

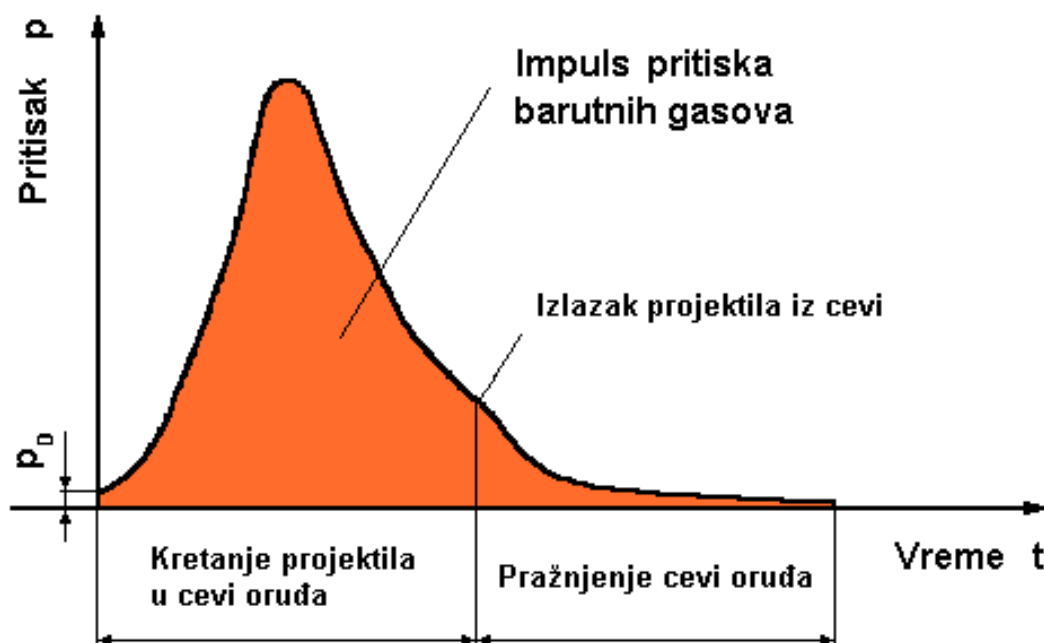
SILE KOJE DELUJU NA CEV ORUĐA PRI OPALJENJU

Pri opaljenju na zidove barutne komore i cevi artiljerijskog oruđa deluju sledeće sile:

1. Sila pritiska barutnih gasova
2. Sila međusobnog dejstva projektila i cevi
3. Sile reakcije kolevke, protivtrzajućeg uređaja i gasne kočnice.

Polazna osnova za analizu svih sila i pojava kretanja oruđa tokom procesa opaljenja je promena tokom vremena sila koje se na cev oruđa prenose posredstvom barutnog punjenja i projektila (1. i 2.).

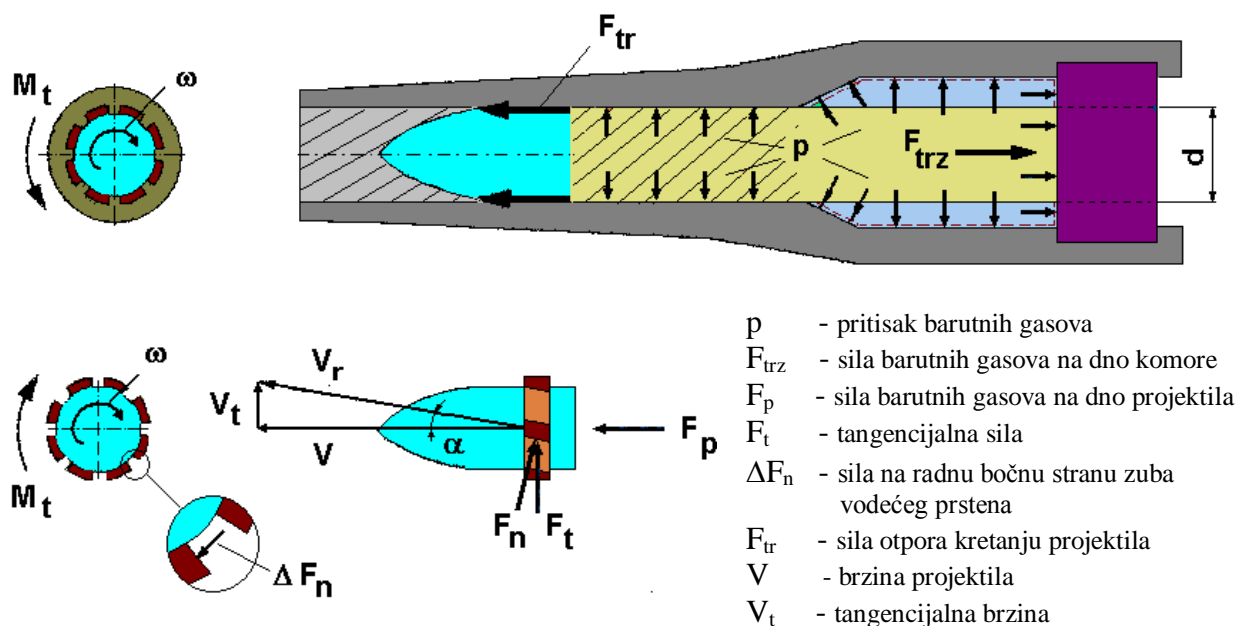
Odlučujući uticaj na kretanje projektila ima promena pritiska barutnih gasova u barutnoj komori i cevi oruđa do trenutka izlaska projektila kroz usta cevi. Ova promena može biti predstavljena krivom $p=f(t)$ (slika 1). Značajan uticaj na kretanje cevi oruđa sa lafetom koji omogućava trzanje ima i dejstvo barutnih gasova tokom pražnjenja cevi nakon izletanja projektila. Ovaj period "naknadnog" dejstva barutnih gasova traje dok pritisak u cevi ne opadne do atmosferskog pritiska. Za analizu trzanja pokretljive cevi značajan je totalni impuls pritiska $\int p dt$ (površina ispod krive $p=f(t)$).



Slika 1. Kriva pritiska barutnih gasova u cevi oruđa tokom opaljenja

Kretanje projektila u cevi oruđa počinje kada se u barutnoj komori postigne pritisak koji obezbeđuje silu potrebnu za urezivanje vodećeg prstena projektila (pritisak forsiranja p_0).

