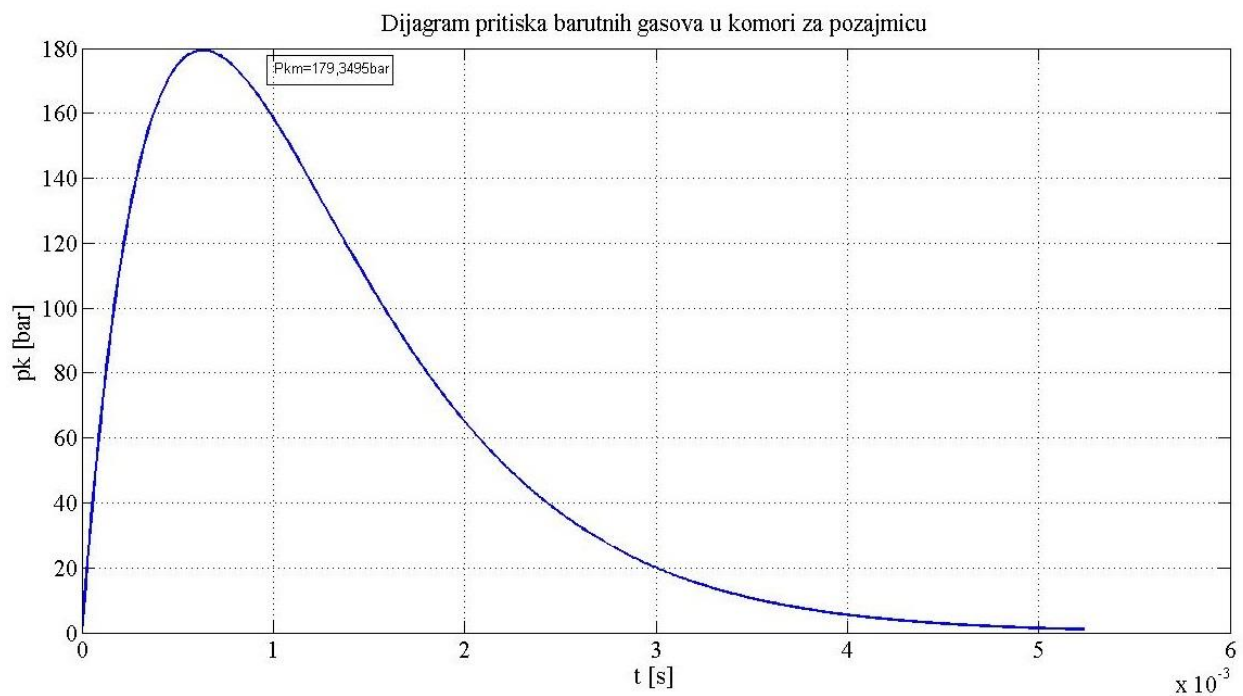
**Слика 6.3.2** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност пречника клипа  $d_p=1.1168\text{cm}$



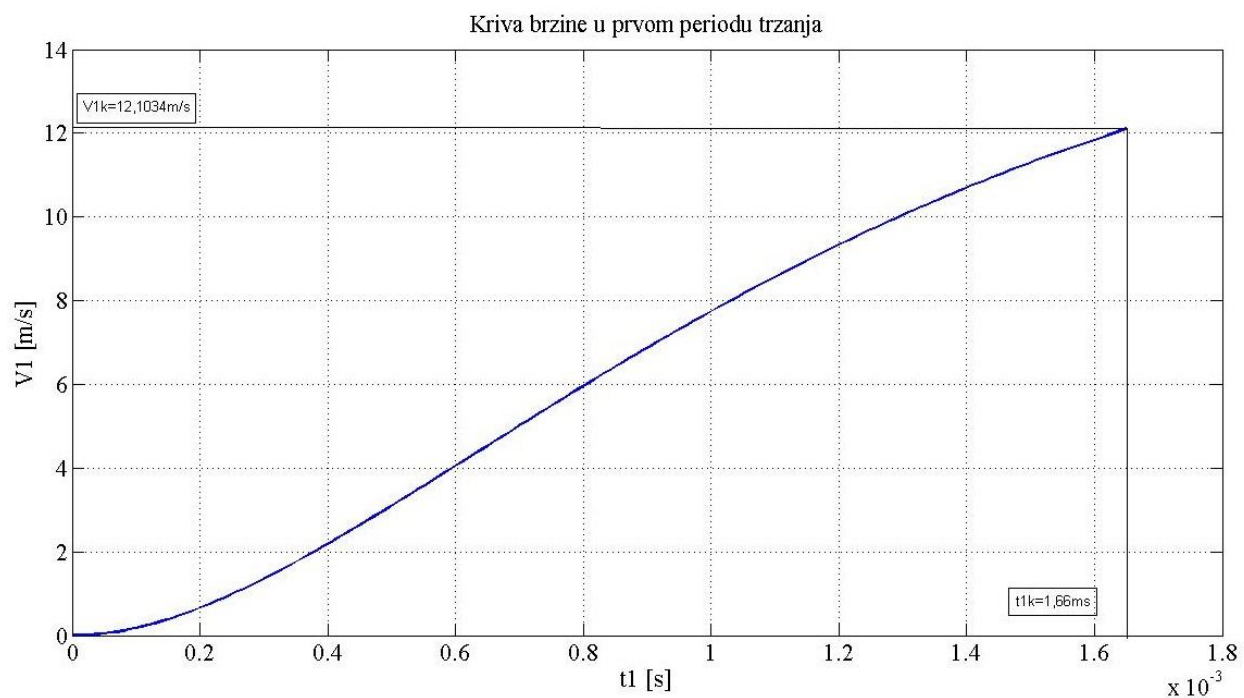
**Слика 6.3.3** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за вредност пречника клипа  $d_p=1\text{cm}$



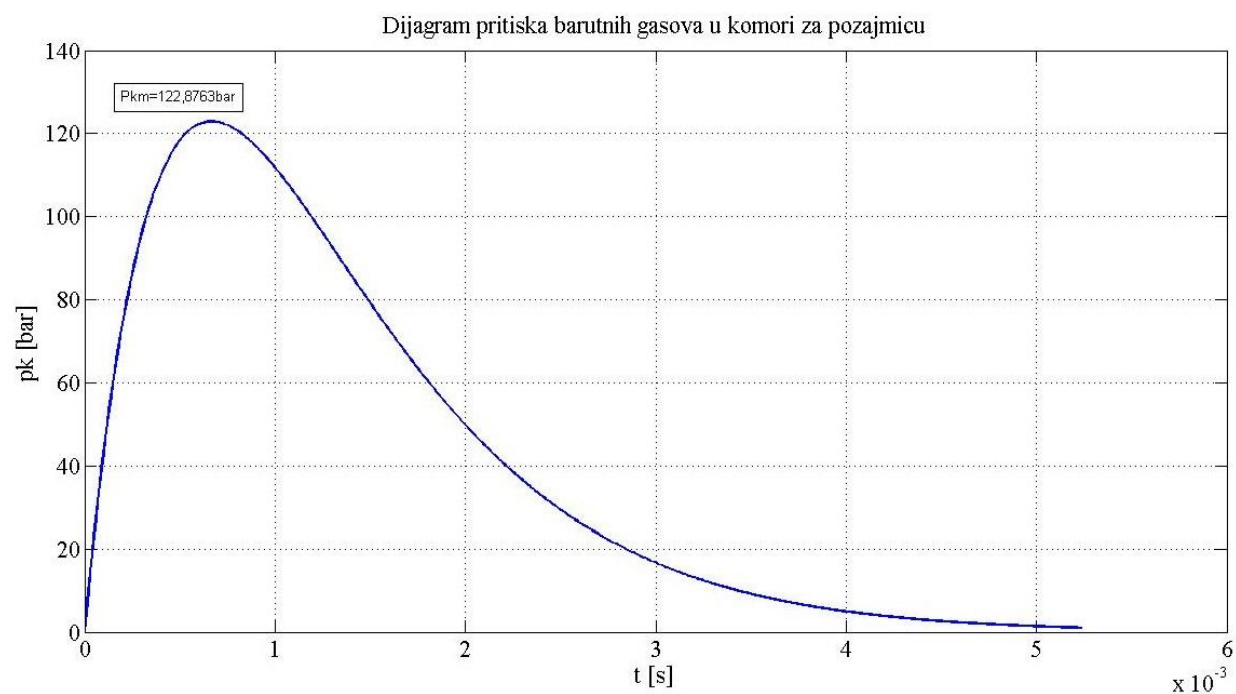
**Слика 6.3.4** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност пречника клипа  $d_p = 1 \text{ cm}$



