

KONSTRUKCIJA KLASIČNOG NAORUŽANJA

STRELJAČKO ORUŽJE

Trzanje zatvarača

Osnovni principi

Definicija

Trzanje zatvarača kod streljačkog oružja je princip funkcionisanja kod koga se energija potrebna za rad automatike predaje zatvaraču kretanjem unazad utrošene čaure pod dejstvom pritiska barutnih gasova.

Tipovi trzanja zatvarača

Princip trzanja zatvarača može se podeliti u četiri kategorije:

- **Slobodno trzanje zatvarača**
- **Trzanje zatvarača sa ranijim opaljenjem**
- **Odloženo trzanje zatvarača**
- **Trzanje zabravljenog zatvarača**

Sile

Pritisak koji se razvija u čauri tokom opaljenja deluje u svim pravcima. Radijalna sila pritiska proširuje čauru i izoluje komoru, čime se obezbeđuje zaptivanje i sprečava isticanje gasova pozadi kroz mehanizam za zatvaranje zatvarača. Imajući u vidu ovo proširivanje čaure, treba naglasiti da će pri visokim pritiscima koji se javljaju kod savremene municije **suva** čaura biti prikovana za zidove komore tako velikom silom, da će bilo kakvo pomeranje čaure unazad biti onemogućeno sve dok se pritisak u čauri ne smanji.

U aksijalnom pravcu sila pritiska deluje napred na grlo čaure, ako je ono konično (ili u obliku boce), a velika sila pritiska na dno čaure. Ova sila potiskuje čauru nazad i pritiska njeno dno na čelo zatvarača. Kada je kretanje čaure nazad sprečeno od strane zabravljenog zatvarača, kretanje prednjeg kraja čaure dovodi do proširivanja koničnog dela (ili dela u obliku boce) i poništavanja zazora između čaure i malog konusa ležišta metka. Tako su zidovi čaure podvrgnuti uzdužnom naprezanju na istezanje. Međutim, ako zatvarač dozvoljava kretanje čaure, ona će biti potisnuta unazad silom trzanja, koja predstavlja rezultantu navedene dve aksijalne sile ($F_{trz}=A_{sp}$, A_s - površina poprečnog preseka cevi).

Nepodmazana čaura

Čaura je radijalno proširena i stvara se veoma visok pritisak na kontaktu metal/metal između čaure i komore. Istovremeno, ukoliko ima bilo kakvog praznog prostora iza dna čaure, on će biti popunjen kretanjem čaure unazad pod dejstvom sile trzanja. Ako je ovaj prostor previše veliki čaura će se plastično istezati sve dok njeno dno ne dođe u čvrsti kontakt sa

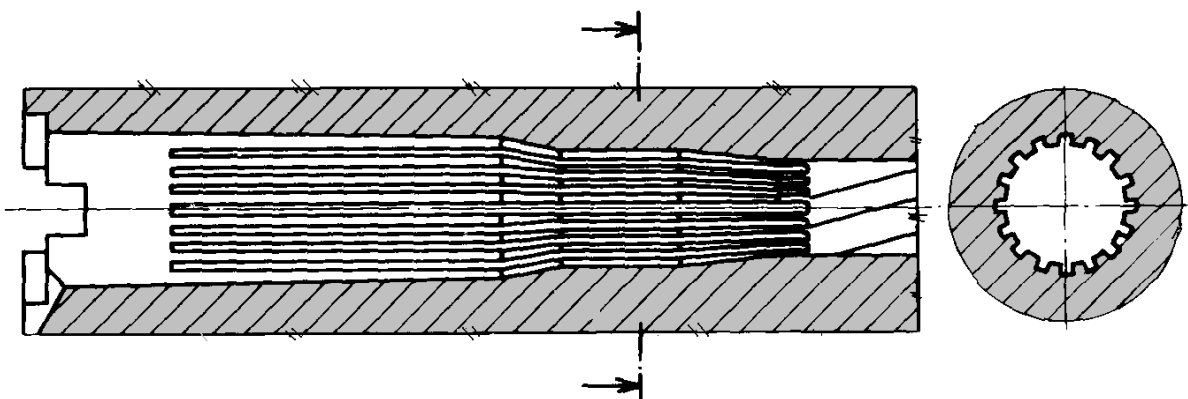
čelom zatvarača, a konični deo čaure se nasloni na konus komore. Ako je slobodni prostor previše veliki ili je otpornost zatvarača nedovoljna da spreči deformaciju čaure preko dozvoljenog izduženja, doći će do razdvajanja tela čaure. Najslabiji deo čaure 7.62 mm NATO može da izdrži uzdužnu silu istezanja koja ne prelazi 4.35 MN. Ako grlo čaure ostane prikovano za konus komore, a dno čaure bude neoslonjeno, stvorena sila istezanja će biti oko 72 MN, pa će doći do prskanja ili razdvajanja čaure.

Podmazana čaura

Razmotrimo sada situaciju kada je čaura podmazana slojem ulja ili masti. Tako se stvara kontinualan film koji će sprečiti direktan kontakt metal/metal čaure i zida komore. Čaura sada može lako da klizi u komori, jer praktično nema otpora trenja, tako nema opasnosti od prskanja čaure pri bilo kakvom prevelikom čeonom rastojanju čaure. Upotreba podmazane čaure je bila veoma popularna i korišćena je između ostalih kod mitraljeza Schwarzloze, lakog mitraljeza Breda i topova 20 mm Oerlikon i 20 mm Polsten. Postoje mnogobrojne poteškoće u praktičnoj primeni podmazane čaure za vojno naoružanje u operativnoj upotrebi. Prisustvo peska, prašine, prljavštine itd. u mazivu deluje kao pasta za brušenje i prouzrokuje značajno habanje mehanizama oružja i ležišta metka, a može dovesti čak i do zastoja. Neki proizvođači municije još uvek izrađuju čaure sa specijalnom završnom obradom koja ne samo da sprečava koroziju, već olakšava izvlačenje čaure.

Žljebljena komora (fluted chamber)

Konstruktori savremenog automatskog oružja umesto podmazane čaure najčešće koriste žljebljenu komoru (ležište metka). Kod ovog metoda smanjivanja kontakta metal/metal čaure i komore, na grlu, malom konusu i većim delom dugačkog konusa komore urezan je niz uzdužnih šiljatih kanala. Pri širenju grla čaure pod dejstvom pritiska barutni gasovi mogu da prodiru u uzdužne žlebove i da se uravnotežuju sa unutrašnjim pritiskom. Tako je prednji deo čaure umesto maziva obložen filmom gasa, čime se postiže željeni efekt smanjenja kontaktne površine čaure i komore. Tipična konstrukcija žljebljene komore prikazana je na slici 1. Ovakav tip žljebljene komore imaju mnogi sistemi oružja, između ostalih francuska jurišna puška **5.56 mm FAMAS** i mitraljez **7.5 mm AA 52**, švajcarski mitraljez **7.62 mm SIG 710-3** i nemačka jurišna puška **7.62 mm HK G3**, karabin **5.56 mm HK 53** i automat **9 mm HK MP5**.