Pritisak barutnih gasova na zidove cevi deluje u pravcu normale na površini cevi (slika 2). On nema uticaja na trzanje, već izaziva naprezanja cevi oruđa. Ovde ćemo analizirati samo rezultujuće sile koje su krucijalne za kretanje trzajućih delova i opterećenje lafeta oruđa. U ovom slučaju sve radijalne sile pritiska su očigledno u statičkoj ravnoteži. Isto važi za horizontalne komponente sile pritiska koje deluju na unutrašnje površine barutne komore, što je pokazano isprekidanom linijom na slici 2.



Slika 2. Sile koje deluju na cev oruđa od strane barutnog punjenja i projektila

Glatka cev

U slučaju glatke cevi sledeće sile nisu uravnotežene:

1. Sila pritiska barutnih gasova na kružnu površinu dna barutne komore prečnika jednakog kalibru cevi d (a NE na kružnu površinu celog dna barutne komore), odnosno **sila trzanja**:

$$F_{trz} = \frac{d^2 \pi}{4} p \quad (1)$$

2. Sila otpora kretanju projektila F_{tr} koja nastaje kao posledica trenja vodećeg (zaptivnog) prstena pri kretanju projektila kroz cev oruđa. Kod glatkih cevi sila otpora F_{tr} je manja od 1 % vrednosti sile trzanja F_{trz} , tako da se u razmatranjima kretanja trzajućih delova može zanemariti.

Žljebljena cev

Kod žljebljene cevi površina poprečnog preseka cevi koja je na raspolaganju barutnim gasovima je nešto veća zbog žljebova. Sila trzanja je u ovom slučaju:

$$F_{trz} = A_s p = n_s d^2 p \quad (2)$$

gde se u nedostatku preciznih podataka o žljebljenju može približno uzeti $n_s = 0.80 \div 0.82$.

Kod cevi sa uglom uvijanja α tačka na vodećem prstenu (sl. 2 dole) kreće se u pravcu određenom rezultantnom brzinom V_r . Tangencijalna brzina i ubrzanje projektila su:

$$\begin{aligned} V_t &= V \operatorname{tg} \alpha \\ a_t &= a \operatorname{tg} \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

a ugaono ubrzanje projektila je

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{a \operatorname{tg} \alpha}{d/2} \quad (4)$$

Prema osnovnoj jednačini dinamike za obrtno kretanje, obrtni moment na vodećem prstenu projektila sa polarnim masenim momentom inercije I_p je:

$$M_t = I_p \frac{d\omega}{dt} = I_p \frac{a \operatorname{tg} \alpha}{d/2} \quad (5)$$

Ubrzanje projektila mase m_p pod dejstvom sile barutnih gasova na dno F_p , ako se zanemari otpor kretanju projektila je približno:

$$a \approx \frac{F_p}{m_p} \quad (6)$$

Uvođenjem $I_p = m_p i^2$ (i - poluprečnik inercije projektila) jednačina (5) postaje:

$$M_t = i^2 F_p \frac{\operatorname{tg} \alpha}{d/2} \quad (7)$$

Ukupna tangencijalna sila na vodećem prstenu je:

$$F_t = \frac{M_t}{d/2} = \left(\frac{i}{d/2} \right)^2 F_p \operatorname{tg} \alpha \quad (8)$$

Odnos $\frac{i}{d/2}$ je karakteristika projektila. Za razorne projekte može se uzeti $\left(\frac{i}{d/2} \right)^2 \approx 0.53$.

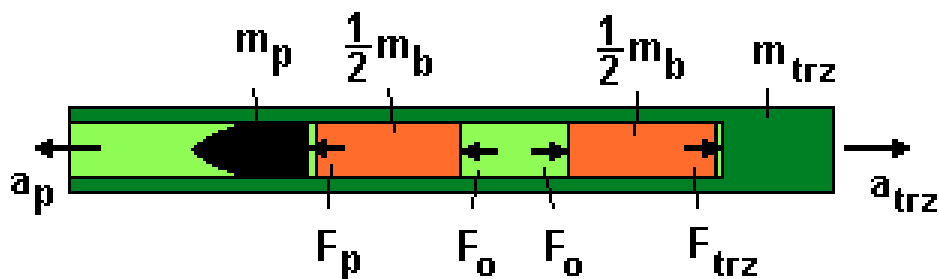
Na cev oruđa deluje obrtni moment istog intenziteta kao na vodećem prstenu (jedn. 7), ali u obrnutom smeru od rotacije projektila (sl. 2 gore). U slučaju rotacije projektila udesno, na cev deluje obrtni moment u smeru obrnutom od kazaljke na satu (gledano u pravcu gađanja).

Sila pritiska barutnih gasova na dno projektila F_p je nešto manja od sile pritiska barutnih gasova na dno barutne komore (zatvarač) F_{trz} , zato što se deo energije troši na ubrzavanje barutnih gasova. Za približno određivanje sile F_p upotrebićemo konceptualni model prikazan na slici 3.

Prema ovom modelu predpostavljamo da se polovina barutnog punjenja kreće za projektilom dobijajući ubrzanje projektila a_p , a druga polovina barutnog punjenja se kreće zajedno sa trzajućim delovima ubrzanjem a_{trz} . Prema osnovnoj jednačini mehanike, sile kojom barutni gasovi izazivaju ova ubrzanja su:

$$\text{sa desne strane} \quad F_{trz} = m_{trz} a_{trz} \quad (9)$$

$$F_0 = \left(m_{trz} + \frac{m_b}{2} \right) a_{trz} = \frac{m_{trz} + \frac{m_b}{2}}{m_{trz}} F_{trz} \quad (10)$$



- | | |
|--|---|
| m_{trz} - masa trzajućih delova | F_p - sila barutnih gasova na dno projektila |
| m_p - masa projektila | F_o - sila gasova u sredini barutnog punjenja |
| m_b - masa barutnog punjenja | a_{trz} - ubrzanje trzajućih delova |
| F_{trz} - sila barutnih gasova na zatvarač | a_p - ubrzanje projektila |

Slika 3. Konceptualni model za određivanje sile F_p

pošto je $m_b \ll m_{trz} \Rightarrow F_o \approx F_{trz}$ (10a)

sa leve strane $F_p = m_p a_p$ (11)

$$F_o = \left(m_p + \frac{m_b}{2} \right) a_p = \frac{m_p + \frac{m_b}{2}}{m_p} F_p$$
 (12)

Iz jednačina (10a) i (12) sledi da je

$$F_p \approx \frac{m_p}{m_p + \frac{m_b}{2}} F_{trz}$$
 (13)

Sila koja deluje na vodeći prsten projektila pri kretanju kroz ožljebljenu cev (n - broj žljebova) jednaka je zbiru elementarnih sila na radnu bočnu stranu zuba vodećeg prstena je:

$$F_n = n \Delta F_n$$

Ova sila deluje normalno na žljeb, tako da je ugao između pravca ove sile i pravca tangencijalne sile ugao uvijanja žljebova α . Pri kretanju projektila javlja se sila trenja između cevi i vodećeg prstena projektila u pravcu tangente na žljeb.