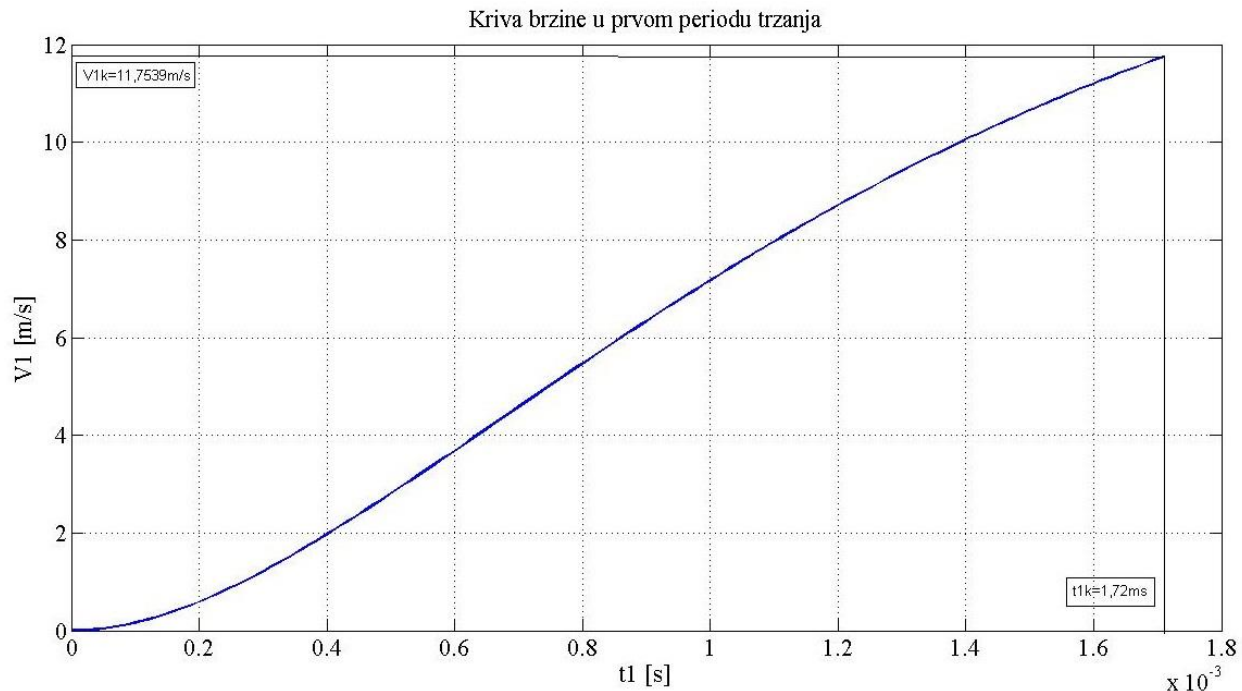
**Слика 6.3.5** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за вредност пречника клипа  $d_p = 1.6752 \text{ cm}$



**Слика 6.3.6** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност пречника клипа  $d_p=1,6752\text{cm}$



**Слика 6.3.7** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за вредност пречника клипа  $d_p=1,9544\text{cm}$



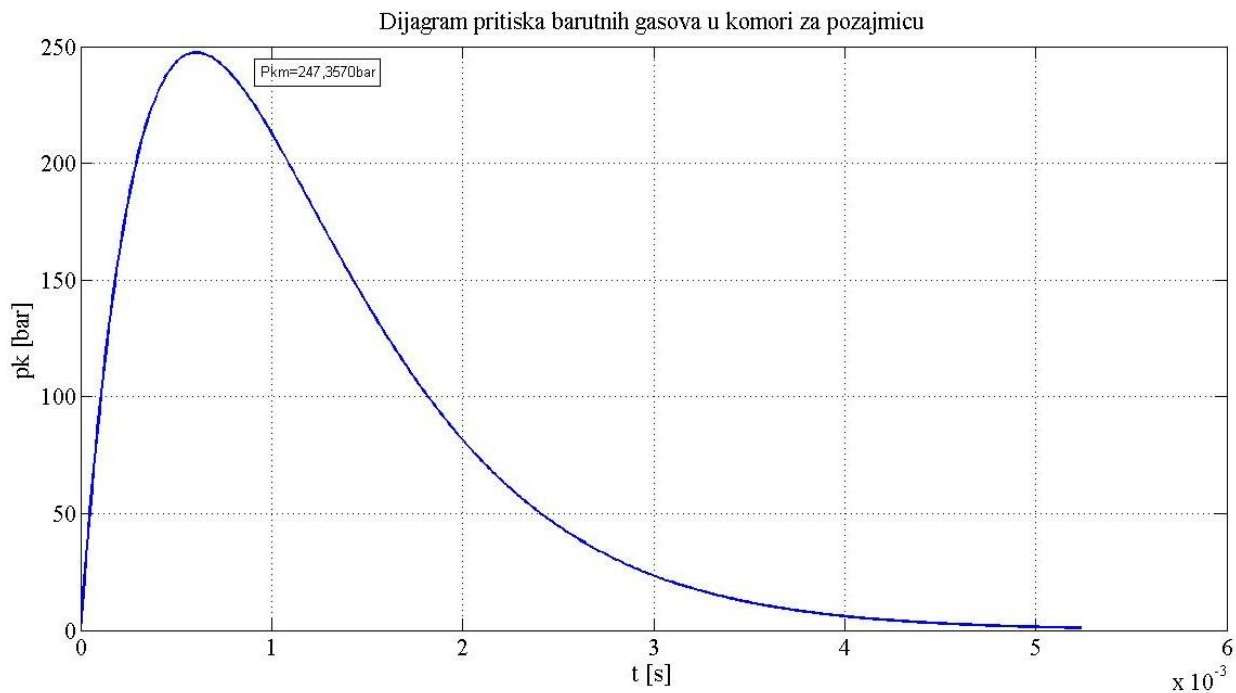
**Слика 6.3.8** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност пречника клипа  $d_p = 1,9544 \text{ cm}$

