

KONSTRUKCIJA KLASIČNOG NAORUŽANJA

NEPOKRETNOST I STABILNOST ARTILJERIJSKOG ORUĐA

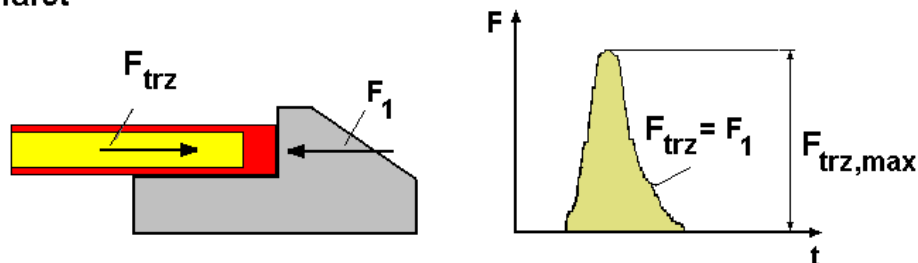
NEPOKRETNOST I STABILNOST ARTILJERIJSKOG ORUĐA PRI TRZANJU

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**).

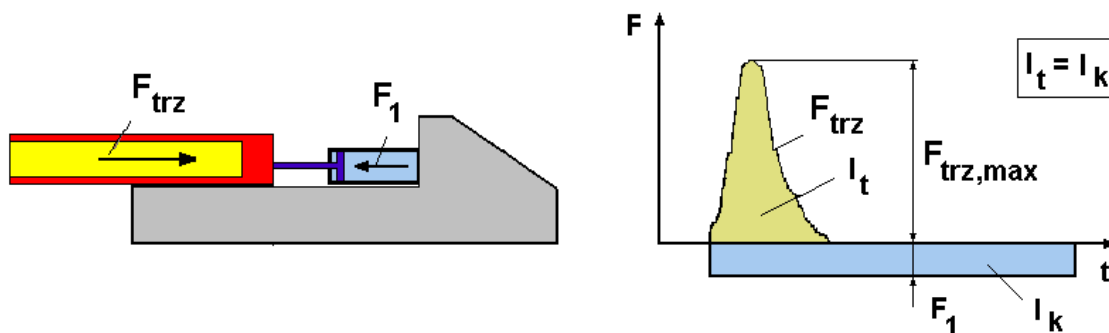
Kruti lafet



Slika 1. Oruđe sa krutim lafetom

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

Elastični lafet



Slika 2. Oruđe sa elastičnim lafetom

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

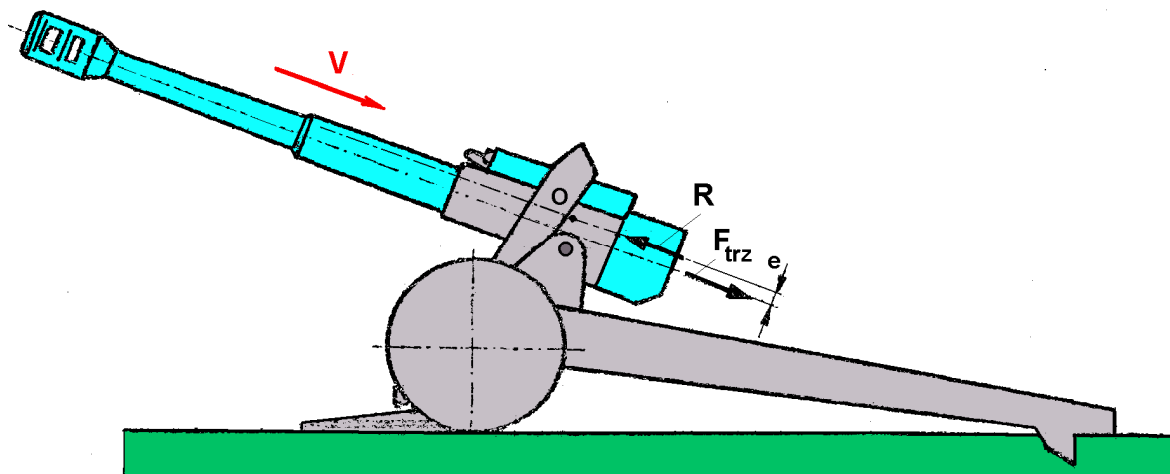
Među savremenim artiljerijskim oruđima jedino minobacači nemaju elastični lafet.