U praksi se ugao uvijanja žljebova kreće približno u granicama $\alpha \approx 4^\circ \div 8^\circ$, tako da je $\text{tg } \alpha \approx 0.070 \div 0.141$. Prema jednačini (8) odnos tangencijalne sile i sile na dno projektila je:

$$F_t \approx (0.04 \div 0.08) F_p$$

Pošto su vrednosti $\text{tg } \alpha$ i F_t/F_p relativno male, može se sa dovoljnom tačnošću za proučavanje kretanja trzajućih delova usvojiti da je sila trenja između vodećeg prstena i cevi približno jednaka $f \cdot F_t$, a komponenta sile F_n u pravcu gađanja približno jednaka $F_t \text{ tg } \alpha$. Koeficijent trenja između bakarnog vodećeg prstena i cevi je $f \sim 0.15$.

Sada je ukupna sila otpora kretanju projektila kroz ožljebljenu cev približno jednaka:

$$F_{tr} \approx (f + \operatorname{tg} \alpha) F_t \quad (14)$$

ili koristeći jednačinu (8):

$$F_{tr} \approx \left(\frac{i}{d/2} \right)^2 (f + \operatorname{tg} \alpha) F_p \operatorname{tg} \alpha \quad (14a)$$

Primer: Haubica 105 mm

<i>Kalibar</i>	$d = 105 \text{ mm}$
<i>Konstantan ugao uvijanja</i>	$\alpha = 7^\circ$
<i>Masa projektila</i>	$m_p = 15.0 \text{ kg}$
<i>Masa barutnog punjenja</i>	$m_b = 3.0 \text{ kg}$
<i>Maksimalni pritisak barutnih gasova na zatvarač</i>	$p_m = 2600 \text{ bar}$

Površina poprečnog preseka cevi:

$$A_s = n_s \cdot d^2 = 0.81 \cdot 0,105^2 = 8.93 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$$

Maksimalna sila barutnih gasova na zatvarač (sila trzanja):

$$(F_{trz})_{\max} = A_s \cdot p_m = 8.93 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)} \cdot 2600 \cdot 10^5 \text{ (N/m}^2\text{)} = 2322 \text{ (kN)}$$

Maksimalna sila barutnih gasova na dno projektila:

$$(F_p)_{\max} = \frac{m_p}{m_p + \frac{m_b}{2}} (F_{trz})_{\max} = \frac{15.0}{15.0 + \frac{3.0}{2}} \cdot 2322 = 2111 \text{ (kN)}$$

Maksimalni obrtni moment:

$$(M_t)_{\max} = \left(\frac{i}{d/2} \right)^2 (d/2) (F_p)_{\max} \operatorname{tg} \alpha = 0.53 \cdot 0.0525 \cdot 2111 \cdot 10^3 \cdot 0.123 = 7225 \text{ (Nm)}$$

Maksimalna sila otpora kretanju projektila:

$$(F_{tr})_{\max} \approx \left(\frac{i}{d/2} \right)^2 (f + \operatorname{tg} \alpha) (F_p)_{\max} \operatorname{tg} \alpha \approx 0.53 \cdot (0.15 + 0.123) \cdot 2111 \cdot 10^3 \cdot 0.123 \approx 37,6 \text{ (kN)}$$

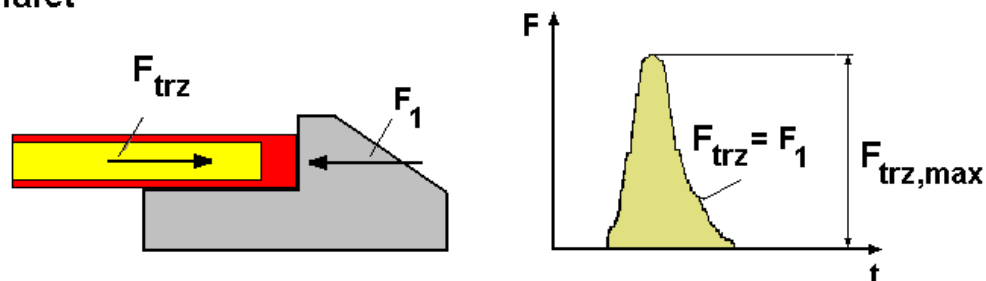
NEPOKRETNOST I STABILNOST ARTILJERIJSKOG ORUĐA PRI TRZANJU

Oruđe je nepokretno i stabilno ukoliko pri opaljenju nema pomeranja oruđa u odnosu na nepomičnu podlogu na kojoj se nalazilo pre opaljenja. Pomeranje oruđa zahteva ponovno zaposedanje prvobitnog vatrenog položaja i zauzimanje odgovarajućih elemenata za gađanje, čime se pogoršavaju njegove taktičko-tehničke karakteristike, na prvom mestu smanjuje brzina gađanja.

Otpornost artiljerijskog oruđa i njegova stabilnost pri opaljenju zavise od veličine **sile trzanja** (F_{trz}).

Sila trzanja, odnosno količina kretanja projektila i barutnih gasova, u celini se prenose na lafet ukoliko je cev kruto vezana sa lafetom (**kruti lafet**).

