Dr Milan Novaković,
dipl. inž.

EFIKASNOST NAGAZNIH PROTIVPEŠADIJSKIH MINSKO- -EKSPLOZIVNIH PREPREKA

Uvod

Pod minsko-eksplozivnim preprekama podrazumevaju se prepreke izrađene od formacijskih protivoklopnih i protivpešadijskih mina i drugih eksplozivnih sredstava.

Prema osnovnoj nameni, minsko-eksplozivne prepreke mogu biti: protivoklopne, protivpešadijske, protivtransportne i prepreke protiv plovniha objekata i desantnih sredstava. Mogu se izrađivati u obliku minskih (fugasnih) polja, grupa mina (fugasa), pojedinačnih mina (fugasa) i mina iznenađenja.

Protivpešadijskim minsko-eksplozivnim i drugim preprekama neposredno se štite jedinice od dejstva protivničke pešadije i nanose efektivni gubici pri pokušaju prelaska preko prepreka bez izrade prolaza. Načelno, primenjuju se na zemljištu na kojem nije moguća upotreba oklopnih jedinica ili se kombinuju sa protivoklopnim preprekama.

Pod nagaznim protivpešadijskim minsko-eksplozivnim preprekama podrazumevaju se minska polja, grupe mina i prepreke od pojedinačnih protivpešadijskih mina koje se aktiviraju na pritisak (nagaz) tj. protivpešadijske minsko-eksplozivne prepreke izrađene od nagaznih protivpešadijskih mina.

U poznatoj literaturi nije do sada teorijski obrađivana efikasnost nagaz-

nih protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka, već je opisno definisana kao *zaprečna vrednost*, bez jasnih kvantitativnih merila, izuzev u [1], gde je zaprečna vrednost definisana kao verovatnoća uništenja pešaka pri napadu preko minsko-eksplozivne prepreke bez izrade prolaza.

Pošto minsko-eksplozivna prepreka zaprečava i određenu površinu zemljišta, u kvantitativnu meru njene efikasnosti moraju se uvrstiti verovatnoća uništenja pešaka i veličina zaprečene površine zemljišta.

Prema opštoj klasifikaciji minsko-eksplozivnih sredstava i prepreka one spadaju u ubojna sredstva, što se mora uvažavati pri definisanju i matematičkom modeliranju efikasnosti nagaznih protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka.

Cilj rada je teorijsko definisanje i matematičko modeliranje efikasnosti nagaznih protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka u obliku koji je praktično upotrebljiv za najširi krug interesenata — korisnika.

Matematički model efikasnosti ubojnih sredstava

Verovatnoća uništenja pojedinačnih i grupnih objekata bilo koje vrste, pri dejstvu ubojnih sredstava (UbS), zavisi od karaktera i jačine UbS, kara-

kteristika tla, lokacije objekata i njihove otpornosti prema dejstvu pojedinih vrsta UbS. Verovatnoća se može predstaviti opštim izrazom [2, 3]:

$$M(P(x, y)) = P_{sr}^u = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) f(x, y) dx dy \quad (1)$$

gde je:

$M(x, y)$ — matematičko očekivanje verovatnoće uništenja objekata,

P_{sr}^u — srednja verovatnoća uništenja objekata,

$P(x, y)$ — koordinatni zakon uništenja objekata pri dejstvu UbS,

$f(x, y)$ — gustina raspodele objekata u ravni Oxy.

Neke od navedenih vrsta UbS mogu simultano ispoljiti različite oblike (efekte) dejstva po napadnutim objektima (fizičke, hemijske i sl.), a time i različite zakone uništenja objekata $P(x, y)$. Poznato je, na primer, da nuklearne bombe, projektili i mine pri eksploziji ispoljavaju: razorno dejstvo (udarnog talasa), toplotno dejstvo (toplotnog talasa i toplotno zračenje) i radioaktivno dejstvo (neutronske i gama zračenje i kontaminacija alfa, beta i gama česticama), pa mogu imati tri različite zakonitosti uništenja koje se, zbog simultanog delovanja mogu superponirati, a to su:

- razorno dejstvo $P_1(x, y)$,
- toplotno dejstvo $P_2(x, y)$,
- radioaktivno dejstvo $P_3(x, y)$.