**Табела 6.3.1** Вредности услед промене пречника клипа

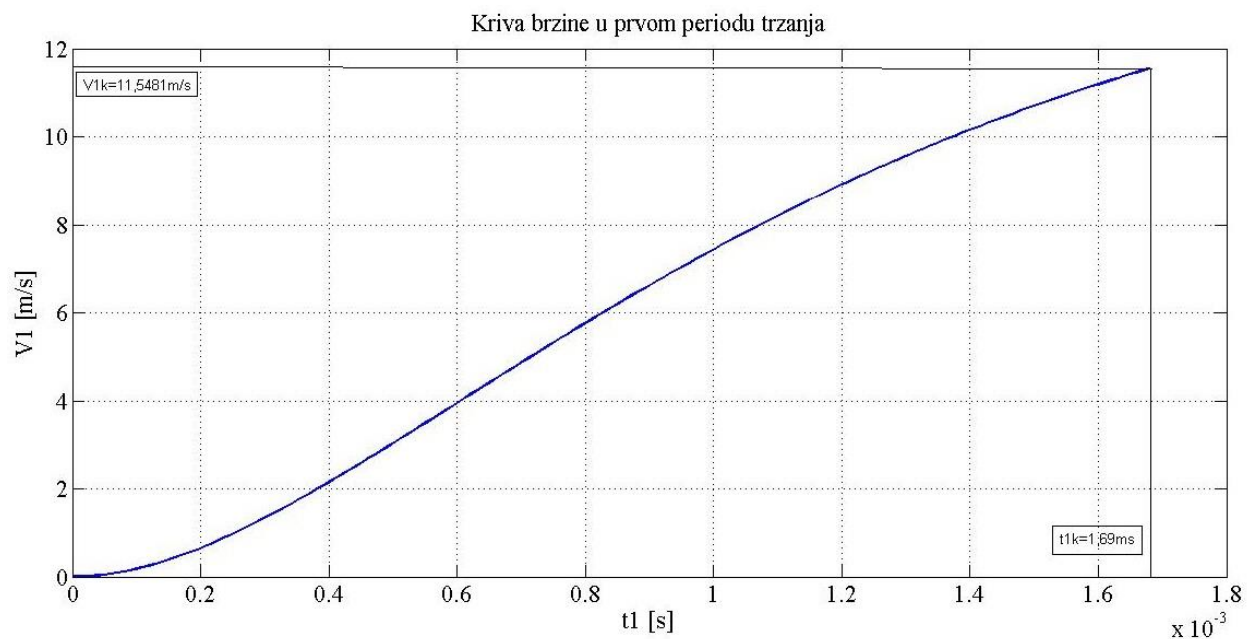
|                       | Нор. $d_p = 1.396 \text{ cm}$ | $d_p = 1 \text{ cm}$ | $d_p = 1.1168 \text{ cm}$ | $d_p = 1.6752 \text{ cm}$ | $d_p = 1.9544 \text{ cm}$ |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| $P_{km} [\text{bar}]$ | 232,3725                      | 277,8747             | 263,4513                  | 179,3795                  | 122,8763                  |
| $V_{1k} [\text{m/s}]$ | 11,1107                       | 7,5671               | 8,6833                    | 12,1034                   | 11,7539                   |
| $t_{1k} [\text{ms}]$  | 1,7                           | 2,28                 | 2,07                      | 1,66                      | 1,72                      |

## 6.4 Промена вредности запремине коморе за позајмицу

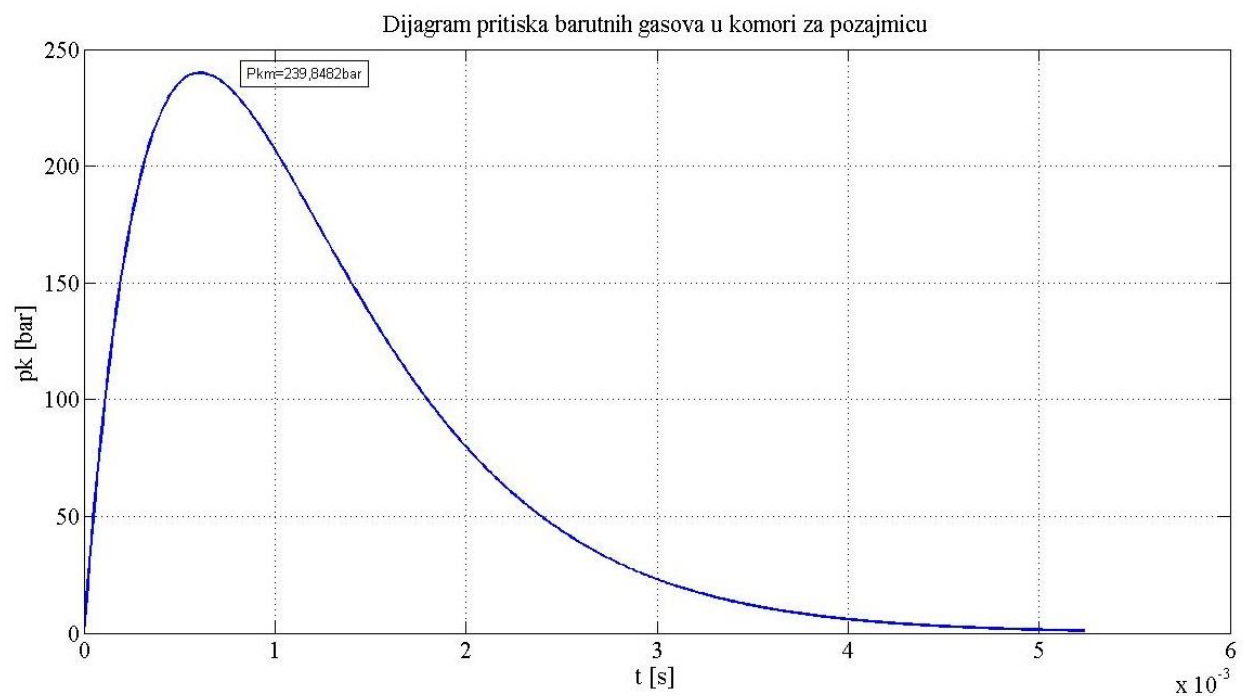
Последња конструкциона вредност која је варирана је запремина коморе за позајмицу. Из ставке 2.3 знамо да постоје четири основне врсте коморе код статичког типа позајмице. Тако да уколико повећавамо запремину коморе можемо да добијемо позајмицу са експанзионом комором, а у случају коморе са малом запремином, добијамо позајмицу са директним ударом.



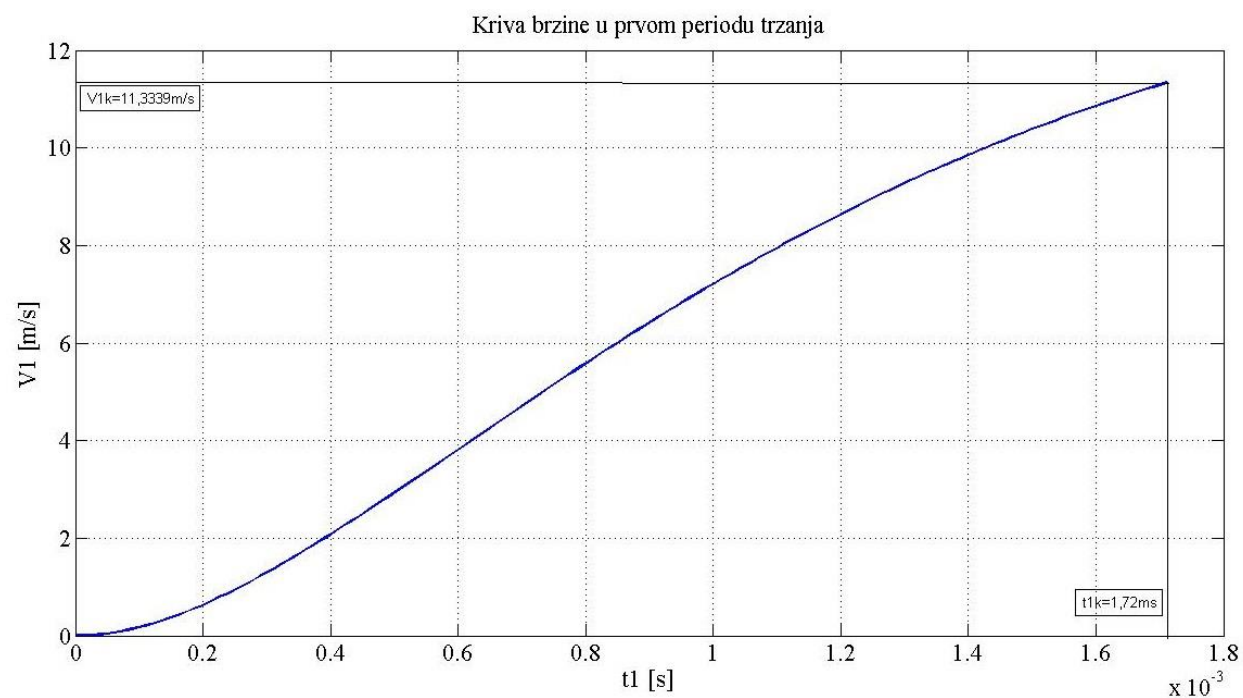
**Слика 6.4.1** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за вредност запремине коморе  $W_{\bar{r}}=0,9427\text{cm}^3$