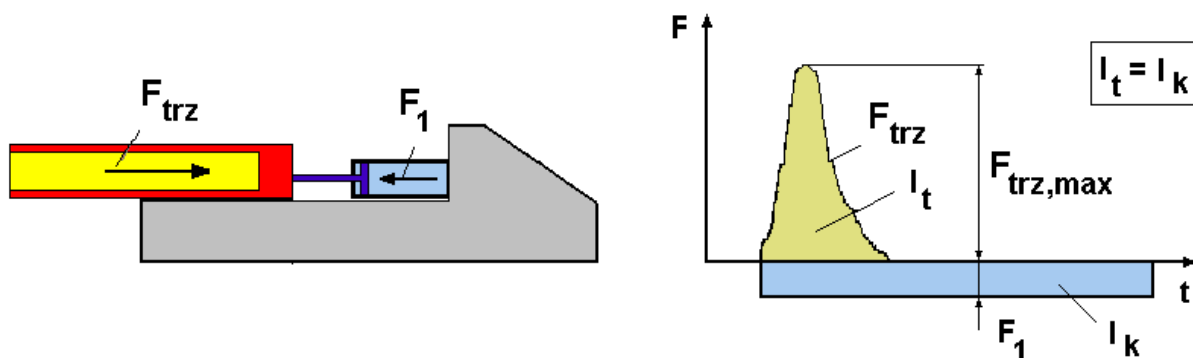
Kruti lafet



Slika 4. Oruđe sa krutim lafetom

Da bi se produžilo vreme trajanja opterećenja i smanjio njegov intenzitet cev se elastično vezuje sa lafetom (preko protivtrzajućeg uređaja) i omogućava joj se kretanje pri opaljenju u pravcu ose kanala. Oruđa sa ovakvom vezom imaju **elastični lafet**.

Elastični lafet



Slika 5. Oruđe sa elastičnim lafetom

Pomeranje cevi pri opaljenju predstavlja trzanje, a svi delovi koji se kreću sa cevi (zadnjak, zatvarač, cilindri ili klipnjače protivtrzajućeg uređaja i sl.) čine **trzajuće delove**. Ukupan hod trzajućih delova predstavlja **dužinu trzanja**.

Među savremenim artiljerijskim oruđima jedino minobacači nemaju elastični lafet.

Nepomičnost i stabilnost oruđa sa elastičnim lafetom

Pri razmatranju uslova nepomičnosti i stabilnosti artiljerijskog oruđa sa elastičnim lafetom pri opaljenju usvajaju se sledeće pretpostavke:

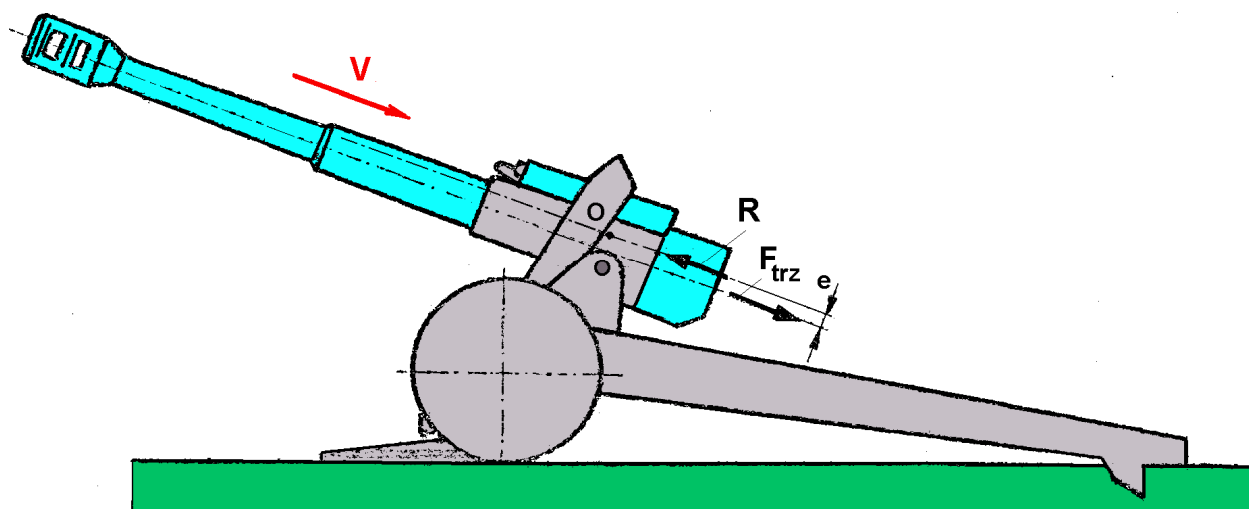
- delovi lafeta, njihove međusobne veze i tlo na kome se nalazi oruđe su apsolutno kruti, a oruđe se posmatra kao telo koje se može obrtati oko ose kroz oslonce lafeta na tlo,
- oruđe se nalazi na horizontalnom tlu,
- sve sile koje opterećuju oruđe nalaze se u ravni simetrije oruđa,
- ašov kraka lafeta sprečava pomeranje oruđa po tlu,

- pošto poprečna stabilnost oruđa nije kritična, analiziraju se samo uzdužna stabilnost i nepomičnost.

Na slici 6 prikazane su sile koje deluju na trzajuće delove oruđa sa elastičnim lafetom pri trzranju.

Sila trzanja F_{trz} deluje u osi kanala cevi (usmerena je ka dnu kanala cevi) i prouzrokuje kretanje trzajućih delova pri opaljenju. Na trzajuće delove deluje i dinamički spreg $F_{trz} \cdot e$.

Rezultantna sila otpora trzanju R preko protivtrzajućeg uređaja deluje na trzajuće delove i koči njihovo kretanje. Ova sila prolazi kroz središte mase trzajućih delova, paralelno osi kanala cevi (pri bilo kom razmeštaju elemenata protivtrzajućeg uređaja u odnosu na cev), i deluje u smeru suprotnom od smera trzanja.



Slika 6. Sile koje opterećuju trzajuće delove oruđa sa elastičnim lafetom pri trzranju

Diferencijalna jednačina kretanja trzajućih delova oruđa sa elastičnim lafetom je:

$$M_o \frac{dV}{dt} = F_{trz} - R \quad (15)$$

gde su: M_o - masa trzajućih delova
 V - brzina kretanja trzajućih delova pri trzranju