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

Na slici 3 prikazane su sile koje deluju na trzajuće delove oruđa sa elastičnim lafetom pri trzanju.



Slika 3. Sile koje opterećuju trzajuće delove oruđa sa elastičnim lafetom **pri trzanju**

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.

Diferencijalna jednačina kretanja trzajućih delova oruđa sa elastičnim lafetom je:

$$M_o \frac{dV}{dt} = F_{trz} - R \quad (1)$$

gde su:

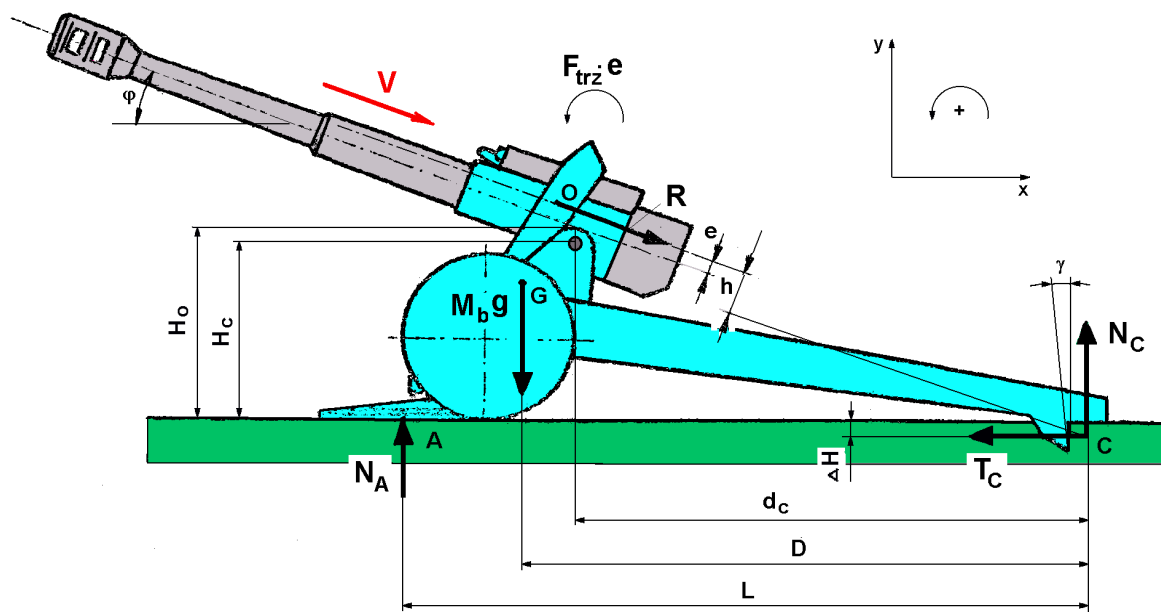
M_o	-	masa trzajućih delova
V	-	brzina kretanja trzajućih delova pri trzanju

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

$$I_t = M_o \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

Sile koje deluju na lafet oruđa sa elastičnim lafetom pri trzanju prikazane su na slici 4.