Slika 1. Ležište metka sa uzdužnim kanalima

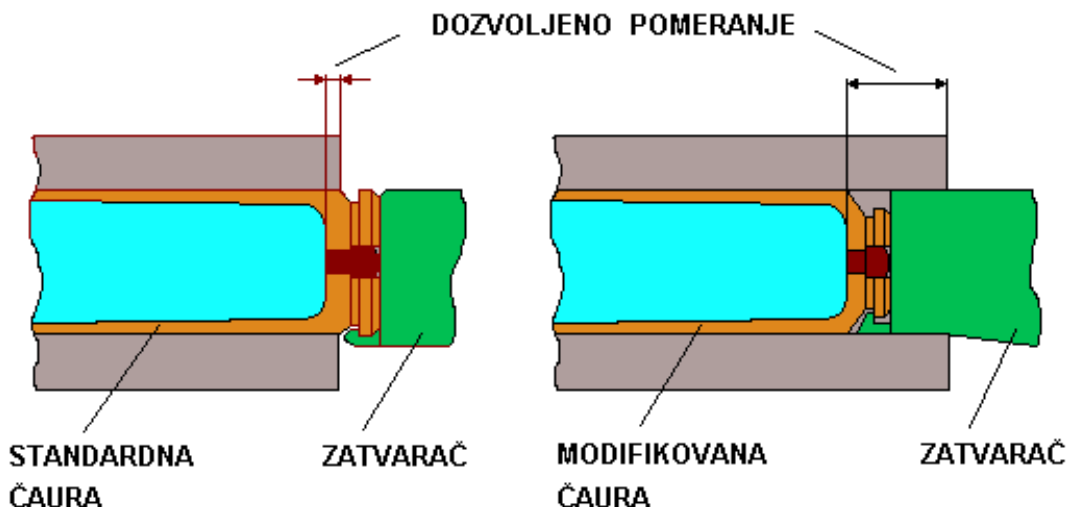
Kretanje nazad

Kada pritisak toliko opadne da omogući da se čaura dovoljno skupi da bi se oslobodila zahvata zidova komore, preostali pritisak će potisnuti čauru nazad, gurajući odbravljeni zatvarač u krajnji zadnji položaj i saopštavajući zatvaraču dovoljnu energiju za izvršavanje funkcija izbacivanja čaure, sabijanja povratne opruge, hranjenja oružja, uvođenja narednog metka u ležište i njegovog opaljivanja. Kod oružja puščanog kalibra pritisak u čauri će biti veći od atmosferskog nekih $3 \div 4$ ms nakon izlaska projektila iz cevi, a kod oružja sa dužom cevi kalibra 20 mm ovaj period je nešto duži, nekih $7 \div 8$ ms.

Ograničenja

Ukoliko se čaura kreće nazad dok je zrno još u cevi i dok je pritisak još uvek iznad 770 bar, kretanje čaure i zatvarača nazad biće veoma ubrzano, tako da zadnji kraj čaure lako može da izviri iz komore potpuno neoslonjen. Uprkos povećanoj debljini i tvrdoći zadnjeg kraja mesingane čaure, budući da je zatezna čvrstoća mesinga samo oko 345 MN/m^2 , neoslonjena čaura može da izdrži veoma ograničeni pritisak. U opštem slučaju može se uzeti da čaura metka puščanog kalibra ne sme da izviri više od 3 mm (kod topova 20 mm ne više od 6 mm) dok je zaostali pritisak barutnih gasova veći od 52 bar. Ovo postavlja veoma striktna ograničenja u projektovanju oružja.

Dozvoljeno pomeranje čaure u početnoj fazi trzanja prikazano je na slici 2. Na slici je takođe pokazano kako ovo dozvoljeno pomeranje kod standardne čaure, može znatno da se poveća izradom modifikovane čaure.



Slika 2. Dozvoljeno pomeranje čaure u početnoj fazi trzanja

Iz dosadašnjih razmatranja može se videti da postoje dva osnovna zahteva koja se postavljaju pred oružje koje radi na principu trzanja zatvarača:

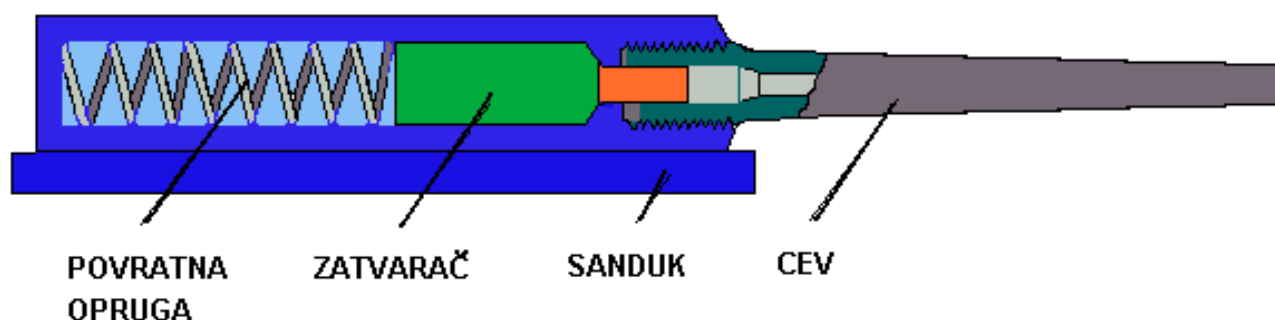
- Čaura mora da bude slobodna da se kreće u komori:
 - da poništi višak čeonog rastojanja čaure.

- da obezbedi silu na zatvarač, od koje zavisi rad celog sistema.
- Čaura mora da bude zadržana i oslonjena u komori dok je pritisak visok:
 - da ne bi došlo do razdvajanja čaure po najslabijem preseku grla čaure dok je ona potpuno u komori.
 - da ne bi došlo do rasprskavanja zadnjeg dela čaure koji je izvirio iz komore i ostao neoslonjen.

Navedena dva zahteva su međusobno kontradiktorna. Neophodnost zadovoljavanja oba ova zahteva dovela je do razvoja relativno sofisticiranih sistema, kao što su sistemi sa uređajem za odloženo trzanje zatvarača i sistemi sa trzanjem zabravljenog zatvarača.

Slobodno trzanje zatvarača (Simple blow back)

Kod sistema sa slobodnim trzanjem zatvarača osnovni elementi su sam zatvarač i povratna opruga. Šematski prikaz ovog sistema dat je na slici 3.



Slika 3. Šematski prikaz sistema sa slobodnim trzanjem zatvarača.

Praktično jedina sila koja se suprotstavlja kretanju zatvarača unazad (trzanju zatvarača) je inercija samog zatvarača. Opor kretanju koji daje povratna opruga je praktično zanemarljiv u početnoj fazi trzanja. Povratna opruga, u kojoj se akumulira kinetička energija saopštena zatvaraču, vraća zatvarač u prednji položaj nakon svakog opaljenja. Unutar zatvarača je udarna igla ili udarač, koji sadrži sopstvenu oprugu za dovođenje igle u prednji položaj pri okidanju, ili se udarna igla potiskuje napred pomoću čekića.

Čaura je kod ovog sistema obično cilindrična i pri trzanju obezbeđuje potpuno zaptivanje. Naprezanje čaure ne prelazi granicu elastičnosti mesinga, tako da se ona pri smanjenju pritiska vraća u svoje prvobitne dimenzije i ne vezuje se za zidove komore.

Masa zatvarača je tako proračunata da ne dozvoljava kretanje sistema za više od 3 mm u toku perioda od oko 5 ms kada je pritisak veći od 52 bar. Tako je srednja brzina čaure i zatvarača tokom 5 ms nešto iznad 0.66 m/s. Kod oružja sa dugom cevi zatvarač je izložen dejstvu ubrzavajuće sile tokom oko 6 ms, dok je kod pištolja ovo vreme znatno kraće. Nakon ovog perioda pritisak u cevi jednak je atmosferskom i sila ubrzavanja zatvarača je jednaka nuli, ali su čaura i zatvarač stekli dovoljnu količinu kretanja da nastave kretanje unazad.

Čaura se gurajući zatvarač izvuče iz ležišta metka i biva izbačena. Usled otpora povratne opruge (i amortizera ako je ugrađen) zatvarač usporava kretanje.

Kada se zatvarač zaustavi u zadnjem položaju, sva kinetička energija koja mu je saopštena (umanjena za gubitke izvlačenja i izbacivanja čaure, trenja i eventualno zapinjanja) konvertovana je u potencijalnu energiju, akumuliranu u opruzi. Povratna opruga vraća zatvarač u prednji položaj. Pri vraćanju zatvarač zahvata novi metak iz magacina, uvodi ga u ležište metka i ostaje u stanju mirovanja iza njega.

Neposredno pre nego što zatvarač dostigne krajnji prednji položaj, potencijalna energija opruge (umanjena za gubitke hranjenja i uvođenja metka u ležište i trenja) je potpuno konvertovana u kinetičku energiju zatvarača i novog metka. Tako se zatvarač kreće velikom brzinom i njegova kinetička energija mora da se apsorbuje delimično gnječenjem čaure, a ostatak udarom. Kada je obarač ponovo povučen radni ciklus će se ponoviti.

