

Mr IVAN LAH

Utvrdjivanje optimalnog obima vojnih rashoda pomoću matematičkog modeliranja u uslovima trke u naoružavanju

Uvodne napomene

U ovom prilogu pokušaćemo da prikazemo jedan metod za iznalaženje optimalnog obima vojnih rashoda dveju strana — potencijalnih ratnih protivnika — za odabrani planski period. Pri tome, pre svega, interesuju nas rashodi jedne strane, sa kojom se identifikujemo, dok nas rashodi druge strane interesuju samo utoliko koliko posredno utiču na utvrđivanje našeg optimuma.

U osnovi tog metoda nalazi se matematički model koji razrađujemo i priređujemo za simulaciju na elektronskom računaru.¹ Pomoću simulacije iz mnoštva varijanti (reda jedan milion) izdajamo samo one, koje nas u datom trenutku najviše interesuju. Postupak simulacije priredili smo i pojednostavili do te mere da ga je moguće izvoditi bez matematičkog predznanja i bez poznavanja programskih jezika. Dovoljna je kratka demonstracija na terminalu posle koje bi svako mogao da sa analizom produži sam.

Matematički oblik izlaganja sveli smo na najnužniju meru, ali on će čitaocima, boljim poznavacima metodologije operacionih istraživanja, omogućiti prevođenje osnovnih zamisli na matematički jezik, te ocenu konačnog rešenja. Naša je namera da pokušamo da damo doprinos razumevanju savremenih društvenih pojava, ana-

¹ Simulacioni model razradili smo na operativnom sistemu TOPS-10 računskog centra Ljubljanskog univerziteta programskim jezikom APL (A Programming Language).

lizirajući ih pomoću novih metodologija uz korišćenje elektronskog računara. Da li je moguće eksperimentisanje u društvenim procesima, gde klasičan eksperiment u makrodimenzijama nije primenljiv, kao u egzaktnim naukama gde je on osnovno merilo istine? Zbog toga mi ćemo za društvene procese pokušati da sastavimo odgovarajuće dinamičke modele, bez dubljeg ulaženja u to područje. Poznata su dostignuća nekih razvijenijih zemalja u tome, iako se mnogi pronalasci zbog tajnosti objavljuju samo fragmentarno. U ovom prilogu odabrali smo trku u naoružavanju kao uslov u kome bismo pokušali primeniti pomenuti metod za iznalaženje optimalnog obima vojnih rashoda, jer su to problemi koji opterećuju čitavo čovečanstvo i svaku zemlju ponaosob.

1. Matematički modeli u vojnoj nauci

Vojna nauka oduvek je imala i svoju matematičku komponentu. Brz razvoj elektronskih računara poslednjih nekoliko decenija omogućio je izračunavanje najsloženijih kvantitativnih (pa i kvalitativnih) odnosa u pojavama. Mogućnosti matematičkog modeliranja praćene su mogućnostima računara i smelijim zahvatima u sve složenije pojave. Na taj način matematički modeli prodiru i u društvene nauke, a time i u vojnu nauku.

Prema osnovnim obeležjima, matematičke modele, do danas razvijene u vojnoj nauci, mogli bismo podeliti u tri grupe: (1) modeli koji se odnose na taktičko-tehničke osobine borbenih sredstava (i nekih radnji); (2) modeli koji se odnose na dinamiku vojnog sukoba; (3) modeli koji se odnose na vojno-političke odnose suprotstavljenih strana.

Prva grupa modela najtešnje je vezana na instrumentarij prirodnih nauka i oni su najrazvijeniji i najraznovrsniji. Druga grupa modela pokušava zahvatiti zakonitosti i dinamiku borbi, bojeva i operacija, služeći se pri tome i originalnim idejama i analogijom dinamičkih procesa koje proučavaju druge naučne discipline. Početak im se nazire u toku prvog svetskog rata, tzv. Lenčesterov (Lanchester) model. Treća grupa modela je najmlađa (pojavi su se oko 1960. godine) pomoću kojih se pokušavaju dokučiti i analizirati zakonitosti društvenih pojava, kao što su: trka u naoružavanju, stvaranje vojno-političkih saveza i njihovo raspadanje, međunarodna trgovina, politički odnosi i slično.