- R** - rezultantna sila otpora trzanju koja preko protivtrzajućeg uređaja deluje na ramena kolevke, 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 4. Sile koje opterećuju elastični lafet oruđa pri trzanju

Geometrijske veličine prikazane na slici 4 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 delova (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:

$$T_C = R \cos \varphi \quad (3)$$

$$N_A = \frac{M_b g D - R h + F_{trz} e}{L} \quad (4)$$

$$N_C = M_b g + R \sin \varphi - N_A \quad (5)$$

Uslov nepokretnosti oruđa pri opaljenju određen je jednačinom (3). Pomeranja oruđa u horizontalnoj ravni neće biti i u najnepovoljnijem slučaju ($\varphi = 0$, $R = R_{max}$) ako je:

$$\boxed{R_{max} \leq T_C} \quad (6)$$

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

$$T_C = p_{dp} S_a \cos \gamma \quad (7)$$

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

Iz jednačine (7) dobija se potrebna ukupna oslona površina ašova koja obezbeđuje nepokretnost oruđa pri opaljenju:

$$S_a \geq \frac{R_{max}}{p_{dp} \cos \gamma} \quad (8)$$

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 4 uslov stabilnosti oruđa je sada:

$$R h \leq M_b g D + F_{trz} e \quad (9)$$

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:

$$M_b g D = M_b g D_0 - M_0 g X \cos \varphi \quad (10)$$

gde je

- D_0 - horizontalno rastojanje od središta mase oruđa pre opaljenja do tačke C (sl. 4)
 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 $\varphi = 0$):

$$h = (H_0 + \Delta H) \cos \varphi - d_c \sin \varphi + e \quad (11)$$

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 (10) **uslov stabilnosti** oruđa u toku trzanja je:

$$R h \leq M_b g D_0 - M_0 g X \cos \varphi + F_{trz} e \quad (12)$$

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:

$$R_{gr} \leq \frac{M_b g D_0 - M_0 g X \cos \varphi}{h_{gr}} + \frac{F_{trz} e}{h_{gr}} \quad (13)$$

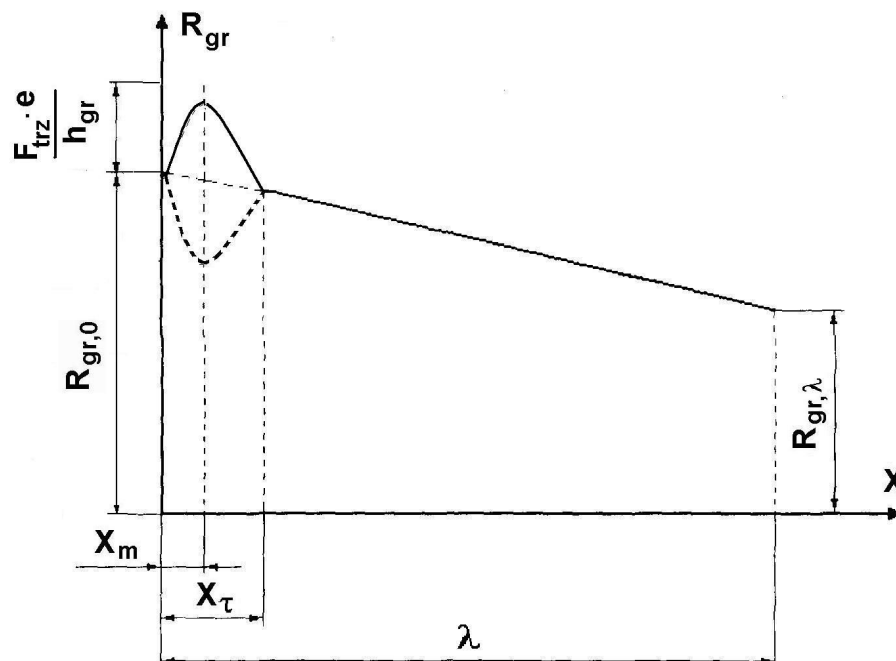
gde su R_{gr} i h_{gr} vrednosti R i h pri $\varphi = \varphi_{gr}$.

Nakon prestanka dejstva sile trzanja drugi član sa desne strane nejednačine (13) 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 5.

- 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 $F_{trz} \cdot e$ stabilizirajuće (puna linija na slici 5). Međutim, ako se centar mase trzajućih delova ne nalazi na osi cevi javljaju se sile reakcije između cevi i klizača klevke, klevke 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.