Sistem slobodnog trzanja zatvarača kod automatskog oružja dovodi do nedostatka tačnosti gađanja, zbog vibracija izazvanih kretanjem teškog zatvarača i zbog promene položaja centra mase tokom paljbe. Ako zanemarimo masu i jačinu povratne opruge, kao i gubitke trenja, potrebna masa zatvarača oružja koje ispaljuje municiju kalibra .22 bila bi oko 2 kg. U praksi ova masa se smanjuje na prihvatljivih 1 kg. Sličan proračun pokazuje da bi za jurišnu pušku koja ispaljuje municiju kalibra 7.62 mm NATO bila potrebna masa zatvarača 18.2 kg, dok bi za teški mitraljez kalibra 20 mm ova masa iznosila 227 kg. Iz navedenog jasno proizilazi da je sistem slobodnog trzanja zatvarača pogodan samo za municiju male snage i malog kalibra, odnosno njegova upotreba je ograničena na vojne pištolje i male automate koji ispaljuju municiju male snage i na sportske pištolje i puške kalibra oko .22.

Primeri

Pištolji	9 mm Makarov	(Rusija)		
Automatski pištolji	9 mm Stečkin	(Rusija)	7.65 mm VZ 61	(Češka)
Automati	9 mm UZI	(Izrael)	9 mm Walther MPL/MPK	(Nemačka)
Automatski bacači granata	40 mm Mk19	(SAD)	30 mm AGS 17	(Rusija)

Savremene konstrukcije automata

9 mm HK UMP (Nemačka), **9 mm PP 2000** (Rusija), **5.7x28 mm FN P90** (Belgija)

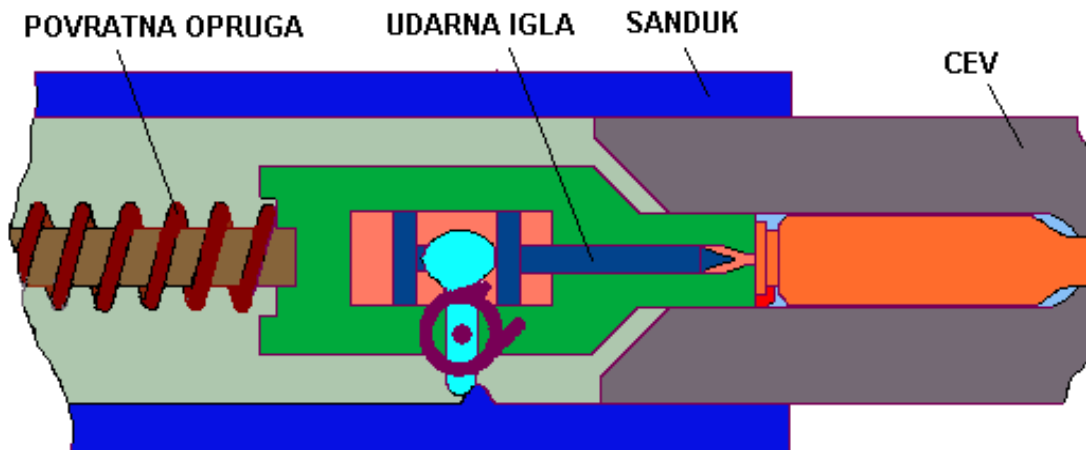
Karakteristike oružja sa slobodnim trzanjem zatvarača:

- **Nezabavljen zatvarač.**
- **Težak zatvarač inercijalnog tipa.**
- **Jednostavnost konstrukcije.**
- **Jaka povratna opruga.**
- **Najčešće cilindrična čaura (izuzetak je P90)**
- **Ograničena tačnost pri automatskoj paljbi iz ruke..**

Trzanje zatvarača sa ranijim opaljenjem (Blow back with Advanced Primer Ignition)

Kod ovog sistema automatskog oružja opaljenje novog metka obavlja se neposredno pre nego što se zatvarač vrati u krajnji prednji položaj. Na taj način se jedan deo impulsa barutnih gasova koristi za kočenje zatvarača pri vraćanju u prednji položaj. Preostali deo impulsa obezbeđuje silu trzanja zatvarača.

Šematski prikaz sistema trzanja zatvarača sa ranijim opaljenjem dat je na slici 4. Ciklus rada automatike počinje kada zatvarač pod dejstvom sile pritiska barutnih gasova krene unazad sabijajući povratnu oprugu, izvlačeći i izbacujući praznu čauru. Povratna opruga potiskuje zatvarač napred. Pri vraćanju zatvarač povlači novi metak iz mehanizma za hranjenje oružja i uvodi ga u ležište metka. Neposredno pre nego što metak dođe u krajnji prednji položaj mehanizam za okidanje aktivira inicijalnu kapslu. Mehanizam za okidanje je tako prostorno i vremenski podešen da je čaura adekvatno oslonjena u ležištu metka u trenutku kada pritisak barutnih gasova u čauri poraste do vrednosti koja bi izazvala oštećenje čaure. Zatvarač i čaura su u krajnjem prednjem položaju upravo u trenutku kada je preostali impuls pritiska barutnih gasova jednak količini kretanja zatvarača pri trzanju. Ovaj preostali deo čini obično polovinu impulsa pritiska barutnih gasova.



Slika 4. Šematski prikaz sistema trzanja zatvarača sa ranijim opaljenjem (automatski top 30 mm Rheinmetal MK 108)

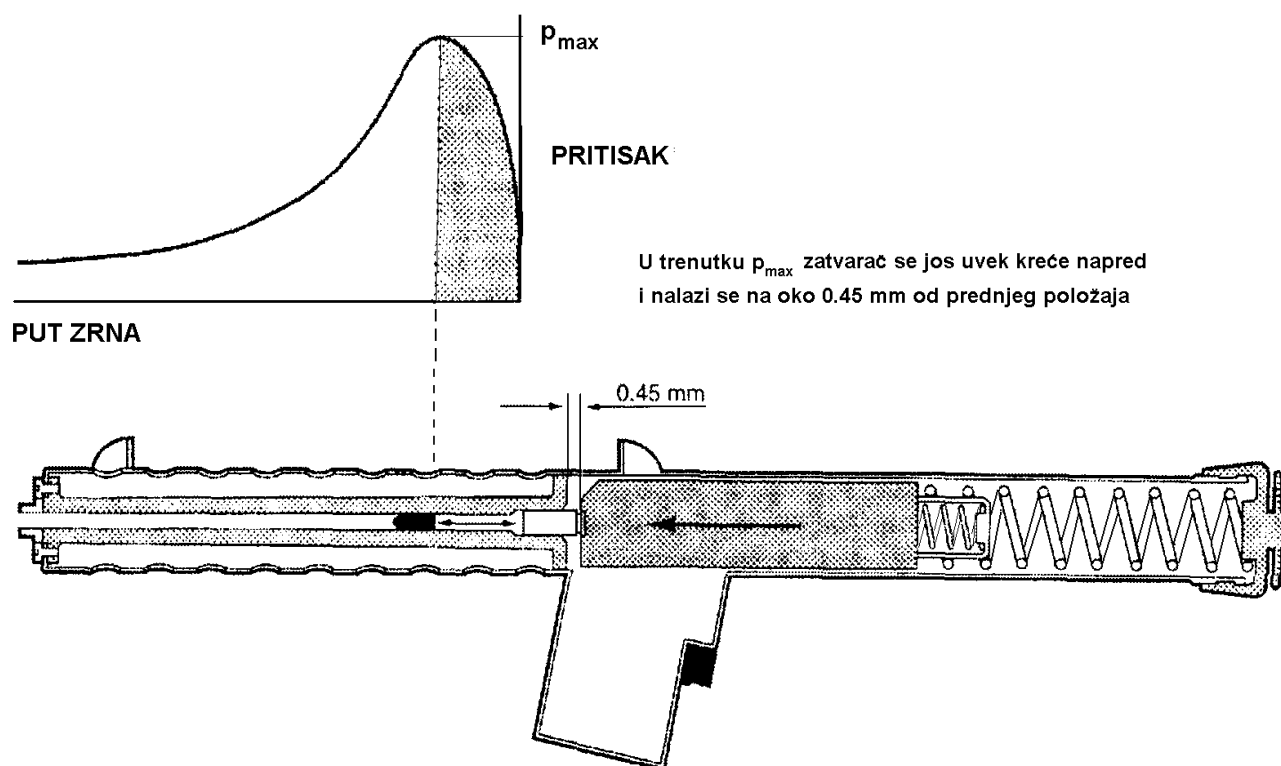
U praksi je brzina kojom se pod dejstvom povratne opruge zatvarač kreće napred na kraju procesa vraćanja veoma bliska brzini koju zatvarač pod dejstvom barutnih gasova ima na početku trzanja. Tako se korišćenjem polovine impulsa barutnih gasova za kočenje zatvarača pri vraćanju omogućuje da se, pri nepromenjenoj brzini zatvarača, njegova masa svede na polovinu.

