

# Modeliranje borbenih dejstava

– Analiza podmorničkih učinaka na Kuennovim modelima –

Kapetan bojnog broda mr *DRAGOLJUB LUBURIĆ*

**Z**a razliku od sličnog članka koji je ranije objavljen i u kojem su opisane osnove modeliranja operativno-taktičkih zadataka, ovdje se prikazuju i drugi načini modeliranja. Tematika modeliranja u ovom članku fokusirana je na podmorničku problematiku iz drugog svjetskog rata. Naglašavajući deficitarnost suvremene empirijske baze iz upotrebe podmornica u lokalnim ratovima, analizirani su matematički modeli Amerikanca R. Kuenna, koji su testirani na rezultatima podmorničkih operacija protiv neprijateljskog pomorskog prometa.

U završnom dijelu članka ukazano je na nužna ograničenja, moguće greške modela i njegovu pouzdanost, bez čega modeliranje nema smisla. U zaključku se skreće pažnja na razlike između demonstriranih modela i onih koji bi opisivali suvremenu podmorničku aktivnost navodeći seriju glavnih i pomoćnih kriterija, koje bi valjalo uzeti u obzir, te neophodnu sintezu grafičkog i matematičkog modeliranja radi iznalaženja prihvatljivih rješenja.

O problematici modeliranja u ratnoj vještini često se piše i govori. Redakcija »Vojnog dela« u broju 5/1987. objavila je tekst kapetana bojnog broda Delimira Koleca o ovoj važnoj i suvremenoj temi. Iako je on na izvjestan način prikazao tehniku grafičkog i tekstualnog modeliranja, nakon čitanja neminovno se nameće nekoliko pitanja. Citalac ostaje u dilemi, da li je ono što je autor opisao stvarno model borbenog dejstva ili je preporuka za izradu operativnih i taktičkih zadataka? Nameće se i pitanje, mogu li se i kako rješavati problemi u borbenim dejstvima opisanom tehnologijom modeliranja? Konačno, diskutabilno je i pitanje pouzdanosti takvog modela koji prije upotrebe nije testiran.

Razumije se da se radi o složenim pitanjima iz područja modeliranja, koja za odgovor na stranicama jednog časopisa traže dosta prostora na što je i autor teksta ukazao. Stoga ovaj rad nije kritika na njegove poglede o modeliranju, već pokušaj da se prethodni rad dopuni i proširi drugim aspektima modeliranja borbenih dejstava. U njemu se iz bogate literature o podmorničkom ratovanju iz razdo-

blja drugog svjetskog rata demonstrira primjena matematičkih modela za analizu pomorskog prometa na Pacifiku i Atlantiku. Članak je odaziv na inicirani prijedlog Redakcije »Vojnog dela« da se pokrene šira rasprava o modeliranju u ratnoj vještini, zbog čega je u osnovi i zadržan prethodni naslov.

## TESTIRANJE MODELA NA EMPIRIJSKOJ BAZI

Radi rješavanja raznovrsnih problema u ratnoj vještini često se koriste i matematički modeli.<sup>1</sup> Pomoću njih se preciznije opisuju, klasificiraju, objašnjavaju, prognoziraju i otkrivaju bitna stanja, veze, procesi i druge međusobne funkcije među akterima u oružanoj borbi na kopnu, zračnom prostoru, na moru i pod morem. Matematički modeli znatno olakšavaju rješavanje problema kao što su dileme u traženju ciljeva, predviđanje ishoda konflikta antagonističkih strana, iznalaženje rješenja za optimalni transport materijalnih sredstava i sl.

Mada je u svjetskoj literaturi napisano mnogo knjiga i drugih radova<sup>2</sup> u kojima je objašnjeno kako se pomoću matematičkih modela rješavaju složeni problemi borbenih dejstava, u nas je izvjesno vrijeme bilo evidentno zaostajanje u tom pogledu. Bilo je malo kompleksnih problema, koji su na originalan način rješavani matematičkim modelima. Mnogo su češći bili slučajevi korištenja parcijalnih matematičkih modela radi rješavanja jednostavnijih taktičkih problema borbe i bojeva. Dokaz je većina jednostavnih matematičkih formula u nastavnoj i drugoj literaturi.<sup>3</sup> Najčešće su se rješavali problemi proračunavanja maksimalne daljine otkrivanja protivnika, vjerojatnost pogađanja cilja raznim oružjima itd. Međutim, nakon višegodišnjeg probanja znanosti, metodologije znanstvenog rada i primjene računarske tehnike u ratnoj vještini, takvo nezadovoljavajuće stanje rapidno se popravilo.

<sup>1</sup> Pod matematičkim modelom u ratnoj vještini podrazumijeva se kvantitativna relacija, koja izražava određenu zakonitost oružane borbe kroz njen početak, sadržaj, tok, dinamiku, presjek, kraj (ishod) i sl.

<sup>2</sup> Vidi: D.G. Brewer and M. Shubik, *The War Game*, London, 1979, str. 3–30, 77–215; kapetan bojnog broda Delimir Kolec, *Modelovanje oblika borbenih dejstava*, »Vojno delo« br. 5/1987, str. 89–107.