Na rezultate primene tih modela u procesu donošenja odluka treba gledati kao i na rezultate operacionih istraživanja. A ti rezultati treba da pomognu donosiocu odluke u izboru optimalne varijante... Rezultat operacionog istraživanja u većini slučajeva je samo osnova za odluku, a rukovodilac mora, pored činioca ugrađenih u matematički model, prema svojim sposobnostima, iskustvu i intuiciji, uzeti u obzir i niz drugih elemenata...² Dakle, čovek je bio i ostao glavni kreator svih odluka, ali mu rezultati dobiveni egzaktnim metodama u procesu donošenja odluke nude dragocen oslonac. Takvo gledanje na operaciona istraživanja danas je u naučnom svetu uglavnom prihvaćeno. Zbog toga egzaktno metodologije se ne smeju precenjivati i zanemarivati značaj čovekove intuicije u bilo kojoj društvenoj delatnosti, a pogotovu u vojnoj, u kojoj je prisutan veliki broj nemerljivih ili delimično merljivih uticaja.

2. Ričardsonov (Richardson) model trke u naoružavanju

U ovom modelu postoje dve strane — potencijalni ratni protivnici. Označimo ih simbolički: P — plavi; C — crveni.

Obe strane su uhvaćene u vrtlog trke u naoružavanju. Ta se trka, kao objektivna pojava, odvija po nekoj zakonitosti koju ćemo mi pokušati da obrazložimo. Nijedna strana u tom modelu nema kompletan uvid nad tokom trke. Mi kao promatrači postavljamo se, u početku, u neutralan položaj i trku samo pratimo. Kasnije se identifikujemo sa jednom stranom (crvenom) i pokušavamo da kanališemo tok naoružavanja.

Ričardsonov model polazi od sledećih pretpostavki:

Prvo. Upotrebljena je ideja Tukidida³, kojom se on služio u analizi ratova između Atine i Sparte, a koja se ogleda u sledećem: ako strana C smatra da je strana P prema njoj raspoložena neprijateljski, C će se najverovatnije shodno tome i ponašati prema P. Zbog takvog stava i ponašanja menjaće se vremenom i odnos P prema C. Taj odnos može u početku biti i prijateljski, ali će se vremenom promeniti do neutralnosti, a na kraju u podozrenje i neprijateljstvo. Takvi bilateralni odnosi između C i P sadrže generator nepoverenja sa pozitivnom povratnom spregom, što vremenom be-

² *Vojna enciklopedija*, drugo izdanje, Beograd, 1973, tom 6, str. 405.

³ *Isto*, tom 10 i 3, str. 161 i 51.

zizlazno uvećava nepoverenje i neprijateljstvo. Vredi naravno i obrnuto, kada se uloge strane međusobno zamene.

Drugo. Promenama pogoršanih odnosa između C i P proporcionalno slede mere za naoružavanje jedne i druge strane. Porastu vojne moći kod C slede mere za porast vojne moći kod P, što povratno opet izaziva mere za porast vojne moći kod C, itd. Trka je započeta i nastavlja se uzajamnim stimulisanjem. Oštrina reagovanja na promene vojne moći kod protivnika može biti kod obe strane jednaka. Međutim, po pravilu, ipak se razlikuje.

Treće. Trka u naoružavanju zbog svog »eksplozivnog« karakter postepeno dolazi u sukob s ekonomskim mogućnostima. Naoružavanje je za obe strane ekonomski teret, koji je utoliko veći ukoliko pojedina strana ima više nataloženih vojnih potencijala koje mora održavati. Taj ekonomski teret deluje u smislu usporavanja tempa naoružavanja. A to usporavanje je, po pravilu, različito za svaku stranu, no može biti, izuzetno, i jednako za obe strane.