Kod UbS parčadnog, kumulativnog i razornog dejstva i sl., pored tih osnovnih dejstava, redovno se javlja i dejstvo vazdušnog udarnog talasa, a time i dva različita zakona simultanog dejstva: $P_1(x, y)$ i $P_2(x, y)$.

U raspoloživoj literaturi gotovo redovno se uzima u obzir samo dejstvo koje ostvaruje najveće efekte po objektima, dok se ostala dejstva u pot-

punosti zanemaruju. Međutim, teorijski je jedino ispravna i praktično neophodna superpozicija svih vrsta dejstava. Za nuklearna UbS koordinatni zakon superponiranih dejstava ima oblik:

$$P(x, y) = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 - P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \quad (2)$$

a za klasičnu municiju i MES:

$$P(x, y) = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 \quad (3)$$

Kada se u izraze (2) i (3) uvrste realne vrednosti verovatnoća P_1 , P_2 i P_3 za nuklearna UbS, i P_1 i P_2 za klasičnu municiju i MES, tek tada će se dobiti realni superponirani zakoni uništenja $P(x, y)$, u kojima će svaki oblik dejstva imati odgovarajući udeo.

Matematički model efikasnosti minsko-eksplozivnih prepreka

Opšti matematički model efikasnosti UbS važi za sve vrste minsko-eksplozivnih prepreka. U zavisnosti od oblika koordinatnog zakona uništenja $P(x, y)$ i gustine raspodele objekata (tenkova, plovni objekata, živih ciljeva) $f(x, y)$ u ravni Oxy, iz opšteg matematičkog modela mogu se izvesti partikularni matematički modeli za različite vrste minskoeksplozivnih prepreka. Tako, na primer, pri dejstvu protivoklopnih minskih polja po oklopnim i drugim vozilima, koordinatni zakon uništenja ima konstantnu vrednost u celom minskom polju, pa je

$$P_{sr}^u = P(x, y) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dx dy = P(x, y) = \text{const.} \quad (4)$$

za bilo koju gustinu raspodele borbennog poretka tenkova i ostalih vozila, jer je po definiciji teorije verovatnoće

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dx dy = 1,0$$

Kod protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka parčadnog dejstva je

$$P(x, y) \neq \text{const. i } f(x, y) \neq \text{const.}$$

tako da ne važi izraz (4), već opšti izraz (1) za $U_b S$.

Efikasnost nagaznih protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka

Protivpešadijske minsko-eksplozivne prepreke mogu biti izrađene od jedne mine, grupe mina, u obliku jednog reda mina i minskog polja od više redova ili grupa mina. Minsko polje može se sastojati i od većeg broja mina postavljenih bez posebnog pravila (šeme).

Nagazne protivpešadijske mine, od kojih se izrađuju nagazne minsko-

Sl. 1 — Protivpešadijska mina razornog dejstva sa upaljačem iznad tela

1 — telo, 2 — upaljač, 3 — eksplozivno punjenje

-eksplozivne prepreke, mogu se svrstati u tri osnovna tipa, čiji konstrukcioni parametri mogu značajnije uticati

na efikasnost minsko-eksplozivnih prepreka, i to:

a) mine razornog (rušecćeg) dejstva sa upaljačem izvan (najčešće iznad) tela (eksplozivnog punjenja) mine (sl. 1),

b) mine razornog dejstva sa upaljačem unutar tela mine (sl. 2),

Sl. 2 — Protivpešadijska mina razornog dejstva sa upaljačem u telu

1 — telo, 2 — upaljač, 3 — eksplozivno punjenje

Sl. 3 — Protivpešadijska mina kumulativnog dejstva sa upaljačem u telu

1 — telo, 2 — upaljač, 3 — eksplozivno punjenje

c) mine kumulativnog dejstva sa upaljačem unutar tela mine (sl. 3).