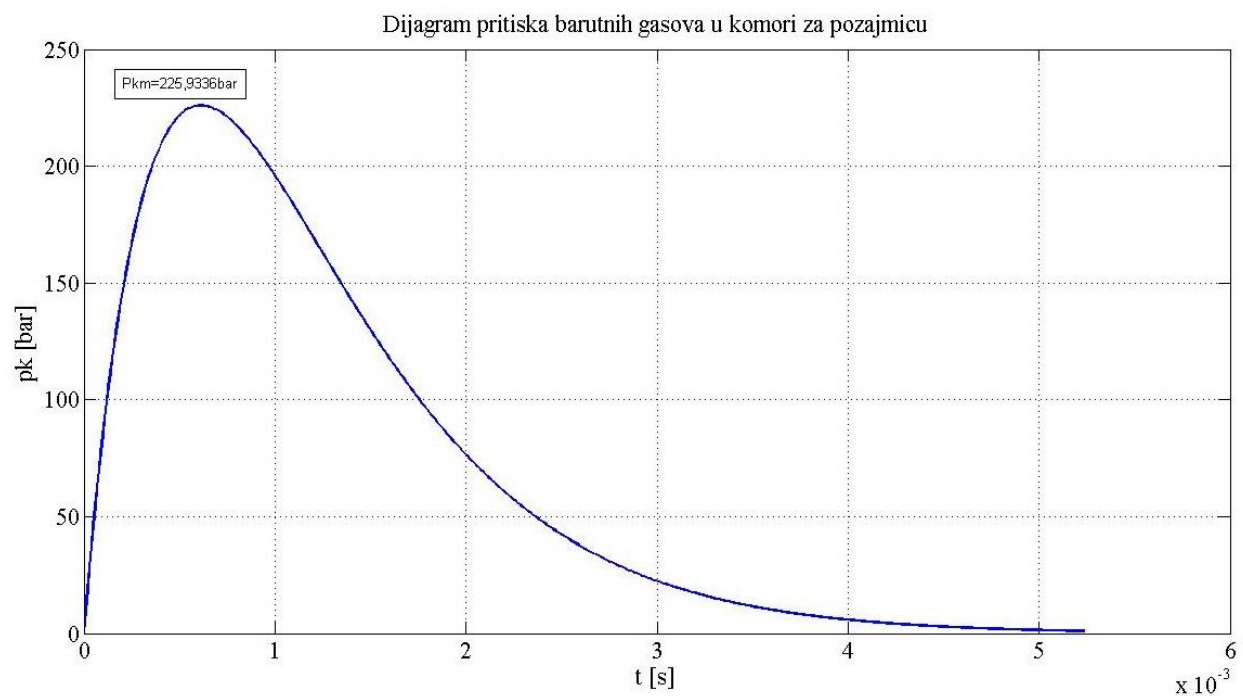
**Слика 6.4.2** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност запремине коморе  $W_{\bar{r}}=0,9427\text{cm}^3$



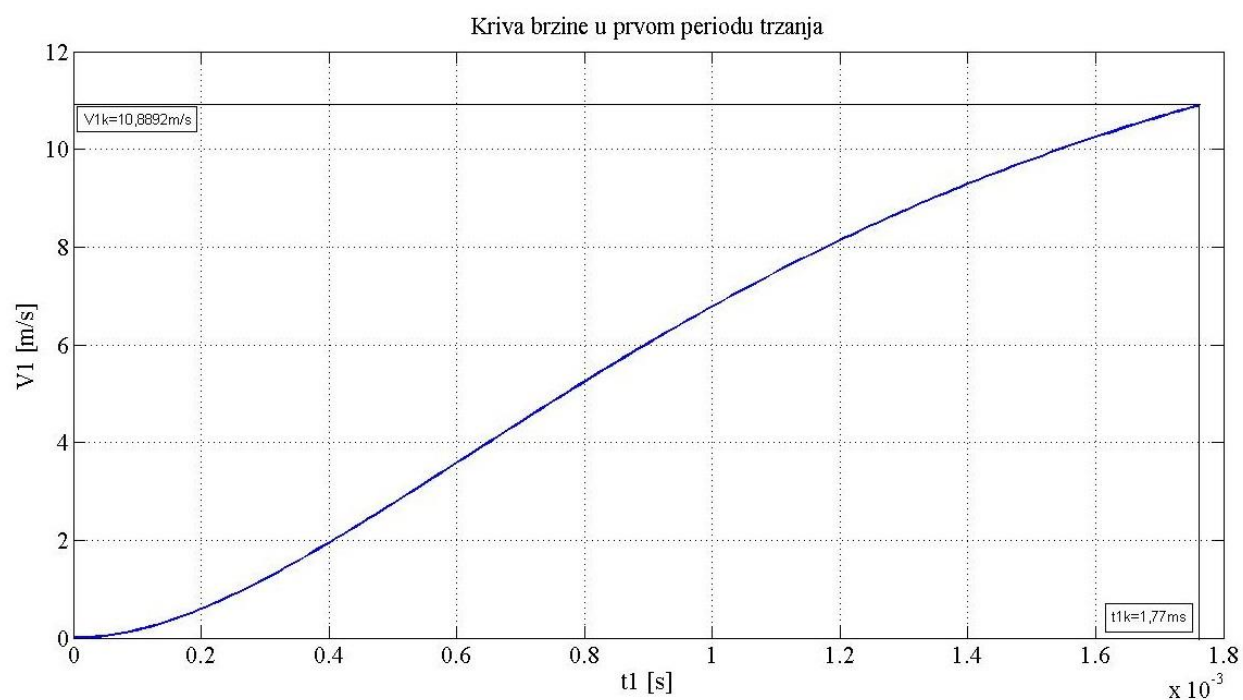
**Слика 6.4.3** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за вредност запремине коморе  $W_{fi}=1,2569 \text{ cm}^3$