Četvrto. Svaka strana ima i svoje političke ciljeve i namere prema drugoj, koje nisu ovisne o trenutnoj vojnoj moći jedne ili druge strane. Ti ciljevi mogu biti izraženi u vidu dugoročnijih nastojanja: bilo ka neutralnosti ili uspostavljanju prijateljstva ili pak zaoštavanju odnosa. Pri tome obe strane mogu imati podudarajuće političke ciljeve (težnja ka neutralnosti ili prijateljstvu), ali isto tako i ciljevi mogu biti suprotni.

Kada te osobine strana izrazimo simbolički i povežemo ih matematičkim relacijama, dobijamo matematički model, koji prema Richardsonu može imati sledeći oblik:⁴

$$\begin{aligned} dp/dt &= ac - mp + g; \quad p = p(t), \quad c = c(t), \quad p(0) = p_0, \quad c(0) = c_0 \\ dc/dt &= bp - nc + h; \quad t \geq 0, \quad a > 0, \quad b > 0, \end{aligned} \quad (1)$$

pri čemu su: t —vreme; a i b — pozitivni koeficijenti reagovanja jedne i druge strane na promene naoružavanja kod protivnika; m i n — koeficijenti ekonomskog tereta; g i h — koeficijenti koji označavaju uzajamne političke ciljeve; $c(t)$ i $p(t)$ — vojni potencijali strana C i P, koje u stvari promatramo; c_0 i p_0 — vojni potencijali C i P na početku promatranja (u vreme $t=0$).

⁴ Richardson L. P., *Arms and Insencurity*, Chicago, 1960. Roport A., *Mathematische Method in deu Soziolwissen — Schafien*, Würzburg — Wien, 1980. Saaty T. L., *Mathematical Models of Arms Control and Disarmment*, New York, 1968.

Imamo, dakle, sistem od dve linearne nehomogene diferencijalne jednačine prvog stepena sa konstantnim koeficijentima sastavljene korišćenjem intuicije i prevođenjem osnovnih zamisli na matematički jezik. Rešavanjem ovih jednačina rutinskim matematičkim postupkom dolazimo do rezultata. Rešenja koje daje Ričardsonov model su dosta zanimljiva. Međutim, kako nam u ovom prilogu taj model služi samo kao polazna osnovica, to sa njegovim razmatranjem u ovoj fazi zaključujemo i prelazimo na jednu od njegovih modifikovanih verzija.

3. Utvrđivanje optimalnog obima vojnih rashoda

Zadržavamo osnovne pretpostavke Ričardsonovog modela iz prethodnog primera, uz jednu bitnu izmenu: strana C neka bude sada ujedno i učesnik u trci i upravljač trke u naoružavanju. Nekim svojim postupcima želi dakle da tu trku kanališe tako da postigne neki svoj odabrani optimalni cilj. Međutim, u izboru svojih postupaka očigledno je da je ograničena, budući da kod strane P pripreme teku svojim ustaljenim tokom. Na njene postupke strana C može da utiče samo posredno.

Strana C odabira, tj. određuje svoj optimalni cilj, tzv. funkciju cilja. U našem primeru ta funkcija cilja sadrži, pored zahteva iz Ričardsonovog modela, još i sledeće zahteve:

Prvo. Trka u naoružavanju promatra se u nekom određenom planskom periodu i iskazuje kroz novčane vojne rashode strana C i P.

Drugo. Strana C utvrđuje (ocenjuje) stepen svoje bezbednosti u odnosu na stranu P. Taj stepen iskazuje se kroz odnos snaga C:P, odnosno odgovarajući odnos vojnih rashoda C:P u nekom planskom periodu. Pri tome strana C može smatrati da je njezina bezbednost postignuta, recimo, pri odnosu 1:1. Međutim, može kao kriterijum bezbednosti postaviti i svaki drugi odnos, recimo 3:1 u njenu korist ili 1:3 u korist strane P. Stepen bezbednosti stvar je dakle ocene u datim okolnostima.