<sup>3</sup> Na primjer obrazac  $D_{n a/p} = \frac{E_v}{C_{a/p}} \cdot n_a$  predstavlja model dnevnog naprezanja avijacije pri odnosu posada – vazduhoplov 2 : 1 i mogućnosti vazduhoplovno-tehničkog faktora pri ograničenju 4 a/p i sl.



Spektakularni uspjesi raketnog oružja u lokalnim ratovima osamdesetih godina bitno su doprinijeli još češćoj primjeni matematičkih modela, koji dosta vjerno opisuju dinamiku borbenih dejstava u svim prostornim koordinatama. Dok se uz raketno, u suvremenim lokalnim ratovima i pojedinim kriznim područjima često koristilo artiljerijsko, ponekad minsko i kemijsko oružje, torpedno je ostalo u sjeni spomenutih. Rijetka borbeno upotreba podmornica i torpeda u lokalnim ratovima u mnogih je izazivalo sumnjičavost u njihovu efikasnost.<sup>4</sup> Očito je da takvo stanje odgovor o efikasnosti torpednog oružja traži i na druge načine.

Kada se iz objektivnih razloga ne može odgovoriti na aktualne dileme, rješenja se traže i u prošlosti. Zbog nedostataka ulaznih parametara, modelirati suvremena taktička podmornička borbeno dejstva bilo bi neracionalno. Sa gledišta ove rasprave zanimljivo je kako je svojevremeno Amerikanac R. Kuenn formulirani matematički model testirao na empirijskim podacima podmorničkih operacija protiv neprijateljskog pomorskog prometa na Pacifiku i Atlantiku u drugom svjetskom ratu. On je u svojoj knjizi postavio generalnu hipotezu kojom se pitao: koliki je trebalo da bude stalan broj podmornica u ratu (za američku, odnosno njemačku stranu), da one i uz vlastite gubitke postignu iste rezultate, kao što su ih praktično postigle podmornice čiji broj je varirao u ratu?<sup>5</sup>

## KUENNOV OSNOVNI MODEL

Opći matematički model dejstva napadnih torpednih podmornica R. Kuenn je izrazio obrascem:

$$k'A + (k' - 2) B + Q = 24$$

(1)<sup>6</sup>

<sup>4</sup> Ovakva sumnja potkrepljuje se i neuspjesima argentinske konvencionalne podmornice »Saint Luis«, koja ni sa nekoliko lansirnih torpeda nije nanijela ozbiljnije štete britanskim ratnim brodovima u argentinsko-britanskom sukobu oko Malvinskih otoka 1982. godine. Uzrok neuspjeha bilo je tehničko pitanje, odnosno slaba tehnička priprema oružja. Međutim, snagu torpednog oružja (čak i oružja stare generacije) na najbolji način demonstrirala je u istom ratu podmornica na nuklearni pogon »Conqueror«, koja je sa dva ispaljena torpeda potopila argentinsku krstaricu »General Belgrano«.

<sup>5</sup> R. Kuenn, *Torpednie podvodnie lodki*, Voennoe izdateljstvo Ministerstva oboroni SSSR, Moskva, 1970, str. 81.

<sup>6</sup> Sve matematičke formule u ovom članku provjerene su i preuzete su iz autorove knjige.

Empirijski podaci pomoću kojih je pisac testirao svoj matematički model bili su:

Tablica 1.

| V A R I J A B L E                                                                                                     | Veličina za |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|
|                                                                                                                       | Pacifik     | Atlantik |
| L – broj ukupno izgubljenih podmornica u ratu                                                                         | 52          | 753      |
| A – prosječno vrijeme trajanja jednog podmorničkog borbenog zadatka (izraženo u mjesecima)                            | 1,66        | 1,40     |
| B – prosječno trajanje opravke i popune podmornice zaliha (mjeseci)                                                   | 0,75        | 0,83     |
| Q – prosječno vrijeme koliko je jedna podmornica u razdoblju od 24 mjeseca bila izvan upotrebe (izraženo u mjesecima) | 4           | 3,5      |
| T – trajanje rata (mjeseci)                                                                                           | 44          | 68       |
| a – prosječna potopljena istisnina (tonaža) protivničkih brodova na jednom borbenom zadatku (izraženo u tonama)       | 3771        | 4807     |
| p – broj borbenih zadataka jedne podmornice tokom rata <sup>7</sup>                                                   | 24,3        | 3,72     |
| J <sub>0</sub> – maksimalna istisnina (tonaža) protivničke flote na početku rata (tone)                               | 5966607     |          |
| C – mjesečni prirast protivničke trgovačke flote (u tonama)                                                           | 76940       |          |
| D' – mjesečni gubici trgovačke flote što ih nisu nanijele podmornice (tone)                                           | 74590       |          |
| J <sub>T-1</sub> – maksimalna istisnina (tonaža) protivničke flote na kraju rata (u tonama)                           | 1814366     |          |

Evidentno je da su ključne varijable modela veličine A, B i Q. Veličina  $k'$  označava srednji broj otplovljenja jedne podmornice na borbene zadatke tokom 24 mjeseca<sup>8</sup> i ona se dobija iz izraza:

$$k' = \frac{24 + 2B - Q}{A + B} \quad (2)$$

Uvrštavajući vrijednosti dobija se da je prosječni izlazak jedne američke podmornice na borbeni zadatak tokom 24 mjeseca bio  $k' = 8,88$ . Lako je izračunati da je broj *mjesečnih* izlazaka jedne američke podmornice na borbeni zadatak bio  $k = 0,37$ , a njemačke  $k = 0,41$ .