Ranije opaljenje metka donosi i druge prednosti. Tokom usporavanja zatvarača pri njegovom vraćanju u prednji položaj, čaura je podvrgnuta sabijanju usled sile trenja prouzrokovane visokim pritiskom barutnih gasova. Naprezanje na sabijanje ne izaziva razdvajanje čaure i nema štetnih efekata. Pri trzanju je vreme tokom koga je čaura opterećena na istezanje upola manje. Pošto je dozvoljena dužina izvlačenja neoslonjene čaure ostala nepromenjena, brzina kretanja zatvarača može biti dvostruko veća u odnosu na

slobodno trzanje zatvarača. Ovo povećanje dozvoljene brzine kretanja dovešće do daljeg smanjivanja mase zatvarača, a takođe do povećavanja brzine gađanja. Čist efekat ranijeg opaljenja je smanjivanje mase zatvarača za nešto više od dva puta. To znači da bi kod ovakvog sistema masa zatvarača puške bila smanjena na 9 kg, a masa zatvarača topa 20 mm bi bila smanjena na oko 114 kg. Ove cifre su još uvek potpuno nepraktične. Nijedna jurišna puška sa trzanjem zatvarača sa ranijim opaljenjem nije usvojena u naoružanje bilo koje armije u svetu, ali postoje automatski topovi sa masivnim lafetom i značajan broj malih automata koji rade na ovom principu.

Automati

Karakterističan primer automata koji radi na principu trzanja zatvarača sa ranijim opaljenjem je dat na slici 5, gde je prikazan britanski automat **9 mm Sterling L2A3**.



Slika 5. Trzanje zatvarača sa ranijim opaljenjem - automat 9 mm Sterling L2A3

Kada je oružje zapeto (spremno za opaljivanje) zatvarač se nalazi u zadnjem položaju uz pomoć zapinjače. Povratna opruga je sabijena. Kada strelac povuče obaraču, zapinjača je pritisnuta i ona oslobađa zatvarač, koji se pod dejstvom opruge kreće napred. Čelo zatvarača povlači metak iz magacina, vodi ga napred i vrh metka ulazi u komoru. U ovoj fazi metak je poprečen pod uglom u odnosu na zatvarač. Pri daljem uvođenju čaure u komoru, zatvarač se kreće napred i postavlja metak u liniju sa osom cevi, tako da fiksni udarač, koji se nalazi na čeonj površini zatvarača, nanišani inicijalnu kapslu. Čim sila trenja između čaure i komore postane dovoljno velika dolazi do aktiviranja inicijalne kapsle. Tako je izvršeno opaljenje metka dok se čaura i zatvarač još uvek kreću napred. Najvažniji faktori od kojih zavisi precizan trenutak detoniranja inicijalne kapsle su:

- **Dimenzije komore i čaure**

Komora sa najmanjim dozvoljenim prečnikom i čaura sa najvećim prečnikom dovešće do ranijeg opaljivanja, dok će komora sa najvećim dozvoljenim prečnikom i čaura sa najmanjim prečnikom dovesti do kasnijeg opaljivanja.

- **Trenje u komori**

Što je bolja završna obrada komore opaljivanje metka će za date dimenzije čaure i komore biti kasnije.

U gruboj aproksimaciji zatvarač automata L2A3 treba, od trenutka opaljivanja metka, da se kreće još nekih 0.76 mm dok ne naiđe na čelo zadnjaka cevi. Impuls sile barutnih gasova dovodi do naglog usporavanja kretanja zatvarača napred. U trenutku postizanja maksimalnog pritiska u čauri, zatvarač se još uvek kreće napred i udaljen je nekih 0.46 mm od čela zadnjeg kraja komore (slika 5). Tako, dok je zrno još uvek u cevi, zatvarač se ili kreće napred, ili za trenutak miruje u prednjem položaju, ili je lagano potisnut nazad. Pošto je čaura cilindrična, potpuno zaptivanje će biti obezbeđeno sve dok usta čaure ne napuste komoru. Pri daljem kretanju nazad zatvarač sabija povratnu oprugu i, ili ostaje zadržan u zadnjem položaju uz pomoć zapinjače, ili nastavlja kretanje napred za izvršavanje sledećeg opaljenja. Ovo kretanje zatvarača napred - nazad prouzrokuje značajne promene položaja centra mase oružja, a takođe stvara vibracije usled gnječenja čaure pri dolasku zatvarača u prednji položaj. Zbog toga klasa malih automata teško može da obezbedi tačnu paljbu.

Automatski topovi

Funkcija automatskog topa **20 mm Polsten** sa trzanjem zatvarača sa ranijim opaljenjem zasnivala se na specijalno oblikovanoj komori metka i podmazanoj čauri. Sa specijalnim oblikom komore prečnik dna čaure je bio smanjen tako da je čelo zatvarača sa izvlakačem moglo da sledi čauru unutar komore na dužini većoj od dužine metka (vidi sliku 2). Tako je dozvoljeno izvlačenje čaure od 6 mm tokom 5 ms povećano na nekih 50 mm, čime je srednja brzina kretanja zatvarača u odnosu na slobodno trzanje uvećana 8 puta i obezbeđena veća brzina gađanja. Alternativno masa zatvarača može da se smanji na 18 kg. Za ovaj sistem su bili karakteristični česti zastoji, izazvani prisustvom mnogobrojnih sigurnosnih uređaja u njegovoj konstrukciji. Danas se nijedna konstrukcija savremenih automatskih topova i teških mitraljeza ne zasniva na trzanju zatvarača sa ranijim opaljenjem.

Opasnosti kod sistema sa ranijim opaljenjem

Kompletna sistem funkcionisanja trzanja zatvarača sa ranijim opaljenjem zavisi od trenutka aktiviranja inicijalne kapsle pri vraćanju zatvarača. Ako je trenutak aktiviranja u dovoljnoj meri bilo ranije bilo kasnije sistem neće funkcionisati. Opasnosti kojima je ovakav sistem izložen su:

- **Rano opaljivanje.** Ulazak krupnog peska ili prljavštine u komoru, naročito kod podmazane municije, može da dovede do ranog opaljivanja metka. Rano opaljivanje znači da će maksimalni pritisak biti dostignut pre nego što čaura bude potpuno u ležištu. Ovo dovodi do prskanja čaure.

- **Kasno opaljivanje** usled kašnjenja pripaljivanja (hangfire). Zatvarač može već da odskoči od prednjeg položaja i krene nazad kada se izvrši opaljivanje. U ovom slučaju zatvarač će biti potisnut nazad brzinom 3 puta većom od normalne. To znači da će njegova kinetička energija biti 9 puta veća od normalne i može se desiti da povratna opruga ne uspe da se prilagodi ovako visokom nivou energije. Ovo može da proizvede ozbiljna oštećenja opruga i amotrizera zadnje ploče.

- **Mehanička opstrukcija u komori.** Prednji deo razdvojene čaure će ostati u komori. Sledeći metak neće moći potpuno da uđe u komoru i biće prevremeno opaljen. Kod municije 20 mm, koja često ima upaljač, rasprskavanje čaure izazvano prevremenim opaljenjem aktiviraće eksplozivno punjenje projektila.

- **Ručno ubacivanje metka u ležište.** Ako je metak ručno uveden u ležište i zatvarač oslobođen da se kreće napred, čaura će biti u stanju mirovanja, a kretanje zatvarača se završiti udarom mnogo pre nego što pritisak gasova dostigne maksimalnu vrednost. Ovo će rezultirati trzanjem zatvarača brzinom između 2 i 3 puta većom od normalne i postoji rizik od prskanja čaure i oštećenja oružja.