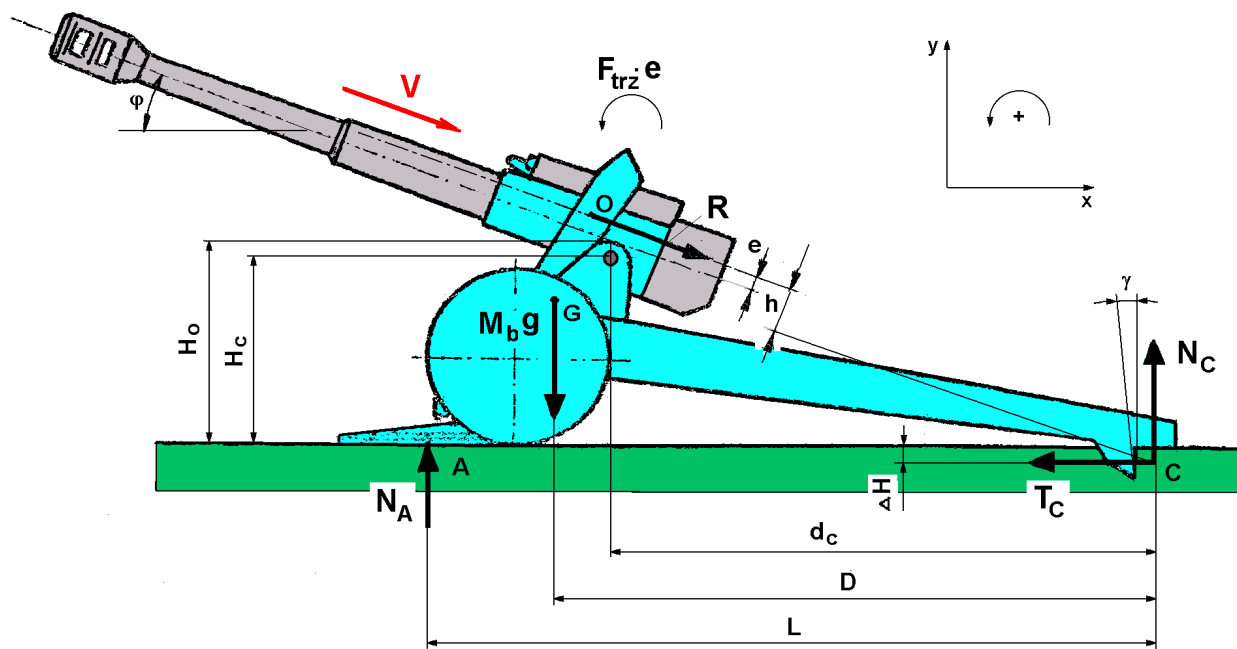
Inercijalna sila trzajućih delova pri trzranju (I_t) deluje iz centra mase (O) u pravcu trzanja a u smeru suprotnom od smera ubrzanja trzanja:

$$I_t = M_o \frac{dV}{dt} \quad (16)$$

Sile koje deluju na lafet oruđa sa elastičnim lafetom pri trzranju prikazane su na slici 7.

R - rezultantna sila otpora trzanju koja preko protivtrzajućeg uređaja deluje na ramena klevke, lafet i tlo

- $M_b \cdot g$ - sila težine oruđa (mase M_b) u borbenom položaju
- N_A - vertikalna reakcija tla na prednji oslonac oruđa (točkovi ili oslona podloga)
- N_C, T_C - vertikalna i horizontalna reakcija tla na ašove krakova lafeta; napadna tačka ovih sila (tačka C) nalazi se u preseku horizontalne ravni kroz središte oslone površine ašova, vertikalne ravni kroz središte oslone površine krakova lafeta i vertikalne ravni simetrije oruđa.



Slika 7. Sile koje opterećuju elastični lafet oruđa pri trzanju

Geometrijske veličine prikazane na slici 7 su:

- L - horizontalno rastojanje između tačke prednjeg oslonca (A) i tačke C
- D - horizontalno rastojanje od središta mase oruđa (G) i tačke C (promenljiva veličina)
- h - rastojanje između tačke C i središta mase trzajućih dečpva (O)
- e - rastojanje između središta mase trzajućih delova i ose kanala cevi (krak dinamičkog sprega $F_{trz} \cdot e$)
- φ - ugao elevacije cevi
- H_c - vertikalno rastojanje ose ramena kolevke od horizontalnog tla
- H_0 - rastojanje između horizontalnog tla i ose kanala cevi pri elevaciji $\varphi=0$ (visina vatrene linije)
- d_c - horizontalno rastojanje između ose ramena kolevke i tačke C

Iz jednačina ravnoteže sila i momenata oko tačke C (slika 7) dobijaju se reakcije tla na lafet oruđa:

$$T_C = R \cos \varphi \quad (17)$$

$$N_A = \frac{M_b g D - R h + F_{trz} e}{L} \quad (18)$$

$$N_C = M_b g + R \sin \varphi - N_A \quad (19)$$

Uslov nepokretnosti oruđa pri opaljenju određen je jednačinom (17). Pomeranja oruđa u horizontalnoj ravni neće biti i u najnepovoljnijem slučaju ($\varphi = 0$, $R = R_{\max}$) ako je:

$$\boxed{R_{\max} \leq T_C} \quad (20)$$

Sila reakcije T_C zavisi od tipa ašova i vrste zemljišta, odnosno od specifičnog pritiska koje ono može da izdrži. Dozvoljene vrednosti specifičnog pritiska na zemljište su:

- za pločaste ašove $p_{dp} = (4 \div 5) \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- za klinaste ašove $p_{dp} = (7 \div 8) \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Sila reakcije T_C je:

$$T_C = p_{dp} S_a \cos \gamma \quad (21)$$

gde su S_a - ukupna oslona površina ašova
 γ - ugao nagiba ašova u odnosu na vertikalnu

Iz jednačine (21) dobija se potrebna ukupna oslona površina ašova koja obezbeđuje nepokretnost oruđa pri opaljenju:

$$S_a \geq \frac{R_{\max}}{p_{dp} \cos \gamma} \quad (22)$$

Oruđe će biti stabilno, odnosno neće biti pomeranja u vertikalnoj ravni, ako pri trzanju postoji dodir prednjeg oslonca (točkovi ili podloga za gađanje) i tla. Ovo će biti ispunjeno ako je $N_A \geq 0$. Na osnovu jednačine 18 uslov stabilnosti oruđa je sada:

$$R h \leq M_b g D + F_{trz} e \quad (23)$$

Oruđe će biti stabilno ako je stabilizirajući moment ($M_b \cdot g \cdot D + F_{trz} \cdot e$) veći od momenta prevrtanja ($R \cdot h$). Stabilizirajući moment se smanjuje u toku trzanja, jer se usled kretanja trzajuće mase M_0 , pomera središte mase oruđa:

$$M_b g D = M_b g D_0 - M_0 g X \cos \varphi \quad (24)$$

gde je

- D_0 - horizontalno rastojanje od središta mase oruđa pre opaljenja do tačke C (sl. 7)
- X - dužina trzanja

Veličina momenta prevrtanja zavisi od sile otpora trzanju R , dinamičkog sprega $F_{trz} \cdot e$ i rastojanja h (koje je najveće pri $\varphi = 0$):

$$h = (H_0 + \Delta H) \cos \varphi - d_c \sin \varphi + e \quad (25)$$

Krak dinamičkog sprega e nema bitnog uticaja na veličinu rastojanja h , jer je njegova najveća praktična vrednost do 0.03 m.