Treće. Strana C nadalje smatra da je svako njeno odstupanje od utvrđenog odnosa snaga skopčano sa dodatnim rashodima. Ako naoružavanje kod C teče brže nego kod P, onda su ti uvećani rashodi neposredno vidni. Ukoliko je, pak, njezino naoružavanje spo-

rije od utvrđenog odnosa prema P, onda strana C smatra da će joj se to kad-tad osvetiti u vidu iznuđenog porasta rashoda u nekom budućem periodu. Drugim rečima, strana C želi da se tačno pridržava utvrđenog odnosa snaga prema P.

Četvrto. Strana C ocenjuje da su ukupni vojni rashodi obeju strana u globalu nepoželjni, te bi u najboljem slučaju trebalo obe strane odmah i potpuno da se razoružaju. Jasno je da je takav zahtev utopistički i neostvarljiv u sadašnje vreme, no on ipak u modelu ima ulogu skrivene želje i obeju strana i čitavog čovečanstva.

Peto. Ukupni vojni rashodi obeju strana u odabranom planškom periodu treba da budu minimalni.

Šesto. Odstupanja od utvrđenog odnosa vojnih rashoda obeju strana treba da budu takođe minimalna.

Sedmo. Od modela (1) ostaje samo jednačina za stranu P, kod koje se nije ništa promenilo, dok jednačina za stranu C treba da se menja, budući da sada C nije pasivan učesnik trke, već aktivan kreator.

Kada sve ove zahteve opet izrazimo simbolima i povežemo ih u matematički model, dobijamo:⁵

$$\min S = \int_0^T \{(c - qp)^2 + k(c + p)\} dt; \quad p = p(t), \quad c = c(t), \quad p(0) = p_0, \quad c(0) = c_0 \\ dp/dt = ac - mp + g; \quad t \geq 0, \quad q > 0, \quad k > 0, \quad (2)$$

pri čemu je: T — dužina planskog perioda; S — funkcija cilja, koja treba da je minimalna što je kriterij strane C; q — stepen bezbednosti; k — stepen obostranog naprezanja u vojnim rashodima koje strana C želi da nametne. Drugi simboli imaju isto značenje kao u modelu (1).

Model (2) uvrštava se u modele optimalnog upravljanja i njegovo rešenje možemo dobiti metodom matematičkog dinamičkog programiranja, odnosno tzv. metodom Pontrjagina. Samo rešavanje je stvar matematičke rutine, zbog toga ovde dajemo samo konačno rešenje:

$$p = p_0 \exp(aq - m)t + [g - 1/2a(a\lambda + k)/(aq - m)] [\exp(aq - m)t - 1] \\ c = qp - 1/2(k + \lambda a) \\ \lambda = [k(q + 1)/(m - aq)] [1 - \exp\{(T - t)(aq - m)\}] \\ p = p(t), \quad c = c(t), \quad \lambda = \lambda(t) \quad (3)$$

⁵ Rapoport A.: *Mathematische Methoden in den Sozialwissenschaften*, Würzburg — Wien, 1980.

U rešenju smo dobili model (3) koji je dosta zamršen obrazac za izračunavanje funkcija p i c . Dalji rad na izračunavanju tih funkcija ima smisla samo na računaru.

4. Postupak stimulacije i komentar rezultata

Za model (3) sada izrađujemo program za simulaciju pomoću kojeg ćemo moći na dosta jednostavan način da unosimo različite odgovarajuće vrednosti parametara koji u modelu nastupaju. Radi uspešnog interaktivnog opštenja sa računarom, izabrali smo programski jezik APL. Ranije smo već istakli da model dopušta rešenja sa jedan milion varijacija, što je dovoljno da se studiraju procesi naoružavanja protivnika sa dosta različitim osobinama. Pojam »simulacija« upotrebljava se u različitom značenju. U sistemskim analizama taj pojam je rezervisan za podražavanje onih procesa gde analitička rešenja nisu moguća. U našem kontekstu simulaciju primenjujemo na jedno analitičko rešenje, koje je takve prirode da imao vrlo mnogo mogućih bročanih rezultata. U interaktivnom opštenju sa računarom iznalazimo one rezultate koji nas trenutno najviše interesuju. Izmena poruka čovek — računar — čovek itd., sledi neposredno i neprekidno. Program u računaru u ovom slučaju možemo smatrati kao »crnu kutiju«, za koju i ne moramo da znamo šta se u njoj događa.