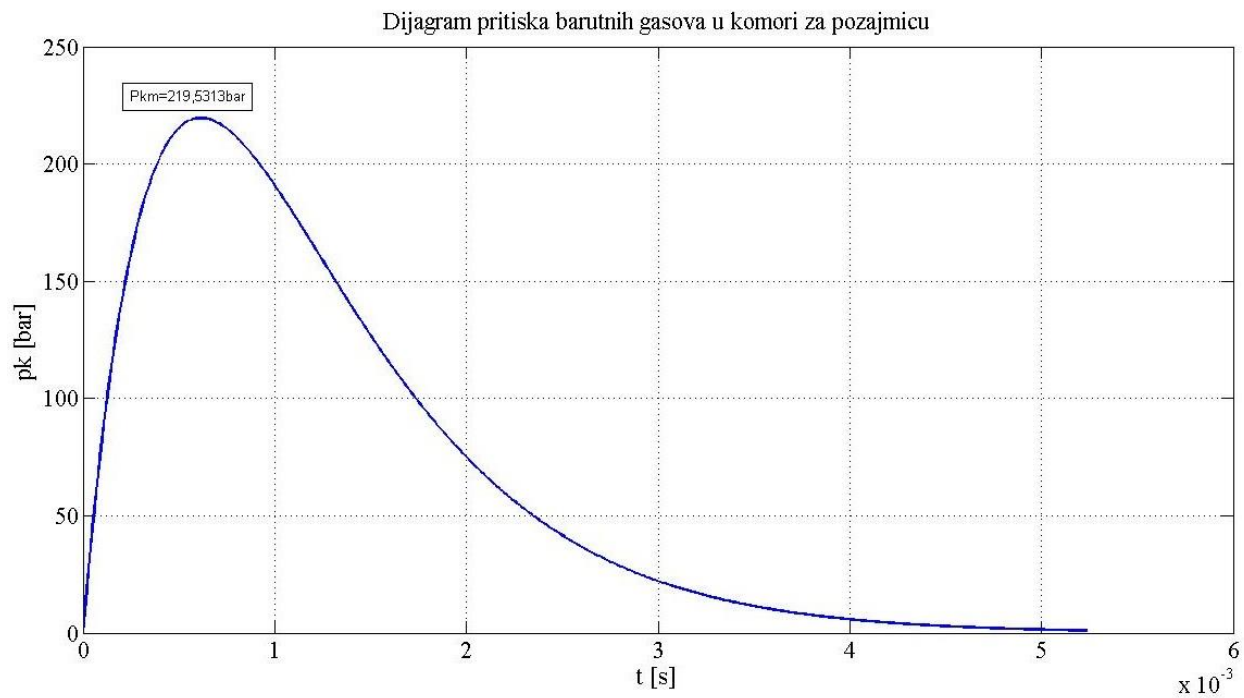
**Слика 6.4.4** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност запремине коморе  $W_{fi}=1,2569 \text{ cm}^3$



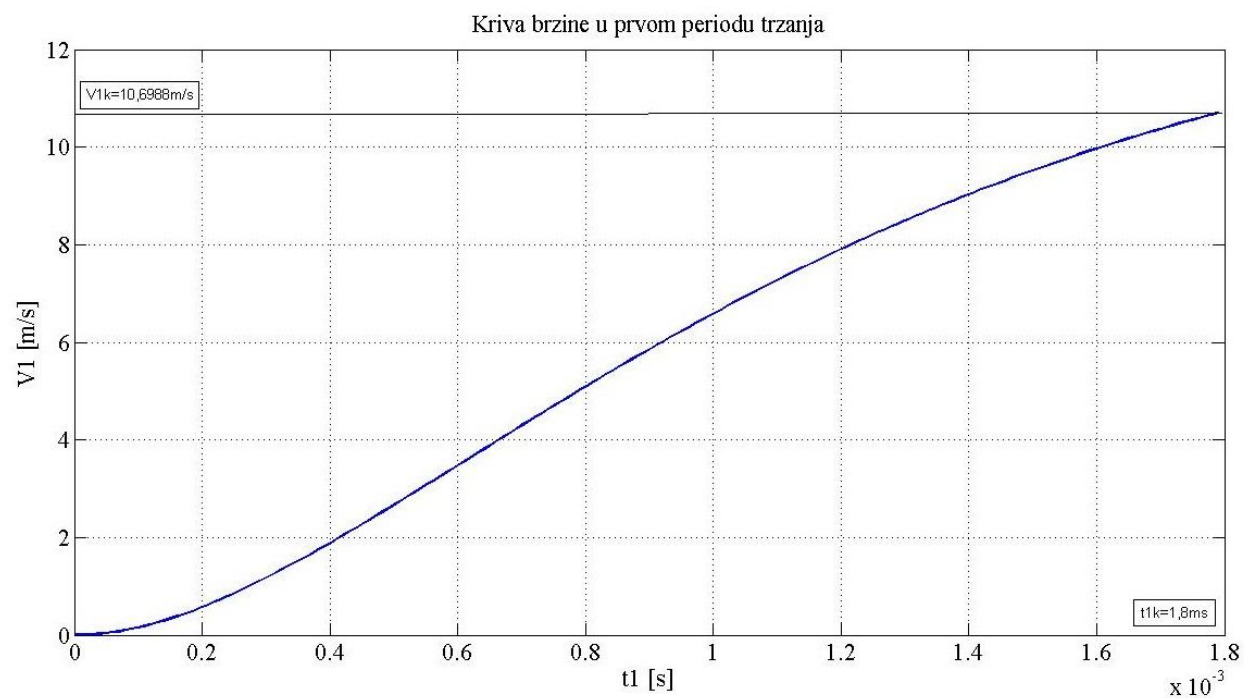
**Слика 6.4.5** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за вредност запремине коморе  $W_{\bar{r}} = 1,88532 \text{ cm}^3$



**Слика 6.4.6** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност запремине коморе  $W_{\bar{r}} = 1,22532 \text{ cm}^3$



**Слика 6.4.7** Промена притиска б.г. у комори за позајмицу за вредност запремине коморе  $W_{\bar{r}} = 2,19954 \text{ cm}^3$



**Слика 6.4.8** Крива брзине у првом периоду трзања за вредност запремине коморе  $W_{\bar{r}} = 0,9427 \text{ cm}^3$

**Табела 6.4.1** Вредности услед промене пречника клипа

|                       |          |          |          |          |          |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $W_{fi}[\text{cm}^3]$ | 1,5711   | 0,9427   | 1,2569   | 1,88532  | 2,19954  |
| $P_{km}[\text{bar}]$  | 232,3725 | 247,3570 | 239,8482 | 225,9366 | 219,5313 |
| $V_{1k}[\text{m/s}]$  | 11,1107  | 11,5481  | 11,3339  | 10,8892  | 10,6988  |
| $t_{1k}[\text{ms}]$   | 1,7      | 1,69     | 1,72     | 1,77     | 1,8      |

## 6.5 Компарација и анализа добијених резултата

Нормалне вредности  $P_{km}$ ,  $V_{1k}$  и  $t_{1k}$  аутоматске пушке 5,56мм М21 и све вариране вредности приказане су упоредно у табели 6.5.1. У првој колони се налазе стандардне вредности АП М21, следеће колоне представљају нове вредности које се добију ако се промени једна карактеристика, а остале остају непромењене.