Sigurnosni uređaji

Mada nijedna od navedenih opasnosti nije od velikog značaja kod automata koji ispaljuje municiju 9 mm Para, ove opasnosti postaju izuzetno značajne kod topova kalibra 20 mm. Pre uvođenja u operativnu upotrebu sledeći sigurnosni uređaji moraju biti uključeni u konstrukciju oružja:

- **Sigurno opaljivanje.** Položaj u kome će inicijalna kapsla biti aktivirana kontrolisan je položajem zatvarača u odnosu na komoru. Uobičajeno rešenje je da se unutar tela zatvarača čekić pokrene prema udarnoj igli, ili se oslobodi kretanje udarača prema inicijalnoj kapsli (slika 4), kada je zatvarač u određenom položaju u odnosu na telo oružja (**top 30 mm Rheinmetal MK 108**).

- **Komora sa navlakom.** Komora sa navlakom može da minimizira efekte ranog ili kasnog opaljivanja na oružje i na posadu. Navlaka ili obloga zadnjeg dela cevi štiti od efekata prskanja neoslonjene čaure.

- **Zaustavljanje dvostrukog punjenja.** Kada dođe do razdvajanja čaure, deo čaure koji ostaje u komori vrši pritisak na kontaktni klin koji aktivira uređaj za držanje oružja u otvorenom položaju. Na taj način je obezbeđeno da zatvarač ostane u zadnjem položaju dok se ne ukloni opstrukcija komore.

- **Uređaj za držanje oružja u otvorenom položaju** Masa zatvarača je dosta velika, a opruge su snažne. Ako bi se dozvolilo da zatvarač ide napred, kada je snabdevanje municijom iscrpljeno, moglo bi da dođe do oštećenja oružja jer nema impulsa opaljenja koje bi amortizovalo udar. Posada bi morala da uloži napor i utroši vreme za ponovno dovođenje topa u zapeti položaj.

Raspodela mase oružja

Sistem zahteva zatvarač velike mase i jake opruge. Kada bi sva masa bila koncentrisana u samom zatvaraču, on bi bio veoma velikog prečnika i telo topa u kome bi zatvarač morao da bude smešten bi bilo neprihvatljivo teško. Da bi se ovo prevazišlo konstruktor obavlja tešku povratnu oprugu oko cevi, koja postaje vođica opruge. Povratna opruga je kod topova **20 mm Oerlikon** i Polsten spojena sa zatvaračem preko bočnih oslonaca.

Na ovaj način gabariti i masa zatvarača su dovoljno mali da omoguće posadi rukovanje, a zadržane su i male dimenzije tela topa. Ukupna trzajuća masa sastoji se od:

- zatvarača
- dva bočna oslonca
- 1/3 mase povratne opruge

Municija različitog impulsa kod sistema sa ranijim opaljenjem

Funkcija sistema sa ranijim opaljenjem zavisi od anuliranja količine kretanja zatvarača na kraju perioda vraćanja i od ubrzavanja zatvarača u početnoj fazi trzanja dejstvom preostalog impulsa barutnog punjenja. Prvi metak mora da bude opaljen sa zatvaračem koji zapinjača drži u zadnjem položaju, tako da zatvarač neće preći kompletan put vraćanja. Zatvarač potisnut napred pod dejstvom delimično sabijene opruge, bez brzine odbijanja od amortizera. On će uvesti prvi metak u ležište brzinom manjom od normalne, tako da će impuls sile trzanja potisnuti zatvarač nazad brzinom većom od normalne. Povratna opruga i amortizer će gurnuti zatvarač ponovo napred brzinom većom od normalne, i ova povećana količina kretanja zatvarača sa zahvaćenim drugim metkom rezultiraće manjom brzinom trzanja nakon opaljenja drugog metka. Tako će brzina trzanja zatvarača biti velika nakon opaljenja prvog i svih neparnih metaka, a biće mala nakon opaljenja drugog i svih parnih metaka. Kod ispaljivanja rafala sa municijom konstantnog nivoa impulsa pritiska ovaj efekat nije jako izražen i u rafalu od nekoliko metaka brzina kretanja zatvarača će se sama nivelisati.

Međutim, kada se istovremeno koristi municija sa različitim impulsom pritiska navedeni efekat može da bude toliko pojačan da brzina zatvarača poraste do opasno nestabilnog nivoa. Predpostavimo da je doboš municije 20 mm napunjen naizmenično protivoklopnom pancirnom municijom velikog impulsa i rasprskavajućom municijom nižeg nivoa impulsa. Prvi metak će izazvati silovito trzanje zatvarača, koji će napregnuti amortizer i povratnu oprugu do višeg nivoa od uobičajenog. Drugi metak će biti uveden u ležište ekstremnom brzinom, ali će se zbog malog impulsa pritiska zatvarač jedva vratiti do zapinjače. Treći, snažni, pancirni metak biće uveden malom brzinom i zatvarač će biti silovito odbačen nazad. Tako će se uspostaviti kretanje koje može da uništi top i protivtrzajući sistem. Top 20 mm Oerlikon pokazao je izuzetnu osetljivost na upotrebu municije različitih karakteristika.

Karakteristike oružja sa trzanjem zatvarača sa ranijim opaljenjem:

- **Zatvarač se još uvek kreće napred u trenutku aktiviranja inicijalne kapsle.**
- **Nezabavljen zatvarač.**
- **Zatvarač velike mase.**

- **Snazna povratna opruga.**
- **Jednostavnost konstrukcije.**
- **Specijalni sigurnosni uređaji za sprečavanje oštećenja izazvanih dvostrukim punjenjem, ranijim opaljivanjem ili kasnijim opaljivanjem.**
- **Cilindrične čaure.**
- **Podmazane čaure.**
- **Ograničena tačnost pri automatskoj paljbi iz ruke.**

Automatski bacač granata **40 mm HK GMG** (Nemačka)

Odloženo trzanje zatvarača (Delayed blow back)

Trzanje zatvarača sa ranijim opaljenjem nije pogodno za oružja koja zahtevaju visoku tačnost pri opaljenju prvog metka, jer ne samo da su trzajući delovi teški, već sistem mora da radi sa otvorenim zatvaračem.

Kod odloženog trzanja zatvarača, nakon opaljenja metka, kretanje zatvarača nazad je ometeno sve do trenutka kada pritisak barutnih gasova ne opadne do nivoa kada može bezbedno da potisne čelo zatvarača nazad i čauru ostavi neoslonjenu u ležištu metka.

Sistem se gotovo uvek zasniva na nekom mehanizmu sa lakim komponentama, koji obezbeđuje da zatvarač u početnoj fazi trzanja ima značajnu mehaničku smetnju da savlada inerciju, pre nego što mu se omogući lako kretanje nazad.

Bez obzira na vrstu mehanizma, mora da se obezbedi da odlaganje trzanja zatvarača ne bude uniformno. Neposredno nakon opaljivanja metka dok je pritisak još visok ograničavanje kretanja čela zatvarača mora da bude maksimalno. Kako pritisak opada, sloboda ubrzavanja zatvarača treba progresivno da se povećava, da bi zatvarač postigao relativno veliku brzinu, bez koje je nemoguće obezbediti veliku brzinu gađanja.

Mehaničko odlaganje trzanja

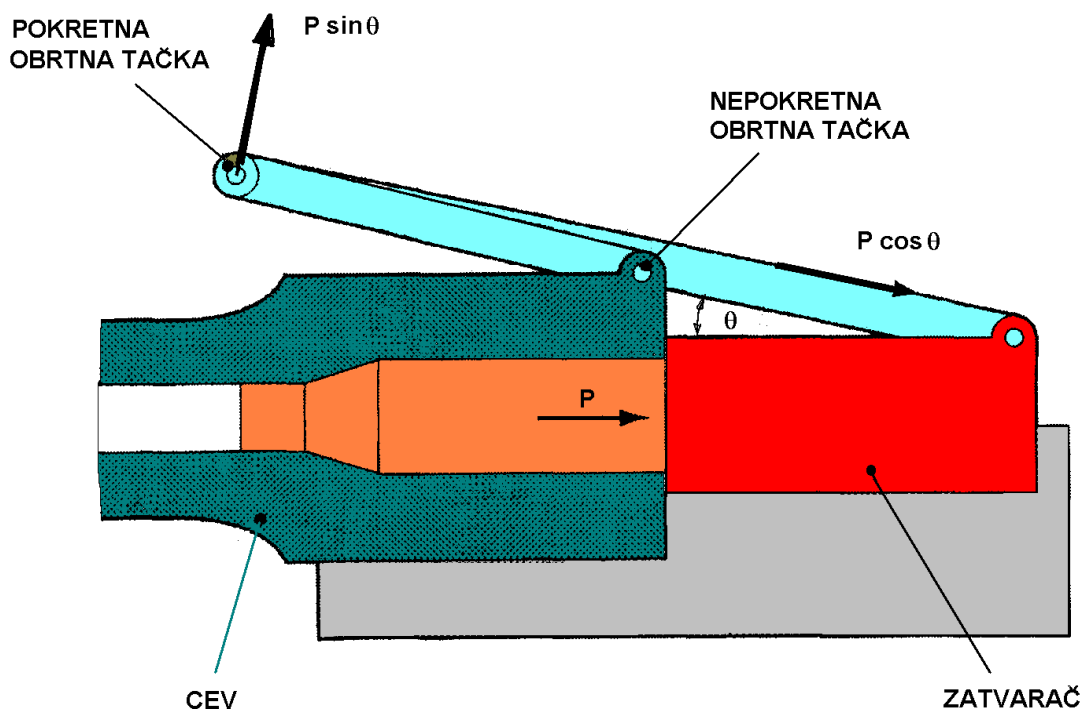
Mehaničko odlaganje trzanja zatvarača postiže se:

- Dejstvom **diferencijalnog mehanizma**.
- Dejstvom **poluge** u telu oružja ili ekstenziji cevi.
- Dejstvom **valjaka** u telu oružja ili ekstenziji cevi.

Odlaganje trzanja zatvarača pomoću diferencijalnog mehanizma.

Princip odlaganja trzanja zatvarača pomoću diferencijalnog mehanizma prikazan je na slici 6. U trenutku kada je oružje spremno za opaljivanje metka, krak mehanizma koji je povezan sa zatvaračem je praktično kolinearan sa krakom koji je povezan sa telom oružja. Sila pritiska barutnih gasova P koja deluje na čelo zatvarača može da se razloži na dve komponente: 1) komponenta proporcionalna $P \cdot \cos\theta$ - duž kraka koji je povezan sa zatvaračem, 2) komponenta proporcionalna $P \cdot \sin\theta$ - pod pravim uglom u odnosu na krak

povezan sa telom zatvarača. Ova druga komponenta proporcionalna $P \cdot \sin \theta$ prouzrokuje rotaciju kraka mehanizma povezanog sa telom oružja, što je neophodno da bi se zatvarač kretao nazad. U trenutku opaljivanja metka ugao θ je mali, sila $P \cdot \sin \theta$ je veoma mala, tako da je ugaono ubrzanje kraka malo i čelo zatvarača se kreće nazad veoma polako. Kako se ugao θ približava 90° sila koja izaziva rotaciju kraka raste, pa se trzanje zatvarača ubrzava.



Slika 6. Odlaganje trzanja zatvarača pomoću diferencijalnog mehanizma (mitraljez Schwarzloze)

Ovakva konstrukcija je u praksi bila veoma osetljiva na efekat dužine cevi. Skraćivanje cevi doводilo je do ranijeg prestanka dejstva sile barutnih gasova, tako da je energija predata zatvaraču bivala nedovoljna za kompletno trzanje. Nasuprot tome, produžavanje cevi za samo 30 mm doводilo je do silovitog trzanja zatvarača, što je izazivalo oštećenja povratne opruge i zadnjeg dela kućišta oružja.

Odlaganje trzanja zatvarača pomoću poluge

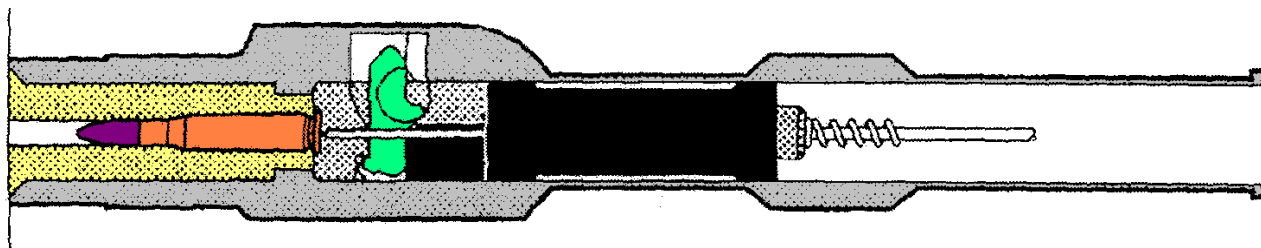
Umesto obrtnih spojeva sa krakovima, koji imaju velike momente inercije, u savremenoj konstruktorskoj praksi za diferencijalno kretanje pri trzanju koriste se dvodelni zatvarači. Jedan od načina obezbeđivanja relativnog kretanja između dva dela zatvarača je pomoću poluge. Na slici 7 prikazan je ovakav sistem na primeru francuskog mitraljeza **7.5 mm AA 52**.

Pri opaljivanju metka, poluga smeštena u glavi zatvarača je snažno potisnuta u udubljenje na telu oružja. Tako je poluga prisiljena da rotira. Tačka oslonca poluge nije na sredini, tako da pri rotaciji poluge postoji odnos brzina njenih krajeva, pa se telo zatvarača ubrzava u odnosu na glavu zatvarača. Kada pritisak opadne do prihvatljivog nivoa, poluga se rotacijom oslobađa od tela oružja i kompletan sklop zatvarača nastavlja trzanje bez promene

međusobnog položaja glave i tela. Pri vraćanju poluga ne može da rotira sve dok ne dođe nasuprot udubljenja na telu oružja, tako da je telo zatvarača zadržano pozadi u odnosu na glavu zatvarača. Kada je metak potpuno uveden u ležište poluga zarotira i telo zatvarača dolazi napred, udara u udarnu iglu smeštenu u glavi zatvarača i potpuno zatvara međuprostor između dva dela zatvarača.

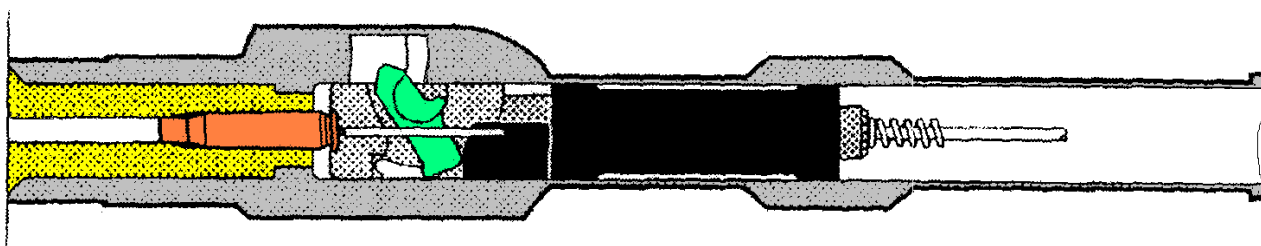
Jurišna puška **5.56 mm FAMAS** (Francuska)