Kad počinjemo sa interaktivnim radom, računar najpre zatraži od nas ulazne ocene parametara, tako da nam na ekran terminala ispiše odgovarajuće pitanje i sačeka naš odgovor. U jednoj varijanti odlučili smo se za ocene od 1 do 10, koje se mogu postavljati za pojedine parametre. Računar naše ocene po redu akceptira. Ukoliko smo pogrešili ili bismo mu hteli štogod podmetnuti, on »šalu« ignoriše i dalje insistira na korektnom odgovoru na postavljeno pitanje. Kada je primio neophodne informacije, u »crnoj kutiji« izvrši preračunavanja i na ekranu ispiše rezultate. Ukoliko smo sa rezultatom odmah zadovoljni, možemo posao prekinuti. Međutim, najčešće ćemo ispitivanje vršiti dalje uz neke druge vrednosti parametara. Zbog toga je i program priređen tako da nas računar već čeka za odgovor na uporednu ocenu parametra. Kad unesemo u njega neke druge ulazne podatke, na ekranu se ispisuju novi rezultati, a ujedno i upoređenje sa rezultatima od prethodnih vrednosti parametara. Na taj način možemo se korak po korak približavati nekom optimalnom rešenju.

Vrednosti pojedinih parametara pri tome ponekad mogu biti i protivrečne. U milionu različitih kombinacija ima mesta i za malo verovatne kombinacije. Svaki pokušaj sa jednom kombinacijom traje oko 20 sekundi. Planski period možemo birati po volji, ali ipak se najčešće uzima unutar 15 godina.

U ovom prilogu oslonili smo se na ideje Tukidida, Ričardsona, Rapoporta i drugih. Povezali smo ih u matematičke relacije i model razrešili Pontrjaginovom mini-maks-metodom. Programskim jezikom APL sačinili smo simulacioni model za interaktivno opštenje sa računarom. Time smo stvorili jedan metod pomoću koga studiramo proces naoružavanja i razoružavanja. Ostalo je da se izvrši demonstracija na terminalu. Tako smo došli do kraja jedne i na početak naredne faze. Simulacijom ne samo što studiramo pojavu, već ujedno unosimo poboljšanja u model i izgrađujemo ga. Situacija je dosta slična onoj kada u tvornici počinju da razvijaju automobil. Dugačak je put od ideje do prototipa. Serije se kasnije takođe razlikuju, jer se na osnovu zapaženih slabosti pojedine performanse automobila usavršavaju i ispitivanje u stvari nikad ne prestaje. Ipak, automobil na tom putu razvoja je u upotrebi. Tako je i ova metodologija, bazirana na matematičkom modeliranju u društvenim naukama, relativno još uvek mlada i nedovršena. No, to ne treba da sprečava njeno korišćenje gde god je to moguće.

L I T E R A T U R A

- 1) Vojna enciklopedija, drugo izdanje, Beograd, 1973.
- 2) Richardson L. P.: Arms and Insecurity, Chicago, 1960b.
- 3) Rapoport A.: Mathematische Methoden in den Sozialwissenschaften, Würzburg-Wien, 1980.
- 4) Saaty T. L.: Mathematical Models of Arms Control and Disarmament, New York, 1968.
- 5) Petrić J.J.: Operaciona istraživanja u vojsci, Beograd, 1974.
- 6) Kohlas J.: Monte Carlo Simulation im Operations Research, Springer Verlag, 1972.