**Табела 6.5.1** Компарација резултата

|                                                                                                                | $P_{km}[\text{bar}]$ | $V_{1k}[\text{m/s}]$ | $t_{1k}[\text{ms}]$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Нормална вредност<br>$X=0.21\text{m}$ , $d_{fi}=0.2\text{cm}$ ,<br>$d_p=1.396$ ,<br>$W_{fi}=1.5711\text{cm}^3$ | 232,3725             | 11,1107              | 1,7                 |
| $X=0.13\text{m}$                                                                                               | 265,2138             | 12,0683              | 1,63                |
| $X=0.16\text{m}$                                                                                               | 248,7344             | 11,6099              | 1,69                |
| $X=0.26\text{m}$                                                                                               | 216,1357             | 10,5744              | 1,81                |
| $X=0.30\text{m}$                                                                                               | 198,7994             | 10,0042              | 1,89                |
| $d_{fi}=0.12\text{cm}$                                                                                         | 111,4441             | 6,6605               | 2,58                |
| $d_{fi}=0.16\text{cm}$                                                                                         | 177,6266             | 9,8540               | 2,00                |
| $d_{fi}=0.24\text{cm}$                                                                                         | 271,8709             | 12,2610              | 1,61                |
| $d_{fi}=0.28\text{cm}$                                                                                         | 300,4591             | 13,1073              | 1,54                |
| $d_p=1\text{cm}$                                                                                               | 277,8747             | 7,5671               | 2,28                |
| $d_p=1.1168\text{cm}$                                                                                          | 263,4513             | 8,6833               | 2,07                |
| $d_p=1.6752\text{cm}$                                                                                          | 179,3795             | 12,1034              | 1,66                |
| $d_p=1.9544\text{cm}$                                                                                          | 122,8763             | 11,7539              | 1,72                |
| $W_{fi}=0.9427\text{cm}^3$                                                                                     | 247,3570             | 11,5481              | 1,69                |
| $W_{fi}=1.2569\text{cm}^3$                                                                                     | 239,8482             | 11,3339              | 1,72                |
| $W_{fi}=1.88532\text{cm}^3$                                                                                    | 225,9366             | 10,8892              | 1,77                |
| $W_{fi}=2.19954\text{cm}^3$                                                                                    | 219,5313             | 10,6988              | 1,80                |

Приближавањем отвора за позајмицу, притисак у повратнику расте, а одаљавањем опада. Исто се дешава са брзином клипа и временом у првом периоду трзања. Разлог је

промена притиска у цеви. На основу УБ прорачуна видимо да приближавањем отвора притисак барутних гасова расте, а одаљавањем опада, што директно утиче на притисак у повратнику.

Смањивањем отвора за позајмицу притисак, време и брзина опада, а повећањем расте. Када је отвор мањи, при истом времену кретања пројектила од одвода до уста цеви смањен је доток барутних гасова, па је притисак мањи, јер када пројектил напусти уста цеви, притисак нагло опадне.

Смањењем пречника клипа, притисак у комори за позајмицу расте, док време и брзина у првом периоду трзања опада, разлог лежи у мањој запремини цилиндра. Једначина стања  $PV=nRT$  нам говори да би смо повећали притисак, морамо да смањимо запремину.

Запремина коморе утиче тако да њеним повећањем притисак брзина и време опада, а смањењем запремина ове вредности расту. Разлог лежи у УБ прорачуну. Када пројектил прође преко отвора за позајмицу барутних гасова долази до наглог ширења запремине и као последица тога јавља се пад притиска у цеви. Дакле што је већа запремина, већи је пад притиска, и обрнуто.

Вредности параметара који утичу на притисак у повратнику су повећане и смањене за 20% и 40% у односу на стандардну вредност. На основу тога може да се формира табела која показује који параметар највише утиче на промену притиска у повратнику. У табели 6.5.2 се налазе вредности притиска  $P_{km}$  при повећању параметара за 20%.

**Табела 6.5.2 Нормална вредност  $P_{km}$  и вредност за параметре увећане за 20%**

|                             | $P_{km}[\text{bar}]$ | Разлика[bar] | Разлика[%] |
|-----------------------------|----------------------|--------------|------------|
| Нормална вредност           | 232,3725             | 0            | 0          |
| $X=0.26\text{m}$            | 216,1357             | 16,2368      | 6,987      |
| $d_{fi}=0.24\text{cm}$      | 271,8709             | 39,4984      | 16.998     |
| $d_p=1.6752\text{cm}$       | 179,3795             | 52,993       | 22.805     |
| $W_{fi}=1,88532\text{cm}^3$ | 225,9366             | 6.4395       | 2,771      |

Прорачуни указују да од напред наведених параметара највише утиче на величину притиска у комори повратника пречник клипа, затим пречник одвода барутних гасова, нешто слабије позиција отвора и на последњем месту запремина коморе.

## 7. Закључак

У овом дипломском раду је урађена анализа конструкционих параметара оружја на бази позајмице барутних гасова. Описан је систем позајмице, врсте система и типови позајмице. Најчешће примењиван систем је одвођење барутних гасова преко отвора на зиду цеви, док статички тип гасног повратника је најчешће примењени облик позајмице на аутоматском оружју.

Унутрашње-балистички прорачун је урађен по методи Дроздова. Овај метод се заснива на аналитичком решавању система једначина унутрашње балистике. Утврђен је максимални притисак барутних гасова у цеви аутоматске пушке М21 који износи  $P_m=359\text{MPa}$ , време које је протекло од опаљења до напуштања пројектила уста цеви  $t_u=0,97\text{ms}$ , пут који је пројектил прешао је  $x_u=0,43\text{m}$  и брзина пројектила на устима цеви  $V_0=916\text{m/s}$ .

Описане су две методе теоретског испитивања притисака барутних гасова у уређајима за позајмицу: метод Мамонтова М.А. (упрошћени) и метод Бравина Е.Л. Проф. Мамонтов је понудио прецизну методу испитивања параметара гаса у уређајима за позајмицу, засновану на истраживању закона гасне динамике и термодинамике. За разлику од Мамонтова, Бравин не посматра процес истицања гасова у комору као термодинамички процес, већ нуди емпиријски израз за изражавање притиска барутних гасова у комори гасова и на клипу главног склопа, како би најприближније правилно представио закон промене притиска гасова доспелих у комору гасова.

Алгоритам је израђен и формирана симулација у програмском пакету матлаб, који је намењен за прорачун параметара позајмице барутних гасова код АП 5,56mm М21. Програм је линијски и нема посебних улазних нити излазних датотека. Добијени резултати кључних параметара гаса у уређају за позајмицу су  $P_{km}=232,3725\text{bar}$ ,  $V_{1k}=11,1107\text{m/s}$ ,  $t_{1k}=1,7\text{ms}$ .

Како ће изгледати крива притиска у гасном цилиндру зависи од тога где се налази отвор за позајмицу барутних гасова, колико је велики отвор за позајмицу, од величине пречника клипа, почетне запремине коморе, тежине клипа, дијаметралног зазора између клипа и коморе. Варирањем ових података показало се како која величина утиче на притисак у гасном цилиндру.

Приближавањем отвора за позајмицу, односно повећавањем притиска барутних гасова на месту позајмице, притисак у гасном цилиндру расте. Повећањем отвора за позајмицу он расте, док повећањем пречника клипа и запремине коморе притисак у гасном цилиндру опада. Параметар који највише утиче на величину притиска у комори повратника је пречник клипа, затим пречник одвода барутних гасова, нешто слабије позиција отвора и на последњем месту запремина коморе.

# Литература

- [1] др Маринко Петровић: Механика аутоматског оружја, Медија центар „Одбрана“, Београд 2009.
- [2] <http://www.zastava-arms.rs/sr/militaryproduct/automatska-pu%C5%A1ka-m21>, септембар 2016.
- [3] др Александар Кари: Презентације са наставе Конструкција аутоматског наоружања, ФИН Крагујевац 2016.
- [4] дипл. инж. Милан Васиљевић: Аутоматско оружје I Део, ТИШЦ Ков, Загреб 1970.
- [5] др Милоје Цветковић: Унутрашња балистика, Војноиздавачки завод, Београд, 1998.
- [6] др Љубиша Танчић: Збирка задатака из унутрашњ балистике, Војна академија, Београд, 1997.
- [7] Зоран Ристић: Конструкција аутоматског наоружања, (писани материјал), Крагујевац, 2014.