a) Položaj u trenutku opaljivanja metka



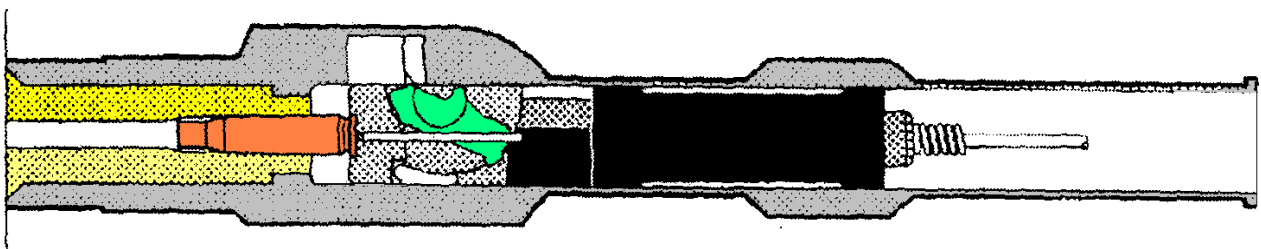
b) Rotacija poluge

Telo zatvarača se kreće nazad



c) Poluga je odvojena od tela

Kompletan sklop zatvarača se kreće nazad

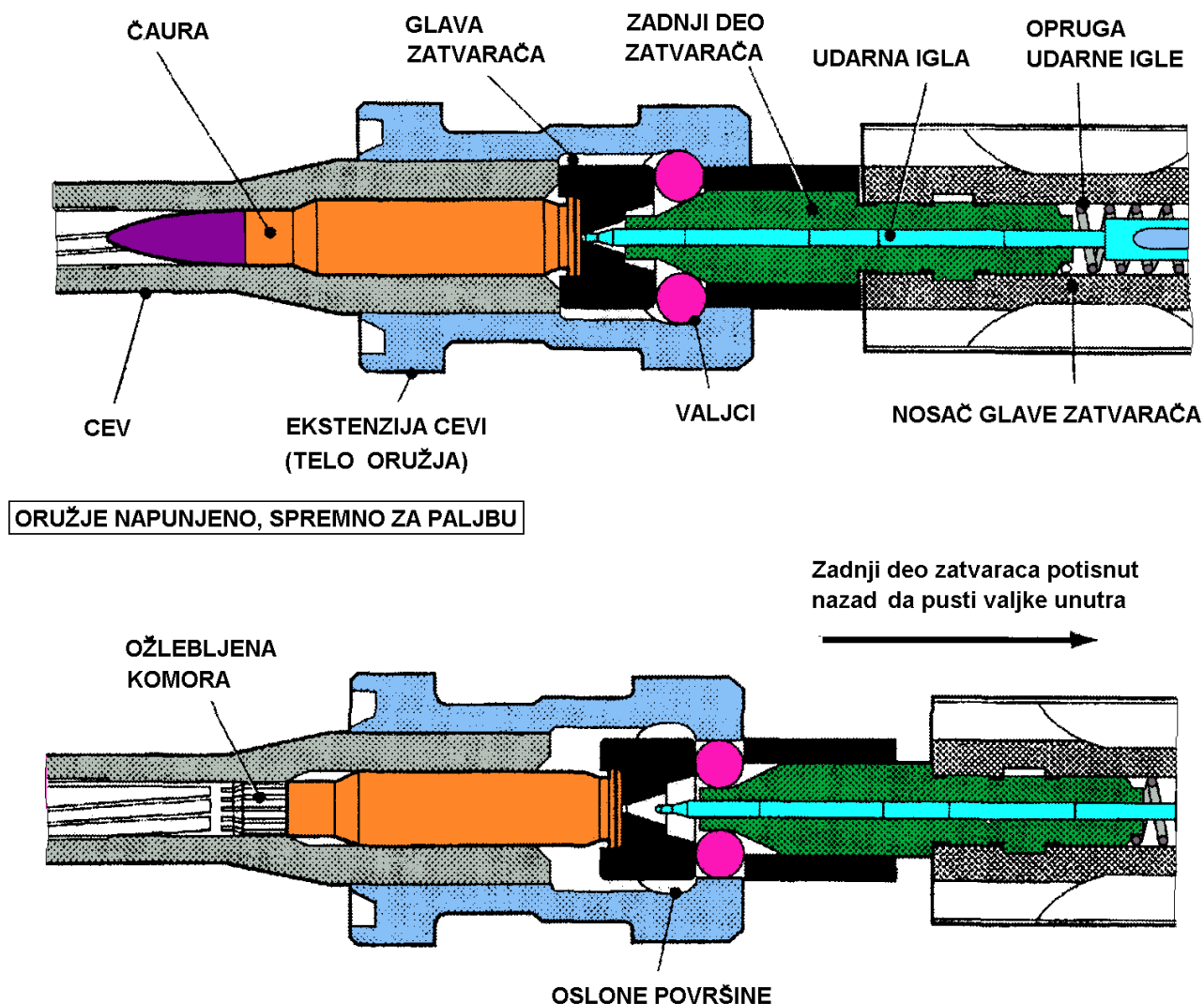


Slika 7. Odlaganje trzanja zatvarača pomoću poluge - mitraljez 7.5 mm AA 52

Odlaganje trzanja zatvarača pomoću valjaka

Drugi način obezbeđivanja relativnog kretanja između dva dela zatvarača je pomoću valjaka. Kao primer odlaganja trzanja zatvarača pomoću valjaka na slici 8 je prikazan princip funkcionisanja nemačke jurišne puške **7.62 mm HK G3**. Gornja skica prikazuje oružje

spremno za opaljivanje metka sa čaurom u ležištu potpuno oslonjenom na čelo dvodelnog zatvarača. Nakon opaljivanja metka čaura pod dejstvom pritiska barutnih gasova prisiljava zatvarač da se kreće nazad. U glavi zatvarača smeštena su dva valjka, koji su uvučeni u udubljenja na ekstenziji cevi. Da bi zatvarač mogao da se kreće nazad valjci moraju da budu potisnuti ka sredini, tako da se oslobode iz udubljenja u ekstenziji cevi. Ovo se obavlja reakcijom udubljenja na dejstvo sile trzanja. Kretanju valjaka ka unutra suprotstavlja se inercija tela zatvarača pri njegovom kretanju nazad, i to dejstvom na valjke preko nagnute površine na prednjoj strani tela zatvarača. Na ovaj način se usporava trzanje glave zatvarača. Kada su valjci potpuno oslobođeni od ekstenzije cevi, metak je već izašao iz cevi i preostali pritisak barutnih gasova potiskuje nazad oba dela zatvarača. Relativni položaj dva dela zatvarača ostaje nepromenjen sve do uvođenja sledećeg metka u ležište. Prednji deo zatvarača tada biva zaustavljen, tako da je zadnjem delu zatvarača omogućeno da potisne valjke u udubljenja u ekstenziji cevi, čime je oružje spremno za opaljenje sledećeg metka.



Slika 8. Odlaganje trzanja zatvarača pomoću valjaka - jurišna puška 7.62 mm HK G3

Diferencijalnom dejstvu, bez obzira da li se ono ostvaruje pomoću valjaka ili direktno putem poluge, pored početnog ograničavanja dužine kretanja glave zatvarača u odnosu na telo zatvarača, potpomaže i relativno meka opruga koja se odupire potiskivanju čaure nazad. Pošto je pri malom kretanju nazad čaure i glave zatvarača, neophodno da telo zatvarača pređe veći put dok se poluga ne razdvoji ili se valjci ne oslobode iz udubljenja, tokom ovog diferencijalnog dejstva se radno opterećenje opruge postepeno povećava.

Diferencijalno dejstvo između dva dela zatvarača pri vraćanju u prednji položaj upravlja funkcijom udarača. Tako je obezbeđeno da opaljivanje metka ne može da se izvrši dok poluga ne zarotira ispred ramena na telu zatvarača, odnosno dok valjci potpuno ne uđu u udubljenja na ekstenziji cevi (kontrola položaja metka u trenutku opaljivanja)..

Primeri

Heckler & Koch (Nemačka)	Policajska snajperska pučka	7.62 mm PSG1
	Vojna snajperska pučka	7.62 mm MSG90
	Automat	9 mm MK5
	Pištoli	9 mm P9
Mitraljez	7.62 mm SIG 710-3	(Švajcarska)

Trzanje zabravljenog zatvarača (Blow back with Locked Breech)

Kod ovog sistema masa zatvarača je maksimalno smanjena do vrednosti koja odgovara zahtevima otpornosti. Dok je pritisak barutnih gasova visok zatvarač je zabravljen, a kada pritisak dovoljno opadne zatvarač se odbravljuje i pod dejstvom preostale sile pritiska kreće nazad kao kod slobodnog trzanja zatvarača.

Sila koja izvršava odbravljivanje zatvarača obezbeđuje se dejstvom pritiska barutnih gasova ili trzanjem cevi. Međutim, energija koja se predaje zatvaraču za obavljanje radnog ciklusa dobija se isključivo trzanjem zatvarača, tako da nije logična ranija podela koja je ovaj tip oružja opisivala kao kombinaciju principa funkcionisanja.