Pošto je broj borbenih zadataka jedne podmornice tokom rata bio  $p = 24,3$ , odnosno 3,72 – svaka od njih pota-

<sup>7</sup> Ovu veličinu Kuenn je dobio iz odnosa ukupnog broja borbenih zadataka podmornica tokom rata i ukupnog broja izgubljenih podmornica, što je za američku stranu bilo 1263 : 52 = 24,3, a za njemačku stranu 2805 : 753 = 3,72 borbena zadatka jedne potopljene podmornice. (Kuenn, *isto*, str. 112)

<sup>8</sup> Kuennova postavka matematičkog modela ograničena je na zajedničko razdoblje podmorničkih operacija na Atlantiku i Pacifiku, što je bilo 24 mjeseca.

pala je mjesečno 3771, odnosno 4807 tone istisnine protivničke trgovačke flote. Učinak jedne podmornice tokom rata dobiva se putem izraza:

$$m = p \cdot a \quad (3)$$

i on iznosi 91.635 potopljene japanske, odnosno 17.882 savezničke tonaže brodovlja.

Odnos ukupnih podmorničkih gubitaka  $L$  i trajanja rata  $T$ , daje prosječne *podmorničke gubitke tokom jednog mjeseca*:

$$r = \frac{L}{T} \quad (4)$$

iz čega slijedi da je  $r = 1,18$  izgubljenih američkih, odnosno 11,7 izgubljenih njemačkih podmornica.

Funkcionalni model njegove hipoteze imao je oblik:

$$S = \frac{TC' + J_0 - J_{T-1}}{akT} \quad (5)$$

iz kojeg je lako ustvrditi da su SAD u drugom svjetskom ratu na Pacifiku u svako vrijeme morale raspolagati sa  $S = 70$ , a Nijemci  $S = 101$  podmornicu da bi one postigle iste one rezultate kao i podmornice čiji broj je tokom rata varirao.

## DISKUSIJA O REZULTATIMA TESTA

Radi boljeg razumijevanja analize matematičkog modela što ga je testirao američki pisac, valja imati u vidu neke doktrinarne stavove, koji su bili relevantni za upotrebu njemačkih i američkih podmornica u operacijama na oceanima.

Uzdajući se u bogata iskustva iz upotrebe njemačkih podmornica u prvom svjetskom ratu, Nijemci su bili uvjereni da je tako uspješna repriza moguća i u drugom svjetskom ratu. Zato je podmornicama dodijeljena ključna strategijska uloga prekida savezničkog pomorskog prometa preko Atlantika. Međutim, Nijemci su se već na početku, pa sve do kraja rata, sukobili sa gotovo nerješivom enigmom nove koncepcije protupodmorničke obrane konvoja čiju okosnicu su predstavljali namjenski protupodmornički eskortni brodovi i protupodmornička avijacija.



U novonastalim okolnostima njemačke podmornice sve više su se morale udaljavati na otvorena oceanska prostranstva na kojima su, zbog ograničenih taktičkih radijusa eskortnih brodova i avijacije, bile relativno sigurne. Kombinirajući manevar široko razdvojenim rutama savezničkih konvoja s raznim mjerama njihovog posrednog i neposrednog osiguranja, podmorničke snage su se razvlačile što je jedno vrijeme rezultiralo njihovom niskom efikasnošću. Zbog toga su podmornice masovno primjenjivale taktiku »čopora« ili »vućjih čopora« (Rudel-Taktik) što je u razdoblju od 1941. do 1943. godine maksimalno povećalo njihovu efikasnost. Angažiranje američke ratne mornarice, s jedne, i sve teže obnavljanje podmorničke flote zbog razaranja njemačke teške industrije, a naročito ratne brodogradnje, s druge strane, doveli su do toga da su njemačke podmorničke operacije zbog čestih neuspjeha i visokih gubitaka polovinom 1944. godine počele jenjavati da bi potpuno prestale 1945. godine.

Američka podmornička doktrina u drugom svjetskom ratu temeljila se na prethodno izučenoj japanskoj i njemačkoj podmorničkoj doktrini. Američki admiralitet brzo je uvidio zablude krute i nefleksibilne japanske podmorničke doktrine. Od početka do kraja rata na Pacifiku, prema japanskoj podmorničkoj doktrini glavni neprijateljski ciljevi bili su – ratni brodovi. Zbog američke superiorne protupodmorničke tehnologije, japanske podmornice i pored nekoliko blistavih uspjeha (potapanja nosača aviona i sl.) ostvarile su slabe učinke tokom rata.