# Прилози

## Прилог 1. Унутрашње-балистички прорачун

UB-PRORACUN DROZDOVLJEVOM METODOM

ORUDJE: AP 556 MM

BARUT: SB-511

JEDINICE PO SI SISTEMU MERA

POLAZNI PODACI

W0=.000002      S=.000025      XU=0.43      FI=1.0600      M= 0.004  
OM= 0.002      F= 953111.      DELM=1600.      ALFA=,00100      TETA=,270  
E0=.00014      AKAPA=1.25127      LAM=-.20031      U1=.805E-09      P0=.110E+08  
DOPZ=.0030 MIKA=.800      XOP=.1530  
GUSTINA PUNJENJA DELTA=992.

PRETHODNI PERIOD

Y0=0.00352      PSI0=0.00440      SIG0=0.99859

PRVI PERIOD

| I  | Y        | PSI      | V      | X     | P          | T       |
|----|----------|----------|--------|-------|------------|---------|
| 1  | 0.069951 | 0.086301 | 50.77  | 0.003 | 129838600. | 0.00018 |
| 2  | 0.136383 | 0.165989 | 101.54 | 0.008 | 225469744. | 0.00024 |
| 3  | 0.202815 | 0.243466 | 152.31 | 0.012 | 293869664. | 0.00028 |
| 4  | 0.269247 | 0.318730 | 203.08 | 0.018 | 336909504. | 0.00031 |
| 5  | 0.335679 | 0.391782 | 253.85 | 0.024 | 357621728. | 0.00034 |
| 6  | 0.402111 | 0.462621 | 304.63 | 0.032 | 359728864. | 0.00037 |
| PM | 0.347745 | 0.404813 | 263.08 | 0.025 | 359271904. | 0.00035 |
| 7  | 0.468543 | 0.531249 | 355.40 | 0.040 | 347218496. | 0.00040 |
| 8  | 0.534975 | 0.597663 | 406.17 | 0.051 | 323996416. | 0.00042 |
| 9  | 0.601407 | 0.661866 | 456.94 | 0.064 | 293635552. | 0.00045 |
| 10 | 0.667839 | 0.723856 | 507.71 | 0.080 | 259223600. | 0.00049 |
| 11 | 0.734272 | 0.783634 | 558.48 | 0.100 | 223295856. | 0.00053 |
| 12 | 0.800704 | 0.841199 | 609.25 | 0.126 | 203848608. | 0.00057 |
| 13 | 0.867136 | 0.896553 | 660.02 | 0.159 | 167448800. | 0.00062 |
| 14 | 0.933568 | 0.949693 | 710.79 | 0.203 | 134225696. | 0.00069 |
| 15 | 1.000000 | 1.000622 | 761.56 | 0.263 | 104845816. | 0.00077 |

DRUGI PERIOD

| I  | X     | V      | P         | T       |
|----|-------|--------|-----------|---------|
| 16 | 0.279 | 764.25 | 96862768. | 0.00079 |
| 17 | 0.296 | 803.71 | 89960320. | 0.00081 |
| 18 | 0.313 | 822.07 | 83906312. | 0.00083 |
| 19 | 0.330 | 838.70 | 78544952. | 0.00085 |
| 20 | 0.346 | 854.09 | 73767256. | 0.00087 |

|           |       |        |           |         |
|-----------|-------|--------|-----------|---------|
| <b>21</b> | 0.363 | 868.33 | 69485832. | 0.00089 |
| <b>22</b> | 0.380 | 881.58 | 65629600. | 0.00091 |
| <b>23</b> | 0.397 | 893.93 | 62140240. | 0.00093 |
| <b>24</b> | 0.413 | 905.50 | 58969460. | 0.00095 |
| <b>25</b> | 0.430 | 916.36 | 56076928. | 0.00097 |

## Прилог 2. Програмско решење КомораM21

%KomoraM21

%Proracun komore gasnog povratnika AP 5,56 mm M21;

d = 0.00556; %(m)- kalibar cevi;

m = 0.004; %(kg) - masa projektila;

omega = 0.002; %(kg) - masa barutnog punjenja;

M = 0.4; %(kg) - masa nosaca zatvaraca+1/3 mase povr. opruge;

v0 = 916; %(m/s) - pocetna brzina projektila;

pmax = 3600; %(daN/cm2)ili(bar)-max. pritisak bar. gasova;

pd = 560; %(bar) - pritisak bar. gasova na ustima cevi;

pfi = 1300; %(bar) - pritisak bar. gasova na mestu pozajmice;

dfi = 0.2; %(cm) - precnik odvoda barutnih gasova;

dp = 1.396; %(cm) - precnik klipa;

deltadp = 0.0048; %(cm) - dijametralni zazor izmedju klipa i komore;

Wfi = 1.5711; %(cm3) - pocetna zapremina komore;

Lprim = 0.43; %(m) - svedena duzina cevi;

tp = 0.00030; %(s) - vreme kretanja projektila od odvoda do usta cevi;

Fo = 29.5; %(N) - pocetna sila povratne opruge;

c = 0.24; %(N/mm) - krutost povratne opruge;

f = 0.13; % koeficijent trenja klizanja;

%Izracunavanje koeficijenata A i beta;

C = 1.5; % (eksperimentalni podatak)

g = 9.81; % (m/s2) - ubrzanje zemljine teze;

beta = C.\*(d./v0).\*(sqrt(pd.\*Lprim.\*g/omega.\*10000));

A = 0.365.\*(beta.^2/(beta-0.5)).\*v0./Lprim;

%Ukupni jedinicni impuls i vreme isticanja bar. gasova;

i0 = (pd+pfi)./2.\*tp + pd./A;

T = (1./A).\*log(pd);

%Proracun relativnih parametara kretanja;

Sigmap = (dp.^2./dfi.^2);

Sigmadelat = (2.\*dp.\*deltadp)./(dfi.^2) ;

Sigma0 = Wfi./(dfi.^2.\*pi/4);

Sigmaq = M.\*g./(g.\*(dp.^2.\*pi/4));

%Koeficijent Eta0;