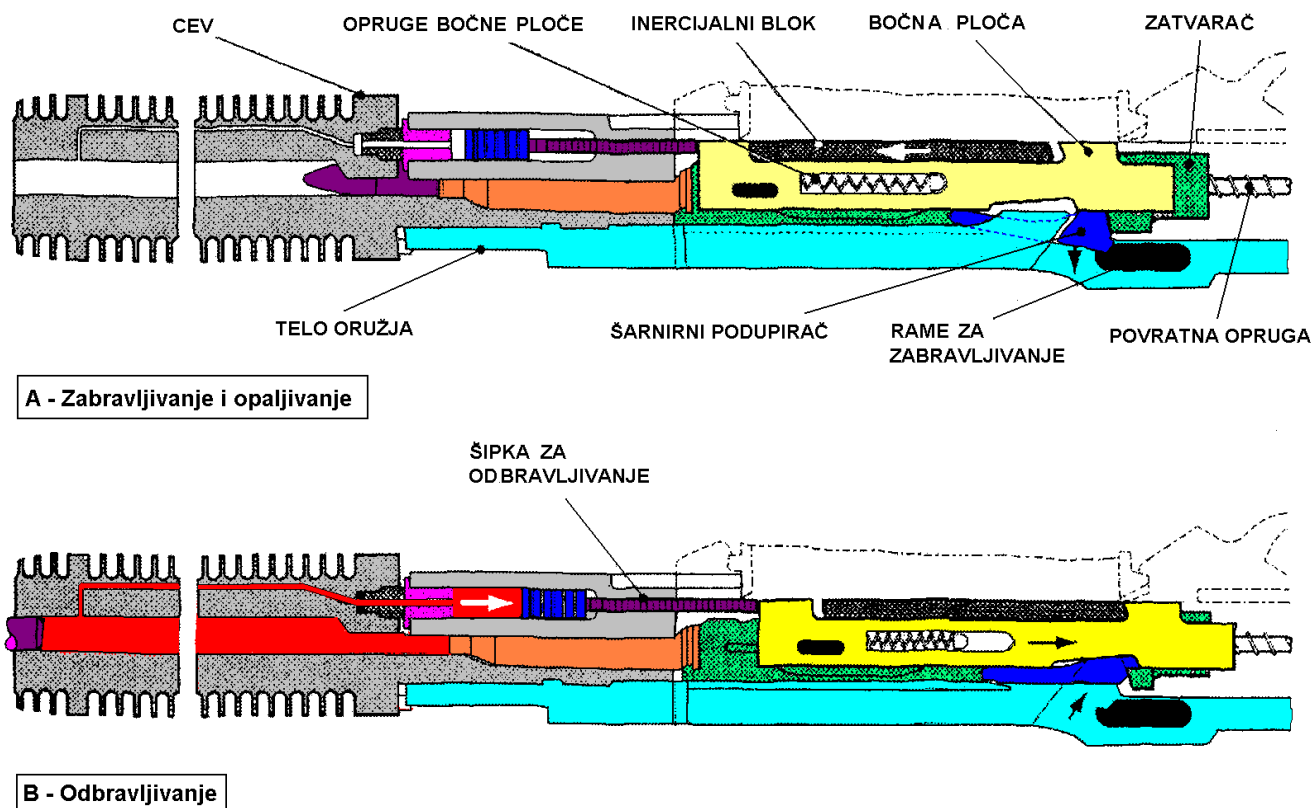
Primer oružja koje radi na principu trzanja zabravljenog zatvarača je top 20 mm Hispano Suiza 820L (vidi sliku 9). Sa obe strane tela zatvarača nalaze se bočne ploče, a na donjoj strani je smešten šarnirni podupirač. Kada je metak uveden u ležište podupirač je potisnut naniže u telo oružja pod dejstvom bočnih ploča koje najašu na njega i drže ga u donjem položaju. Položaj udarne igle je kontrolisan šplintom koji prolazi kroz bočne ploče, tako da metak može da bude opaljen samo kada su bočne ploče u krajnjem prednjem položaju. Bilo kakva tendencija da bočne ploče odskoče sprečena je inercijalnim blokom koji je opterećen oprugom.

Pri opaljivanju metka podupirač je izložen pritisku i tako obezbeđuje da zatvarač bude čvrsto zabravljen. Kada projektil prođe pored otvora na zidu cevi barutni gasovi ulaze u cilindar iznad cevi, prolaze duž kanala koji se grana i deluju na klipove sa obe strane zatvarača, koji preko šipki potiskuju nazad bočne ploče. Čim se ploče pomere iz položaja u kome drže podupirač u donjem položaju, preostala sile trzanja i ugao pod kojim naleže podupirač na ramena za zabravljivanje na telu oružja, omogućuju podupiraču da se podigne i zatvarač je potpuno potisnut nazad.

Primena sistema na principu trzanja zatvarača

Sistemi koji rade na principu trzanja zatvarača imaju sledeću primenu:

- Za municiju male snage sportskih pušaka i pištolja slobodno trzanje zatvarača je adekvatan izbor.
- Kod automata se skoro univerzalno koristi sistem trzanja zatvarača sa ranijim opaljenjem.



Slika 9. Trzanje zabravljenog zatvarača - top 20 mm Hispano Suiza 820L

- Kod pušaka koje moraju da gađaju sa zatvorenim zatvaračem koristi se sistem odloženog trzanja zatvarača.
- Za lake mitraljeze/teške puškomitraljeze i mitraljeze opšte namene koristi se odloženo trzanje zatvarača.
- Kod teških mitraljeza i malokalibarskih topova postoji izbor između trzanja zatvarača sa ranijim opaljenjem i trzanja zabravljenog zatvarača. Sistem trzanja zatvarača sa ranijim opaljenjem je jeftiniji, ali daje manje konzistentnu paljbu i osetljiviji je na promenu impulsa municije. U tabeli 1 dato je upoređenje karakteristika dva topa 20 mm koji rade na navedena dva principa.

Treba naglasiti da se kod svih oružja koja rade na principu trzanja zatvarača zadnji kraj cevi rano otvara i čim se usled trzanja naruši zaptivanje komore barutni gasovi prodivavaju

kroz zadnji kraj cevi. Ovo nije značajno kod pešadijskog naoružanja, ali kada se opaljivanje vrši u zatvorenom prostoru ili unutar kupole mora da se obezbedi efikasna ventilacija prostora zbog opasnosti od otrovnih gasova.

Tabela 1

	20 mm Oerlikon Trzanje zatvarača sa ranijim opaljenjem	20 mm Hispano Suiza Trzanje završljenog zatvarača
Masa zatvarača	3.1 kg	3.3 kg
Masa drugih trzajućih delova	14.89 kg	1.81 kg
Ukupna trzajuća masa	17.99 kg	5.11 kg
Masa topa	64 kg	48.2 kg
Brzina gađanja	600 met/min	650 met/min

Za datu municiju početna brzina projektila će biti nešto manja kod sistema koji radi na principu trzanja zatvarača, jer brzo povećanje zapremine komore pri kretanju čaure nazad dovodi do izvesnog smanjenja radnog pritiska.

Sistem trzanja zatvarača nema sposobnost podešavanja snage za slučajeve povećanog trenja između radnih delova prouzrokovanog prljavštinom, blatom, peskom itd. Oružje će biti podešeno za veliku količinu gasova, tako da će dejstvo biti jako (oštro) kada je sistem čist. Akumuliranje prljavštine će postepeno da usporava dejstvo, što će dovesti do smanjivanja ciklične brzine i usporavanja izbacivanja čaure.

Ako se kod oružja zahteva brza izmenljivost cevi, sistem na principu trzanja zatvarača je izuzetno pogodan, jer cev može da se osigura jednostavnim utvrđivačem i lako povuče nazad. Posebno dobar primer lake izmenljivosti cevi je švajcarski mitraljez 7.62 mm SIG 710-3.

Pregled karakteristika i upotrebe četiri tipa funkcije na principu trzanja zatvarača dat je u tabeli 2.

Tabela 2

	SLOBODNO TRZANJE ZATVARAČA	TRZANJE ZATVARAČA SA RANIJIM OPALJENJEM	ODLOŽENO TRZANJE ZATVARAČA	TRZANJE ZABRAVLJENOG ZATVARAČA
Kompleksnost	Jednostavan	Jednostavan	Manje jednostavan Osetljiv na tajming	Prilično komplikovan
Cena	Jeftin	Jeftin	Prilično jeftin	Prilično skup
Zatvarač	Težak	Lakši	Generalno dvodelni	Lak
Čaura	Cilindrična, male snage	Cilindrična. Otvoreni zatvarač.	Bilo kakvog oblika. Žljebljena komora	Bilo kakvog oblika
Vrsta oružja	Pištolji i automati male snage	Automati, neki topovi	Sva oružja, obično puške, laki mitraljezi	Teški mitraljezi, topovi