Poučeni takvim iskustvom da tadašnje podmornice nisu više bile pogodne da napadaju ratne brodove, a pravilno uočavajući važnost japanskih konvoja koji su upućivani s trupama i materijalnim sredstvima prema isturenim otočnim bazama na Pacifiku, SAD su svoju podmorničku doktrinu usmjerile, kao i Nijemci, na prekid japanskog pomorskog prometa. Mada je u cjelini japanska organizacija protupodmorničke obrane konvoja u tehnološkom i taktičkom pogledu bila mnogo slabija nego saveznička protupodmornička obrana na Atlantiku, radi povećanja učinaka svojih podmornica i SAD su od 1942. godine primjenjivale taktiku »čopora« (Wolf-Packs), ali sa znatno manjim snagama u jednoj taktičkoj grupi (2–5 prema 10–15–30 i više podmornica u njemačkom »čoporu«).

Dakle, iako je bila evidentna izvjesna sličnost njemačke i američke podmorničke doktrine operativno-taktičke

okolnosti (stupanj organizacije protupodmorničke obrane konvoja) direktno su utjecale na uspjeh usvojenih doktrina što se jasno vidi u Kuennovim dokazima.

Zato su Amerikanci u ratu izgubili »samo« 52, a Nijemci čak 753 podmornice, što je za oko 14,5 puta više. Zbog manje autonomnosti i nepovoljne podmorničke operativske osnove, njemačke podmornice su se u prosjeku mogle na svojim zadacima (parametar  $A$ ) zadržati 42 ili 8 dana manje od američkih podmornica. Iz rada je evidentno da su neznatne razlike u parametrima  $k'$  implicirale krupne promjene u vrijednostima  $r$ ,  $m$  i  $S$ . Testirani model na izloženim empirijskim podacima korelira s poznatim operativno-taktičkim zaključcima prema kojima je situacija za podmornice na Atlantiku bila mnogo teža od one na Pacifiku. Saveznički pomorski promet i uz relativno velike gubitke pojedinih konvoja na Atlantskom oceanu bio je bolje organiziran zbog čega su Nijemci morali angažirati više podmornica  $S = 101$  prema  $S = 70$  podmornica u RM SAD. Istovremeno zbog efikasnije savezničke protupodmorničke obrane njemačke podmornice su na Atlantiku pretrpjele veće gubitke nanijevši istovremeno protivničkoj floti gotovo pet puta manje gubitke.

Ali ne zalazeći dublje u analizu podmorničkog rata na oceanima, zanimljivo je kako je R. Kuenn varirao postavljeni osnovni model tražeći pravce da se tako definiranim potrebnim podmorničkim snagama postignu krupniji rezultati. Autora je zanimalo:

a) koliko dugo je mogao trajati rat ( $T$ ) da su podmorničke strane u njega ušle s većim brojem podmornica i koliko bi tada bili podmornički gubici ( $S$  i  $L$ );

b) kakve su mogle biti veličine  $L$  i  $T$  da su komande povećale broj otplovljenja svojih podmornica na borbene zadatke u jednom mjesecu ( $k$ ), i

c) u kakvoj su međuzavisnosti bili zahtjevi za povećanjem potopljene istisnine protivničke trgovačke flote na jednom borbenom zadatku (a) prema vrijednostima  $L$  i  $T$ ?

Daljnja usporedna analiza operacija na Atlantiku i na Pacifiku bila bi preopširna. Radi racionalizacije prostora, ovdje će se opisati Kuennovi modeli koji se odnose samo na situaciju na Tihom oceanu.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Autor pretpostavlja da će na temelju analogije sa izloženim, kao i korištenjem navedenih empirijskih podataka svaki čitalac kojeg zanima ova problematika sam moći formulirati zaključke o mogućnostima njemačkih podmornica.



## VARIJANTE MOGUĆIH MODELA OPTIMALIZACIJE

Preuređenjem izraza (5) Kuenn je postavio matematički model pomoću kojeg je definirao vrijeme ukupnog trajanja podmorničkih operacija prema:

$$T = \frac{J_0 - J_{T-1}}{akS - C'} \quad (6)$$

Da bi odgovorio na prvo pitanje, tj. koliko bi trajao rat (T) ako se broj podmornica poveća za 1 posto (što je u modelu za  $S = 70$  na  $S = 71$  zapravo 1,43 posto) on je morao izračunati i smjer koeficijenta promjene. Znajući da je razlika između prosječne mjesečne izgradnje trgovačkih brodova tokom rata (C) i prosječne potopljene istisnine trgovačkih brodova od drugih oružanih sistema (D') bila  $C' = 2350$  tona tokom jednog mjeseca, zatim da je veličina  $D = 97669$  tona – tokom mjeseca pri  $S = 70$  i  $T = 44$ , stvarna promjena prema izrazu:

$$\frac{dT}{dS} \cdot \frac{S}{T} = - \frac{akS}{akS - C'} = - \frac{D}{D - C'} = \frac{1}{(C'/D) - 1} \quad (7)$$

bila je:

$$\frac{dT}{dS} \cdot \frac{S}{T} = -1,024 \quad (8)$$

Na temelju takvog koeficijenta Kuenn je zaključio da se pri uvjetu  $C' > 0$  i  $C' < D$  povećanjem  $S = 70$  na  $S = 71$  trajanje podmorničkog rata smanjuje za 0,64 mjeseca.