Sigmadelat1

=[0,0.25,0.50,0.75,1.00,1.50,2.00,2.50,3.00,3.50,4.00,4.50,5.00,5.50,6.00,6.50,7.00] ;

```
Sigmap1 = [0,10,20,30,40,50,60,70,80,90,100,125,150,175,200,225,250]';
```

```
Etal
```

```
=[1.00,0.803,0.685,0.598,0.526,0.411,0.327,0.260,0.213,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.960,0.813,0.703,0.616,0.545,0.430,0.345,0.278,0.228,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.905,0.804,0.713,0.633,0.562,0.448,0.363,0.296,0.244,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.855,0.777,0.705,0.637,0.576,0.465,0.380,0.318,0.260,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.805,0.744,0.687,0.631,0.577,0.479,0.395,0.327,0.275,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.761,0.709,0.660,0.614,0.567,0.485,0.407,0.342,0.288,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.720,0.676,0.632,0.591,0.551,0.477,0.413,0.353,0.300,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.681,0.641,0.603,0.566,0.532,0.465,0.408,0.357,0.309,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.644,0.609,0.574,0.542,0.511,0.451,0.400,0.353,0.313,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.610,0.578,0.544,0.517,0.488,0.435,0.388,0.346,0.310,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.579,0.549,0.520,0.494,0.468,0.419,0.376,0.338,0.303,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.510,0.487,0.463,0.441,0.420,0.382,0.346,0.313,0.283,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.455,0.436,0.416,0.399,0.381,0.350,0.320,0.291,0.265,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.409,0.394,0.378,0.362,0.348,0.322,0.297,0.272,0.250,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.371,0.358,0.344,0.331,0.319,0.298,0.276,0.256,0.237,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.340,0.329,0.317,0.306,0.296,0.277,0.259,0.241,0.226,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```
0.314,0.303,0.294,0.284,0.275,0.258,0.243,0.229,0.218,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00];
```

```

Eta0 = interp2(Sigmadelat1,Sigmap1,Eta1,Sigmadelat,Sigmap, 'linear');

%Koeficijent Ni0;
Sigmap2= (0:50:300);
Sigma02 = (0:50:300)';
Ni1 =[1 1 1 1 1 1 1;
      0.85 0.88 0.90 0.92 0.94 0.96 0.98;
      0.74 0.78 0.82 0.86 0.90 0.93 0.96;
      0.66 0.71 0.76 0.81 0.86 0.90 0.94;
      0.60 0.66 0.71 0.77 0.82 0.87 0.92;
      0.55 0.61 0.67 0.73 0.79 0.85 0.90;
      0.50 0.57 0.63 0.70 0.76 0.83 0.89];

Ni0 = interp2(Sigmap2,Sigma02,Ni1,Sigmap,Sigma0, 'linear');

%Koeficijent Niq;
Sigmap3 = 0:50:500;

Sigmaq3 = [0.10,0.15,0.20,0.25,0.30,0.35,0.40,0.45,0.50,0.60,0.70]';

Ni2 = [0.85 0.64 0.55 0.52 0.51 0.50 1 1 1 1 1;
      0.92 0.82 0.76 0.73 0.72 0.71 1 1 1 1 1;
      0.97 0.92 0.91 0.90 0.89 0.88 1 1 1 1 1;
      1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1 1 1 1 1;
      1.02 1.04 1.06 1.08 1.10 1.12 1 1 1 1 1;
      1.03 1.07 1.11 1.16 1.20 1.23 1 1 1 1 1;
      1.04 1.11 1.17 1.23 1.29 1.35 1 1 1 1 1;
      1.05 1.13 1.21 1.29 1.37 1.45 1 1 1 1 1;
      1.06 1.17 1.27 1.37 1.48 1.58 1 1 1 1 1;
      1.07 1.20 1.35 1.48 1.60 1.72 1 1 1 1 1;
      1.08 1.24 1.41 1.58 1.72 1.86 1 1 1 1 1];

Niq = interp2(Sigmap3,Sigmaq3,Ni2,Sigmap,Sigmaq, 'linear');

%Koeficijent Niq0;
Sigma01 = 0:50:400;
Sigmaq1 = [0.10,0.15,0.20,0.25,0.30,0.40,0.50,0.60,0.70]';

Niq1 = [1.00 1.09 1.15 1.16 1.16 1.16 1.16 1.16 1.16;
      1.00 1.05 1.08 1.09 1.09 1.09 1.09 1.09 1.09;
      1.00 1.02 1.04 1.05 1.05 1.05 1.05 1.05 1.05;
      1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00;
      1.00 0.99 0.96 0.96 0.96 0.96 0.96 0.96 0.96;
      1.00 0.95 0.93 0.93 0.93 0.93 0.93 0.93 0.93;
      1.00 0.94 0.94 0.93 0.93 0.93 0.93 0.93 0.93;
      1.00 0.94 0.93 0.93 0.93 0.93 0.93 0.93 0.93;
      1.00 0.94 0.93 0.93 0.93 0.93 0.93 0.93 0.93];

Niq0 = interp2(Sigma01,Sigmaq1,Niq1,Sigma0,Sigmaq, 'linear');

%Ukupni stepen korisnog dejstva Eta;
Eta = Eta0.*Niq.*Ni0.*Niq0;

```

```

%Jedinicni impuls pritiska bar. gasova u komori;
ik = i0.*Eta;
%Vreme dejstva bar. gasova u komori;
tk = 1.2.*(tp+T);
Fi4k = tk./ik;

%Proracun zk interpolacijom izraza Fi4;
z=1:0.001:10;
Fi4=(z.*z).*exp(-z);
zk = interp1(Fi4,z,Fi4k,'spline');

%Vreme koje odgovara maks. pritisku u komori;
tkm = tk/zk;

%Maks. pritisak bar. gasova u komori;
pkm = ik.*exp(zk)./(exp(1).*tkm.*(exp(zk)-1-zk));

%Proracun krive pritiska u komori;
t=0:1e-005:tk;
pk = (pkm.*exp(1)./tkm).*t.*exp(-t./tkm);

figure(1)
plot(t,pk,'LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16,'FontName','Times New Roman')
xlabel('t [s]')
ylabel('pk [bar]')
grid on
title('Dijagram pritiska barutnih gasova u komori za pozajmicu')

%Proracun vrednosti parametra B;
B = (dp^2.*pi.*pkm.*exp(1).*tkm.*g)./(4.*M);

%Proracun slobodnog hoda klipa;
%Prvi korak(Fs = Fo)
X1p = 1000.*(B.*tkm.*((t./tkm-2)+(t./tkm+2).*exp(-t./tkm)) -
(Fo+f.*M.*g).*(t.^2)/2.*M);

%Drugi korak (Fs = Fo+c.*X1p./2);
X1d = 1000.*(B.*tkm.*((t./tkm-2)+(t./tkm+2).*exp(-t./tkm)) -
(Fo+c.*X1p./2+f.*M.*g).*(t.^2)/2.*M);

%Odredjivanje vremena t1k (kraj I faze trzanja za: X1k =10mm) ;
X1k = 10;
t1k = interp1(X1d,t,X1k,'spline');

% Crtanje dijagrama hoda (X1)u prvom periodu trzanja;
t1=0:1e-005:t1k;
X1e = 1000.*(B.*tkm.*((t1./tkm-2)+(t1./tkm+2).*exp(-t1./tkm)) -
(Fo+f.*M.*g).*(t1.^2)/2.*M);
X1 = 1000.*(B.*tkm.*((t1./tkm-2)+(t1./tkm+2).*exp(-t1./tkm)) -
(Fo+c.*X1e./2+f.*M.*g).*(t1.^2)/2.*M);

```

```

figure(2),
plot(t1,X1,'LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16,'FontName','Times New Roman')
xlabel('t1 [s]')
ylabel('X1 [mm]')
grid on
title('Slobodni hod u prvom periodu trzanja')

% Crtanje dijagrama brzine (V1) u prvom periodu trzanja;
V1e = B.*(1-(1+t1./tkm).*exp(-t1./tkm))-(Fo+f.*M.*g).*t1./M;
V1 = B.*(1-(1+t1./tkm).*exp(-t1./tkm))-(Fo+c.*X1e./2+f.*M.*g).*t1./M;

figure(3),
plot(t1,V1,'LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16,'FontName','Times New Roman')
xlabel('t1 [s]')
ylabel('V1 [m/s]')
grid on
title('Kriva brzine u prvom periodu trzanja')
%Odredjivanje vrednosti brzine (V1k) na kraju prvog perioda trzanja;
V1k=V1(1,length(V1));

%Odredjivanje vrednosti pritiska u komori (p1k) na kraju prvog perioda
trzanja;
p1 =(pkm.*exp(1)./tkm).*t1.*exp(-t1./tkm);
p1k =p1(1,length(p1));

```