Imajući u vidu jednačinu (24) **uslov stabilnosti** oruđa u toku trzanja je:

$$R h \leq M_b g D_0 - M_0 g X \cos \varphi + F_{trz} e \quad (26)$$

Ovaj uslov je ispunjen pri svim elevacionim uglovima većim od nekog graničnog ugla φ_{gr} , koji predstavlja granicu stabilnosti.

Za artiljerijska oruđa namenjena za neposredno gađanje (topovi ili top-haubice kalibra do 155 mm) potrebno je da granični ugao stabilnosti bude $\varphi_{gr} = 0$, a za haubice i oruđa veće mase može da bude $\varphi_{gr} = 4.5^\circ \div 20^\circ$, mada je poželjno da je $\varphi_{gr} = 0$.

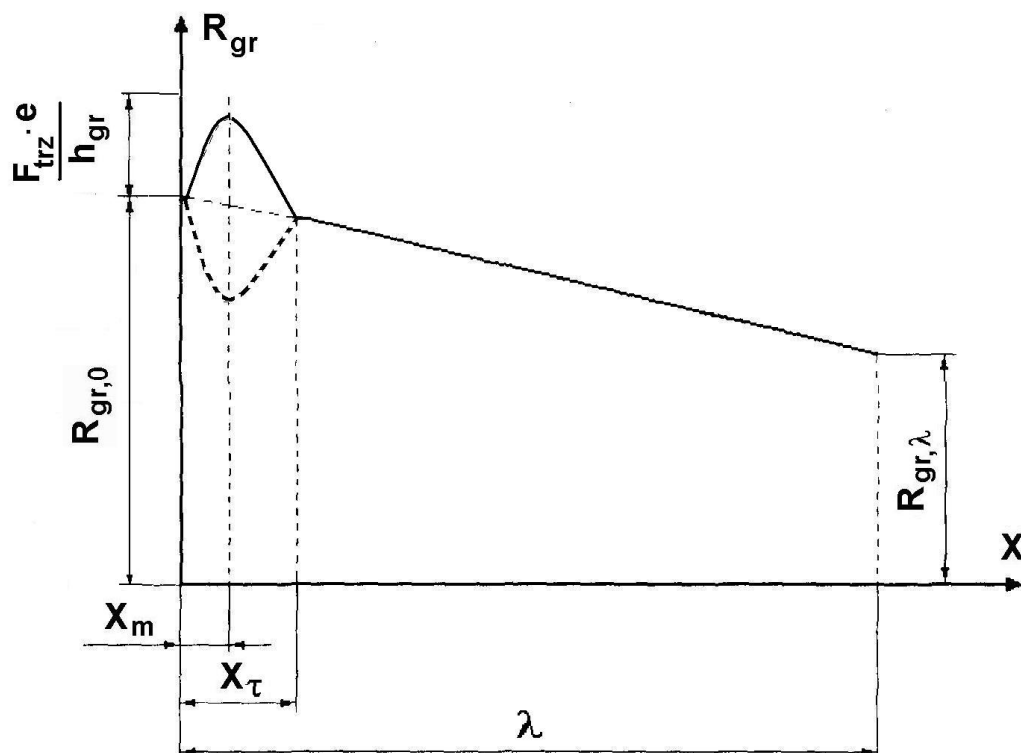
Da bi se ispunio navedeni uslov stabilnosti na celoj dužini trzanja, potrebno je obezbediti promenu sile R po sledećem zakonu:

$$R_{gr} \leq \frac{M_b g D_0 - M_0 g X \cos \varphi + F_{trz} e}{h_{gr}} \quad (27)$$

gde su R_{gr} i h_{gr} vrednosti R i h pri $\varphi = \varphi_{gr}$.

Nakon prestanka dejstva sile trzanja drugi član sa desne strane nejednačine (27) je jednak nuli.

Teorijski zakon promene sile R_{gr} u zavisnosti od puta trzanja, pri čemu je ispunjen uslov stabilnosti oruđa, prikazan je na slici 8.



Slika 8. Teorijski zakon promene sile otpora trzanju

X_τ - put trzanja na kraju dejstva sile F_{trz}

λ - ukupni put trzanja

- Stabilnost oruđa će biti veća ukoliko je centar mase trzajućih delova iznad ose cevi, jer je tada dejstvo dinamičkog sprega F_{trz} e stabilizirajuće (puna linija na slici 8). Međutim, ako se centar mase trzajućih delova ne nalazi na osi cevi javljaju se sile reakcije između cevi i klizača kolenke, kolenke i mehanizma elevacije, mehanizma elevacije i lafeta, lafeta i tla. Zato se teži takvoj ugradnji elemenata protivtrzajućeg uređaja na oruđe da krak e dinamičkog sprega bude minimalan.

- Stabilnost oruđa je veća ukoliko su manji sila R i krak h .

Sila R može da se smanji povećavanjem mase trzajućih delova M_0 ili povećavanjem dužine trzanja λ . Ugradnjom efikasne gasne kočnice takođe se smanjuje sila R .

Krak h može da se smanji smanjivanjem visine vatrene linije H_0 ili povećavanjem dužine krakova lafeta. Smanjivanje visine vatrene linije je ograničeno mogućnošću ugradnje mehanizama i pogodnošću rukovanja oruđem.

- Stabilnost oruđa se povećava sa povećavanjem ugla elevacije ϕ , pa pri visokim uglovima elevacije može da se povećava sila R , odnosno smanjuje dužina trzanja λ . Zato se, da bi se izbeglo kopanje rupe u tlu za potrebni put trzanja pri većim elevacijama ili udar zadnjaka u tlo, projektuje oruđe sa automatskom promenom dužine trzanja u zavisnosti od ugla elevacije.

- Stabilnost oruđa se povećava sa povećavanjem mase oruđa u borbenom položaju M_b i kraka D . Masa M_b i dužina krakova lafeta su ograničene pogodnošću opsluživanja i manevarskim karakteristikama oruđa. Međutim, krak D može da se poveća pomeranjem centra mase oruđa unapred.