Slika 5. Teorijski zakon promene sile otpora trzanju

- 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 (jedin. 1) 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

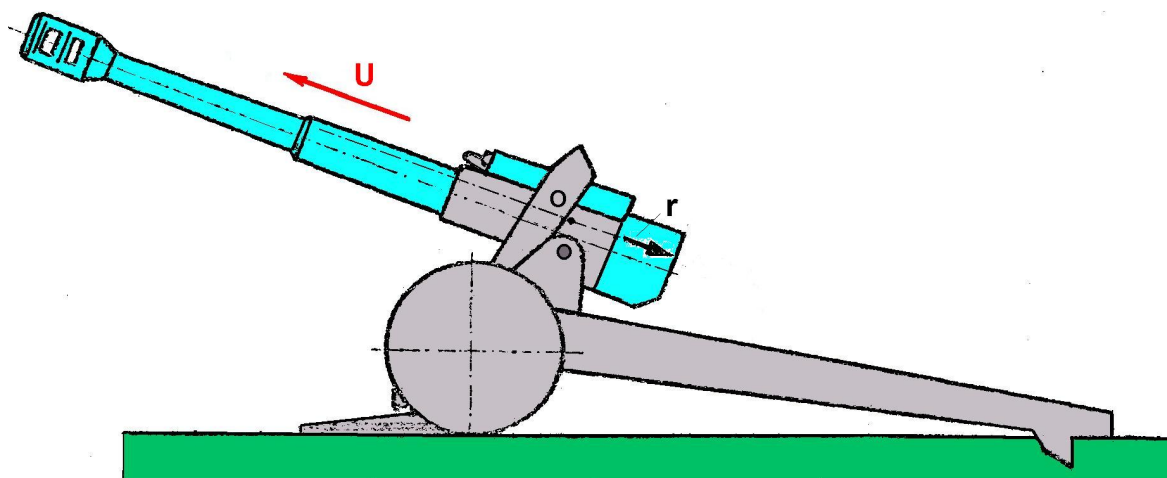
$$M_o \frac{dU}{dt} = r \quad (14)$$

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:

$$I_v = M_o \frac{dU}{dt} \quad (15)$$

Sile koje deluju na trzajuće delove pri vraćanju prikazane su na slici 6.



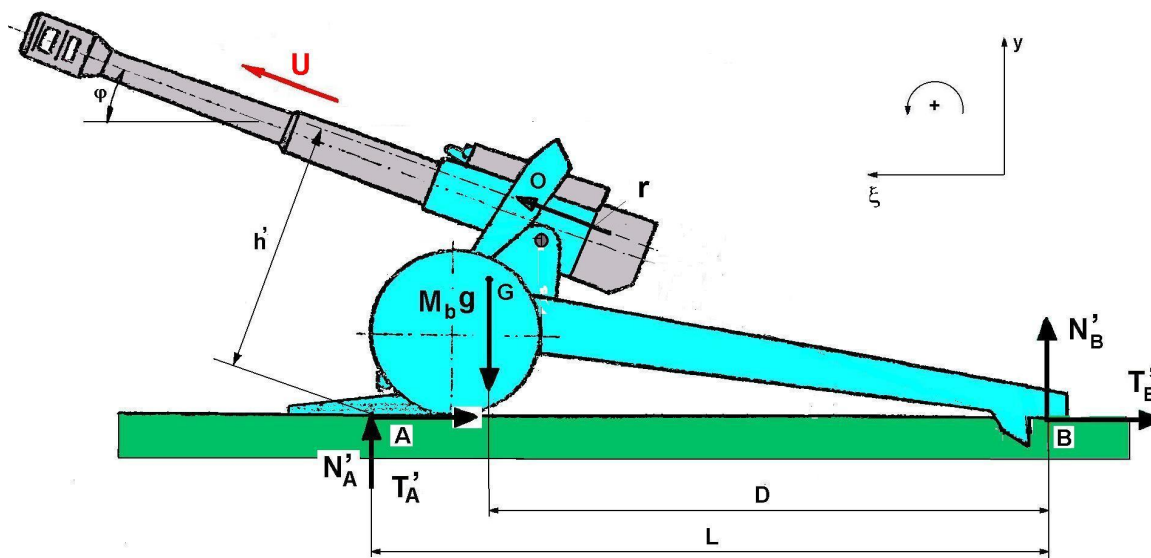
Slika 6. Sile koje opterećuju trzajuće delove oruđa sa elastičnim lafetom **pri vraćanju**