Pošto se ukupni podmornički gubici mogu izraziti i preko obrasca (6) na ovaj način:

$$L = r \cdot \frac{J_0 - J_{T-1}}{akS - C'} \quad (9)$$

tada je traženi koeficijent promjene analogno obrascu (7) bio:

$$\frac{dL}{dS} \cdot \frac{S}{L} = \frac{1}{\frac{C'}{D} - 1} \quad (10)$$

te se moglo zaključiti da se povećanjem broja podmornica za 1 posto za isto toliko može očekivati i smanjenje njihovih gubitaka. Zanimljivo je napomenuti da veličine  $dT/dS$  i  $S/T$  zavise samo od  $C'$  i  $D$ . One direktno ne zavise od parametara  $S$ ,  $T$ ,  $J_0$ ,  $J_T$  ili  $a$ , čije se vrijednosti ipak ne smiju zapostaviti.



Kuenna je zanimalo može li se povećati efikasnost podmornica ne povećavajući njihov broj, ako se varira veličina  $k$  – prosječan broj borbenih zadataka jedne podmornice u jednom mjesecu. Budući da se na veličinu  $k$  može utjecati na razne načine, npr. povećanjem ili smanjenjem broja njenih otplovljenja na borbene zadatke ili skraćivanjem vremena za opravak podmornice, razvijanjem obrasca (6) slijedi:

$$\frac{dT}{dk} \cdot \frac{k}{T} = - \frac{1}{D - C'} = \frac{1}{\frac{C'}{D} - 1}, \quad (11)$$

što je identična vrijednost kao u obrascu (8) te se može zaključiti da se povećanjem  $k$  za 1 posto (tj. sa 0,37 na 0,374) trajanje rata skraćuje za 0,45 mjeseci.

Kako je izračunati koeficijent promjene za

$$\frac{dL}{dk} \cdot \frac{k}{L} = - \frac{D}{D - C'} \quad (12)$$

pisac je zaključio, da se uvećanjem parametra  $k$  može očekivati proporcionalno smanjenje podmorničkih gubitaka ( $L$ ). Dakle, gubici podmornica sa  $L = 52$ , smanjuju se na  $L = 51,5$ .

Konačno, može se postaviti pitanje kakva je međuzavisnost među veličinama  $a$  (potopljena istisnina protivničkih trgovačkih brodova na jednom borbenom zadatku jedne podmornice) i veličina  $L$  i  $T$ ? Očito je da se  $a$  može povećati, ako se poveća broj dana boravka podmornice u rejonu u kojem se mogu pojaviti protivnički trgovački brodovi, poboljša efikasnost torpeda, podmorničkih hidroakustičkih sredstava, poboljša njena samozaštita itd. Iz poznate relacije (6) Kuenn je stvarnu veličinu definirao oblikom:

$$\frac{dL}{da} \cdot \frac{a}{L} = \frac{1}{1 - \frac{C'}{D}} \quad (13)$$

te je zaključio, ako se mjesečna potopljena istisnina poveća samo za 1 posto, tada se za isti toliki procent smanjuju podmornički gubici (povećanjem potopljene istisnine sa 3771 na 3808 tona, ukupni podmornički gubici smanjit će se sa  $L = 52$  na  $L = 51,5$  podmornicu).

Budući da je:

$$\frac{dT}{da} \cdot \frac{a}{T} = - \frac{1}{1 - \frac{C'}{D}} = \frac{1}{\frac{C'}{D} - 1} \quad (14)$$

moglo se zaključiti, da se pri povećanju potopljene istisnine trgovačkih brodova za 1 posto, trajanje rata smanjuje na 43,55 mjeseci. Dobijeni rezultati se na kraju mogu ova-ko prikazati (tablica 2):

Tablica 2.

| P r o m j e n a                                                                                            | Gubici<br>podmornica | Trajanje<br>rata |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------|
| 1. Povećanje broja podmornica za 1%                                                                        | L=51,5               | T=43,36          |
| 2. Povećanje borbenih zadataka podmornica za 1% (sa k=0,37 na k=0,374)                                     | – isto –             | T=43,55          |
| 3. Povećanje potopljene istisnine trgovačkih brodova na jednom borbenom zadatku (sa a=3771 na a=3808 tona) | – isto –             | – isto –         |

te se može zaključiti da se matematičkim modeliranjem uspješno može tražiti podmornički optimum što je u uvjetima opisanog modela rješenja na rednom broju 1. gornje tablice.