- Stabilnost oruđa povećava se sa povećanjem mase trzajućih delova M_0 . Iz diferencijalne jednačine kretanja trzajućih delova (jedn. 15) očigledno je da je brzina trzanja V obrnuto proporcionalna masi M_0 . Pošto se energija trzanja smanjuje proporcionalno V^2 , potrebna sila otpora trzanju R i moment $R \cdot h$ smanjivaće se proporcionalno kvadratu brzine trzanja.

NEPOKRETNOST I STABILNOST ARTILJERIJSKOG ORUĐA PRI VRAĆANJU

Pri vraćanju trzajućih delova pomeranje oruđa sa elastičnim lafetom po tlu sprečavaju sile trenja između lafeta i tla. Pri razmatranju uslova nepokretnosti i stabilnosti oruđa pri vraćanju usvajaju se iste pretpostavke kao i pri razmatranju stabilnosti pri trzanju. Diferencijalna jednačina kretanja trzajućih delova pri vraćanju je

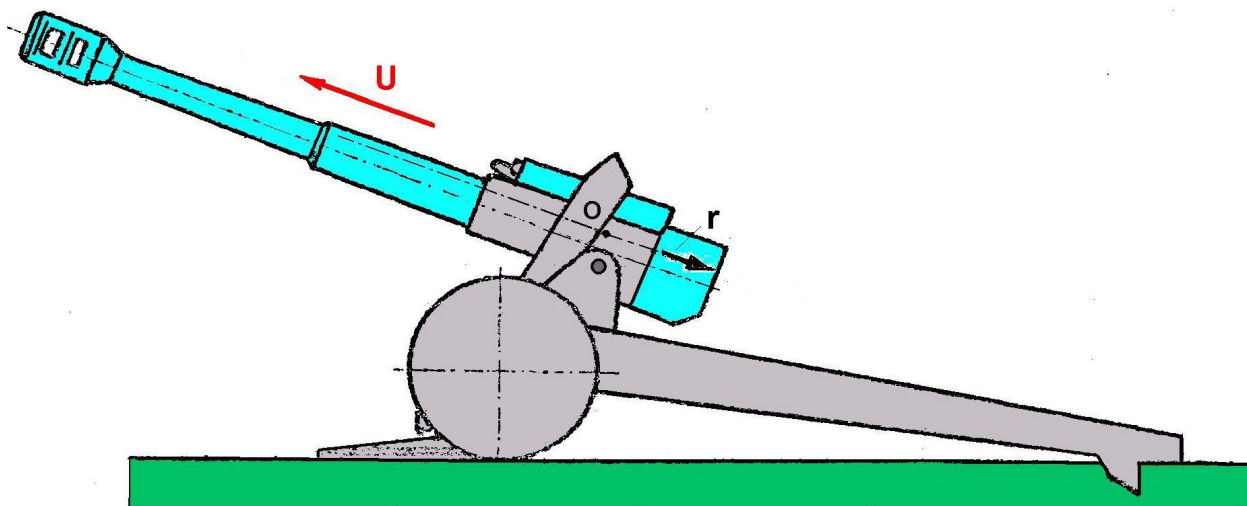
$$M_0 \frac{dU}{dt} = r \quad (28)$$

gde su: U - brzina kretanja trzajućih delova pri vraćanju
 r - rezultanta sila koje deluju na trzajuće delove pri vraćanju

Inercijalna sila trzajućih delova pri vraćanju (I_v) deluje iz centra mase (O) u pravcu vraćanja a u smeru suprotnom od smera ubrzanja vraćanja:

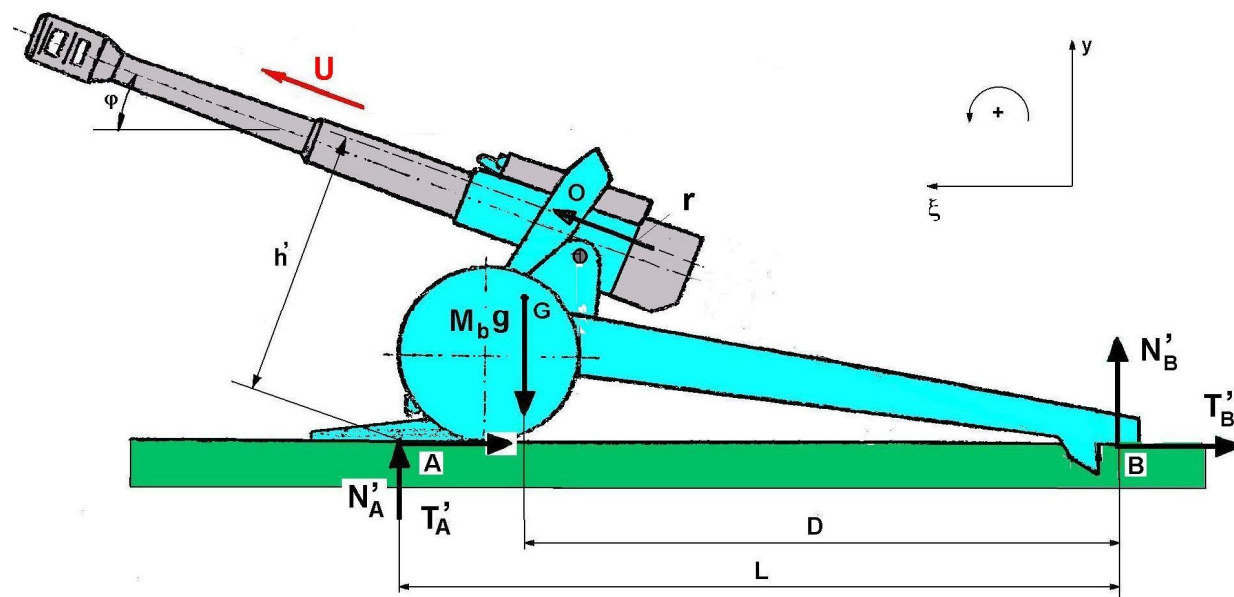
$$I_v = M_0 \frac{dU}{dt} \quad (29)$$

Sile koje deluju na trzajuće delove pri vraćanju prikazane su na slici 9.



Slika 9. Sile koje opterećuju trzajuće delove oruđa sa elastičnim lafetom **pri vraćanju**

Na slici 10 prikazane su sile koje deluju na elastični lafet artiljerijskog oruđa pri vraćanju. Napadna tačka reakcija N_B' i T_B' nalazi se u središtu oslone površine kraka lafeta (tačka B).