Na slici 7 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).

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.



Slika 7. Sile koje opterećuju elastični lafet oruđa **pri vraćanju**

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 (slika 7) dobijaju se reakcije tla na lafet:

$$T'_A + T'_B = r \cos \varphi \quad (16)$$

$$N'_B = \frac{M_b g (L - D) - r h'}{L} \quad (17)$$

$$N'_A = M_b g - r \sin \varphi - N'_B \quad (18)$$

Uslov nepokretnosti oruđa pri vraćanju dobija se iz jednačine (16). Pomeranja oruđa u horizontalnoj ravni neće biti ni u najnepovoljnijem slučaju (pri $\varphi = 0$) ako je:

$$r_{gr,n} \leq f_A N'_A + f_B N'_B \quad (19)$$

gde su $f_A = (0.25 \div 0.30)$ i $f_B = (0.07 \div 0.10)$ 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:

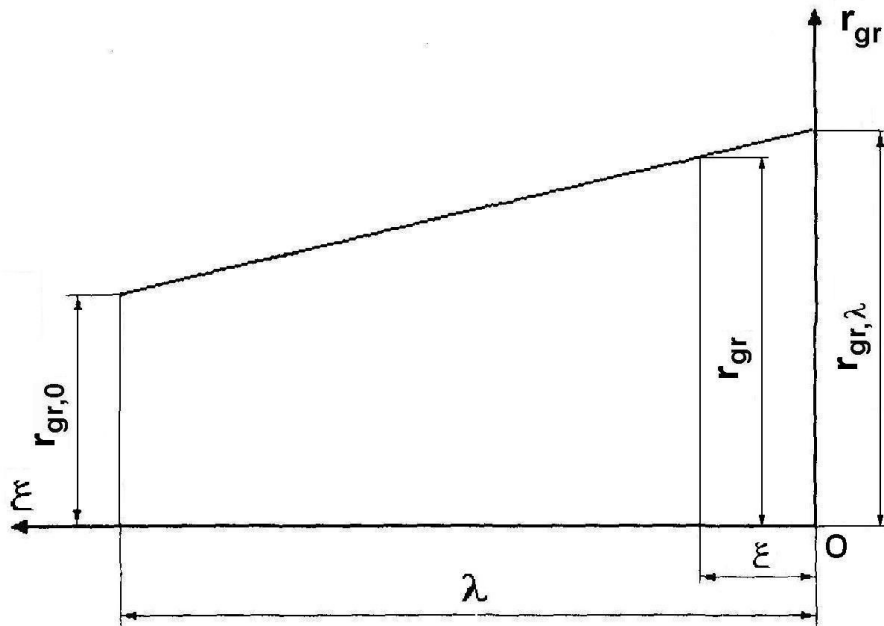
$$M_b D = M_b D_0 - M_0 (\lambda - \xi) \cos \varphi \quad (20)$$

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

$$r_{gr} \leq \frac{M_b g (L - D_0) + M_0 g (\lambda - \xi) \cos \varphi}{h'_{gr}} \quad (21)$$

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 8.



Slika 8. 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 (21) oruđe će biti stabilno pri vraćanju (neće biti pojave obrtanja oruđa naniže oko prednjeg oslonca), ali će doći do pomeranja oruđa unapred.