Potpunije razumijevanje matematičkih modela i testa pomoću kojeg je Kuenn potvrdio ranije zaključke o ishodu podmorničkih operacija u drugom svjetskom ratu, nameće još nekoliko napomena:

1) iz dobijenih rezultata lako je zaključiti da je Kuenn svoja istraživanja sprovodio na ratnim, a ne na operativno-taktičkim ili samo taktičkim modelima, jer oni nisu bili pogodni za provjeru postavljene hipoteze. Ključne determinante njegovog osnovnog modela bile su – američke i njemačke, a ne i podmornice drugih zemalja; on je razmatrao sve podmornice bez obzira na to što su bile različitih tipova i borbenih mogućnosti; svoju pažnju skoncentrisao je na oceansku akvatoriju, a ne uska mora i konačno – u pogledu vremena, Kuenna je interesirao ratni period od 24 mjeseca. Angažirane snage i druge determinante su elementi strategijskog kategorijalnog aparata što je dokaz da su njegovi modeli – ratni modeli;

2) donekle sporna veličina njegovog osnovnog modela (1) jeste parametar »24«. Postoje mišljenja da uvedene va-



rijable u modelu ne omogućavaju testiranje pojedinih perioda, npr. stanje 1941. ili 1942. godine. Iako je to točno, treba imati u vidu da je Kuennov model obuhvatio podmornički rat u cjelini, a ne po dijelovima. Uvođenjem drugih varijabli može se formulirati parcijalni model, ali on u ovom trenutku izlazi van konteksta ovog rada;

3) pogrešan bi bio zaključak da su Kuennovi modeli potpuno prihvatljivi i za modeliranje podmorničkih borbenih dejstava u suvremenim uvjetima. Stupanj današnje podmorničke i protivpodmorničke tehnologije bitno se razlikuje od one prije 45 godina. Zato bi za modeliranje suvremenih podmorničkih dejstava neminovno bilo uračunati kvalitativne razlike između nekadašnjih i današnjih podmornica na konvencionalni pogon (za podmornice na nuklearni pogon s drugim – balističkim oružjem metodologija modeliranja bila bi drugačija).

## O OGRANIČENJIMA, GREŠKAMA I POUZDANOSTI MODELA

Jedna od nezaobilaznih teškoća u svakom modeliranju je pitanje realnosti modela. Poznata je istina da *ono što nešto zamjenjuje nije isto što i original*. Ako se modelira ma koji oblik borbenog dejstva i u njega unesu njegova obilježja, još uvijek ostaje dilema da li su u takav model unijete sve njegove *najvažnije* osobine?

Pretrpavanje modela raznovrsnim podacima je nepotrebno opterećenje, koje je jednako štetno koliko i unošenje malo podataka u model. Unošenje mnogo raznovrsnih podataka u model nepotrebno usložava njegovu strukturu. Umjesto isticanja njegovih relevantnih osobina, tada se pojavljuje mnogo nepotrebnih elemenata, koji »zasjenjuju« one koji su bitni. Iz neadekvatne strukture slijedi nefunkcionalan model s kojim se ne može točno odgovoriti na pitanja o ponašanju pojedinih segmenata u određenim stanjima, odnosima, funkcijama i vezama u borbenim dejstvima. Zbog toga je definiranje ograničenja jedan od bitnih zahtjeva svakog modeliranja.

Operacionalizacijom predmeta na kojem se radi mora se jasno definirati koji će elementi biti uključeni, a koji se neće razmatrati u modelu. Npr. ako se razmatra jedan segment protupodmorničke borbe, koji bi bio u funkciji pro-



tudesantne operacije na moru, tada bi u takav parcijalni model bilo štetno unositi karakteristike borbe za prevlast u vazдушnom prostoru, ako ona nema direktne projekcije na problem protupodmorničke borbe. Razumije se, takav princip vrijedi i obrnuto.

Pored toga što definirana ograničenja olakšavaju oformljenje modela, ona omogućavaju šire usavršavanje i produbljivanje istraživanja borbenih dejstava. Razradom svakog slijedećeg modela mora se uzeti u obzir i obavezno uključiti u model neka od ranijih ograničenja. Na taj način model osigurava permanentnu praktičnu i naučnu spoznaju borbenih dejstava.

Postavlja se pitanje da li su definirana ograničenja dovoljna da se pristupi modeliranju borbenih dejstava? Naravno, to će zavisiti od toga koliko su precizno postavljeni zahtjevi za modelom. Ako je zahtjev uopćen, tada će *ad hoc* ograničenja biti dovoljna. Ali ako su zahtjevi strogi i precizni, tada će se uz isto takva ograničenja postaviti i pitanje tolerancije prema greškama koje će se neminovno pojaviti u modelu. Dakle, pored ograničenja, postavlja se aktualni problem osjetljivosti modela prema mogućim greškama.

U modeliranju je moguće više grešaka bilo subjektivnih ili objektivnih. Pretjerana pojednostavljenja ili usloznavanja modela neminovno povlače manji ili veći broj grešaka. Na primjer, reduciranje dugih decimalnih brojeva s mnogo znamenki u složenom matematičkom procesu povlače greške, kao što se događa i pri očitavanju vrijednosti na instrumentima s većih udaljenosti ili upotrebom neispravnih instrumenata.