Slika 10. Sile koje opterećuju elastični lafet oruđa **pri vraćanju**

Pri vraćanju trzajućih delova praktično su moguća tri perioda:

- period ubrzanog vraćanja ($r > 0$)
- period jednolikog vraćanja ($r = 0$)
- period usporenog vraćanja ($r < 0$)

Ubrzano i usporeno vraćanje se javljaju kod svih oruđa, a jednoliko vraćanje kod nekih oruđa može da izostane.

Na početku vraćanja uvek je $r > 0$, da bi se trzajući delovi pokrenuli unapred. U ovom periodu raste brzina vraćanja U , a dejstvo sile r je analogno dejstvu sile R pri trzanju. Pošto je

sila r znatno manja od sile R , nepokretnost i stabilnost oruđa pri ubrzanom vraćanju biće obezbeđeni ako je to bio slučaj pri trzanju.

Da bi se trzajući delovi zaustavili neophodno je da bude $r < 0$. U tom slučaju sila inercije teži da pomeri oruđe unapred i da ga obrne oko tačke prednjeg oslonca. Sigurno i energično dosedanje trzajućih delova na kraju vraćanja obezbeđuje se brzinom na kraju vraćanja $U_k = (0.05 \div 0.2) \text{ m/s}$.

Period jednolikog vraćanja primenjuje se onda kada je potrebno da se smanji vreme vraćanja, a da se pri tome ne povećava brzina vraćanja, jer bi to ugrozilo nepokretnost i stabilnost oruđa.

Na osnovu navedenog jasno je da nepokretnost i stabilnost oruđa pri vraćanju treba da se analizira samo u periodu usporenog vraćanja.

Iz jedničina ravnoteže sila i momenata oko tačke A (sl. 10) dobijaju se reakcije tla na lafet:

$$T'_A + T'_B = r \cos \varphi \quad (30)$$

$$N'_B = \frac{M_b g(L - D) - r h'}{L} \quad (31)$$

$$N'_A = M_b g - r \sin \varphi - N'_B \quad (32)$$

Uslov nepokretnosti oruđa pri vraćanju dobija se iz jednačine (30). Pomeranja oruđa u horizontalnoj ravni neće biti ni u najnepovoljnijem slučaju (pri $\varphi = 0$) ako je:

$$\boxed{r_{gr,n} \leq f_A N'_A + f_B N'_B} \quad (33)$$

gde su $f_A = (0.25 \div 0.30)$ i $f_B = (0.07 \div 0.100)$ koeficijenti trenja između lafeta i tla.

Pomeranja oruđa u vertikalnoj ravni neće biti ako je $N'_B \geq 0$, odnosno ako se pri vraćanju krak lafeta oslanja na tlo. Položaj centra mase oruđa pomera se tokom vraćanja trzajućih delova, tako da se rastojanje D (slika 10) tokom vraćanja određuje iz izraza:

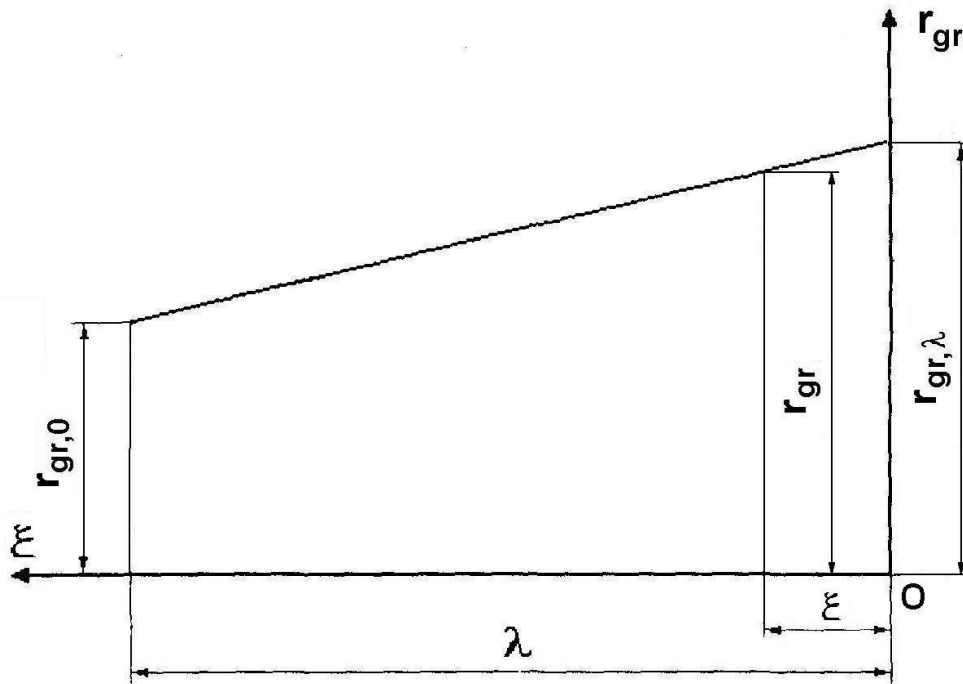
$$M_b D = M_b D_0 - M_0 (\lambda - \xi) \cos \varphi \quad (34)$$

Stabilnost oruđa dobija se iz jednačine (31) za najnepovoljniji slučaj (pošto se u praksi retko gađa sa najmanjim uglom elevacije, tj. najvećim uglom depresije, proverava stabilnosti se vrši pri $\varphi = 0$):

$$\boxed{r_{gr} \leq \frac{M_b g(L - D_0) + M_0 g(\lambda - \xi) \cos \varphi}{h'_{gr}}} \quad (35)$$

gde su ξ - put vraćanja
 h'_{gr} - rastojanje h' pri $\varphi = 0$

Promena granične vrednosti rezultante r_{gr} u toku vraćanja prikazana je na slici 11.



Slika 11. Promena sile r_{gr} u toku vraćanja

Proračuni pokazuju da je granična vrednost rezultante iz uslova nepokretnosti $r_{gr,n}$ znatno manja od granične vrednosti rezultante iz uslova stabilnosti r_{gr} . **Zato je veoma teško obezbediti nepokretnost oruđa pri vraćanju.** Ako je ispunjen uslov (35) oruđe će biti stabilno pri vraćanju (neće biti pojave obrtanja oruđa naniže oko prednjeg oslonca), ali će doći do pomeranja oruđa unapred.