Većina modela borbenih dejstava vremenski je orijentirana prema budućnosti. Logično je da su oni zbog toga prognostičkog i teže predvidljivog karaktera. Upravo zbog toga, u takvim modelima moguća je pojava raznovrsnih »izobličenja« koja negativno utječu na traženje ispravnih odgovora i rješenja u oružanoj borbi. Mada su matematički modeli gotovo najpouzdaniji, jer im je provjera najpotpunija, a prema cijeni koštanja gotovo uvijek prihvatljiva i u njima su moguće greške. Elementarna greška u matematičkom modeliranju može biti propust u izboru matematičke aparature (područja matematike), a naročito ulaznih veličina. Konačno, pojava nepredviđenih skokovitih promjena

također može negativno utjecati na kumuliranje grešaka u modelu.

Naposljetku, da bi model borbenog dejstva bio upotrebljiv, on mora biti – pouzdan. A da bi bio takav, njega treba provjeriti i obavezno usporediti s praksom. Ako se modelira bilo koje borbeno dejstvo, ono se obavezno mora »sравniti« s praksom. *Model koji nije testiran – nije pouzdan, on je sporan, a time i rezultati koji su dobijeni iz modela. Zbog toga je testiranje modela nezaobilazna etapa svake praktične djelatnosti i naučnoistraživačkog procesa.* U tom smislu je i preporuka za primjenu matematičkih modela. Odgovarajućim metodama matematičke analize relativno lako se može ustvrditi korelacija između stvarnosti (stvarnog borbenog dejstva) i problema koji je formuliran u modelu. Za vrednovanje rezultata koji se dobiju iz modela, naročito matematičkih, obavezno se mora uzeti u obzir stupanj pouzdanosti modela.

Mada ovim nisu iscrpljene samo navedene moguće dileme, evidentno je da je za korektno modeliranje borbenih dejstava neophodno definirati najbitnija ograničenja, ustvrditi koeficijent i smjer greške te numeričku vrijednost pouzdanosti modela. Da bi se to što uspješnije riješilo potrebno je pravovremeno osigurati angažiranje visokokvalificiranih stručnjaka za izradu modela (naročito složenih matematičkih modela) i stručnjaka za logičku operativno-taktičku analizu borbenih dejstava.

### *Zaključno razmatranje*

Pod modeliranjem se shvaća način, put, metod rješavanja određenih problema u ratnoj vještini. Modeli se u teoriji primjenjuju na različite načine i različitoj formi. Mnogo je pristalica teze da sve što se nacрта i ispiše odgovarajućim vojnim simbolima na određene geografske ili pomorske karte automatski predstavlja model. Nije lako oboriti takvu tezu, ali je očito da valjanosti takvih modela, ako prethodno nisu testirani, ima mnogo zamjerki. Zbog toga su takvi modeli nesavršeni.

U novije vrijeme gotovo svaki model oružane borbe želi se izraziti u njegovom kvantitativnom obliku. Razumije se da i pored više prednosti pred grafičkim modelom, ni matematički model nije savršen, jer zavisi od velikog broja



neophodnih parametara od kojih se neki teško ili gotovo nikako ne mogu izraziti brojnim vrijednostima. Zbog toga matematički modeli u izvjesnom smislu predstavljaju perfekcionizam.

Modeliranje nije samo sebi svrha, već testirani metodološki postupak. Prirodno je da će najpotpuniji biti oni modeli koji su kombinirani od grafičkih zamisli s jasno istaknutim problemom i aparature koja se rješava primjenom određenih grana matematičke znanosti.

U ovom prikazu nisu modelirana suvremena podmornička dejstva, jer takav nije ni bio cilj rada. Međutim, ako bi se modeliralo taktičko podmorničko dejstvo, tada treba jasno definirati i ograditi se od nekih ključnih kriterija koji nisu relevantni za model pomoću kojeg se rješava određeno pitanje, a nakon toga fizički opis (grafički nacrt) valja formalizirati u matematički model. Bilo bi uputno da se pri tome pridržava nekoliko glavnih i pomoćnih kriterija kao što su npr:

- o neprijatelju: vrsta cilja (pojedinačan ili kompaktan cilj), zaštićen ili nezaštićen cilj (sa daljnjom ili bez daljnje zaštite, njenom strukturom, sa i bez bliske zaštite s njenom strukturom), brzinom i veličinom cilj(a)eva itd.;

- o vlastitim podmornicama: ukupan broj, njihove brzine, itd.;

- o vlastitoj detekcijskoj opremi i oružjima: dometu radara, šumosmjerača, sonara, sredstava veze, borbenog kompleta i vrste torpeda, mina, raketa (za podmornice novije generacije), proturaketnih sistema itd.;

- o taktičkom obezbjeđenju podmornica (naročito obavještajnom, pozadinskom, hidrometeorološkom i hidronavigacijskom itd.);

- o vlastitoj podmorničkoj taktici: o izboru varijante samostalnog dejstva ili sadejstva (pojedinačno ili grupno), o izboru kursnih uglova napada, izbora broja plotuna, daljine gađanja, načina izvlačenja i prihvata podmornice i sl.

Naoko ovakvo modeliranje je složeno. Međutim, već je ranije istaknuto da je modeliranje s testiranjem složenih pojava timski rad u kojem stručnjaci raznih profesija i profila uspostavljaju nužno razumijevanje neophodno za formaliziranje modela pomoću kojeg traže rješenja po određenim problemima ratne vještine.

## Literatura:

1. »Bilten« CVVŠ br. 1-2/1979, str. 66-74, 75-81, 82-88.
2. D. G. Brewer and M. Shubik, *The War Game*, London 1979, str. 3-30, 77-215.
3. J.V. Čujev i J.B. Mihajlov, *Prognoziranje u vojsci*, VIZ, 1980, str. 83-140. i 222-231.
4. Emeljanov i drugi, *Teorija poiska u voennom dele*, Voennoe izdatel'stvo Ministerstva oboroni SSSR, Moskva, 1964.
5. O. Hellman, *Vvedenie v teoriju optimal'nogo poiska*, »Nauka«, Moskva, 1985.
6. R. Kuenn, *Torpednie podvodnie lodki*, Voennoe izdatel'stvo Ministerstva oboroni SSSR, Moskva, 1970, str. 79-116.
7. Z. Petrić i J. Petrić, *Operaciona istraživanja u vojsci*, VIZ, 1974, str. 11-73.
8. J.D. Singer, *The correlates of War II - Testing Some Realpolitik Models*, The Free Press, New York, 1980, str. 3-257.
9. J.S. Vencelj, *Uvod u operaciona istraživanja*, Visokokomandna štabna škola RV i PVO, 1973.
10. Kapetan bojnog broda Delimir Kolec, *Modelovanje oblika borbenih dejstava*, »Vojno delo« br. 5/87, str. 89-107.
11. »Zbornik radova« CVVŠ RM »Maršal Tito« br. 4/1987, str. 53-74.

## S U M M A R Y

## MODELLING OF COMBAT OPERATIONS

Some other methods of modelling are presented, differing from those contained in a similar earlier article, wherein fundamentals on modelling of operational-tactical problems and exercises were described. Modelling is in this article focused on submarines operations in the World War II. After pointing out the lack of empirical basis from the use of submarines in local wars, the author analyses mathematical models of the American author R. Kuenn, tested on results of submarine operations against the enemy maritime transport.

In the closing part of the article the author draws attention to the necessary limitations, possible errors and reliability of a model, without which the modelling method is purposeless. In the conclusion the author draws attention to differences between the presented models and those which would describe modern submarine actions, listing a series of main and auxiliary criteria which should be taken into account, and stressing the necessity of a synthesis of graphical and mathematical modelling for the purpose of finding out of acceptable solutions.

## R É S U M É

## MODELISATION DES ACTIONS DE COMBAT

A la différence d'un article similaire déjà paru, et dans lequel sont présentées les bases de modélisation des tâches opérationnelles-tactiques, le présent article offre d'autres manières de modélisation. Dans cet article, le thème de la modélisation est axé sur la problématique sous-marine de l'époque de la



deuxième guerre mondiale. Rappelant la nature déficitaire de la base empirique contemporaine concernant l'emploi des sous-marins dans les guerres locales, l'auteur fait une analyse des modèles mathématiques offerts par l'Américain R. Kuenn, testés selon les résultats des opérations sous-marines qui visaient le trafic maritime ennemi.

Dans la partie finale de l'article, l'auteur indique les erreurs possibles du modèle, ses restrictions indispensables et sa fiabilité, sans quoi la modélisation n'aurait pas de sens. En conclusion, on signale la distinction à faire entre les modèles démontrés et ceux qui seraient la description de l'activité sous-marine moderne ayant recours à une série de critères généraux et secondaires qu'il convient de prendre en considération, ainsi que la synthèse obligatoire des modèles graphiques et mathématiques en vue d'obtenir les solutions acceptables.

### Р Е З Ю М Е

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

В отличие от подобной статьи, опубликованной раньше, в которой описываются основы моделирования оперативно-тактических заданий, здесь показывается другой способ моделирования. Тематика моделирования в настоящей статье сосредоточивается на проблематику действий подводных лодок во второй мировой войне. Подчеркивая дефицит современной эмпирической базы в области использования подводных лодок в локальных войнах, анализируются математические модели американца Р. Куенна, которые проверялись на результатах операций подводных лодок против морского транспорта противника.

В завершающей части статьи указывается на неизбежные ограничения, возможные ошибки моделей и их надежность, без чего моделирование теряет смысл. В заключительной части обращается внимание на различия между существующими моделями и теми, которые бы описывали современную активность подводных лодок, причем приводится серия главных и вспомогательных критериев, которые надо было бы учитывать, а также необходимый синтез графического и математического моделирования, с целью получения приемлемых решений.