Na sl. 4 prikazano je aktiviranje nagazne protivpešadijske mine tipa a. Kada eksplozivno punjenje detonira, kroz maskirni sloj iznad mine i vazduh, rasprostire se snažni udarni talas koji razara tlo i prepreke iznad tla. Pri nailasku udarnog talasa na no-

Sl. 4 — Aktiviranje i dejstvo razorne nagazne protivpešadijske mine

1 — mina, 2 — maskirni sloj, — 3 stopalo pešaka

gu pešaka, dolazi do većeg ili manjeg oštećenja stopala i drugih delova noge, zavisno od mase i vrste eksplozivnog punjenja, debljine maskirnog sloja i stepena zaštićenosti stopala (čvrstoće obuće).

Razorno (rušeće) dejstvo može se iskazati preko više različitih parametara. Pogodno je da se dejstvo razorne protivpešadijske mine izrazi jednim opštim parametrom, kao što je radijus razornog dejstva R_d .

Pošto je količina eksploziva u razornim protivpešadijskim minama relativno mala (maksimalno 200 grama), radijus razornog dejstva najčešće se svodi na neposrednu okolinu eksplozivnog punjenja. To znači da protivpešadijske mine razornog dejstva mogu onesposobljavati pojedinačne ciljeve pri njihovom neposrednom kontaktu — najčešće nagazom na elemente za aktiviranje mine.

Kod mina kumulativnog dejstva kumulativni mlaz probija obuću i stopalo i nanosi veoma teška telesna oštećenja.

Aktiviranje mina tipa a) vrši se neposredno preko upaljača, koji se najčešće nalazi u centru mine (eksplozivnog punjenja), što znači da stopalo pešaka u trenutku aktiviranja mine prekriva oko polovinu površine eksplozivnog punjenja, usled čega je verovatnoća težeg ranjavanja velika i iznosi oko 100%.

Aktiviranje mina tipa b) vrši se preko tela mine u kome se nalaze upaljač i eksplozivno punjenje. Kod nekih konstrukcija prečnik eksplozivnog punjenja je manji od aktivne nagazne površine mine, pa u slučajevima kada stopalo nagazi na ivicu aktivne nagazne površine ne dolazi do preklopa sa eksplozivnim punjenjem, usled čega može izostati ozbiljnije ranjavanje, što se može desiti u oko 5% slučajeva.

Aktiviranje mina tipa c) takođe se vrši preko tela mine. Da bi kumulativni mlaz teže ošteti stopalo, centar eksplozivnog punjenja sa kumulativnim levkom mora biti preklopljen sa stopalom. Pošto je eksplozivno punjenje kumulativnih protivpešadijskih mina malo (oko 10 grama), njegovo razorno dejstvo je slabije, tako da ozbiljnije ranjavanje može da izostane u oko 10% slučajeva.

Efikasnost prepreka izrađenih od jedne nagazne mine

Minsko-eksplozivne prepreke koje se sastoje od jedne nagazne protivpešadijske mine (sl. 5) u praksi se retko primenjuju. Koriste se na veoma uskim prolazima i stazama, na ulazima u objekte i sl. Od većeg interesa je teorijsko definisanje njihove efikasnosti, kao elementarnih minsko-eksplozivnih prepreka, i dalje uopštavanje problema pri definisanju efikasnosti prepreka koje se sastoje od većeg broja mina.

Kod minsko-eksplozivne prepreke, izrađene od jedne nagazne protivpe-

Sl. 5 — Minsko-eksplozivna prepreka izrađena od jedne nagazne mine

šadijske mine, uvek je verovatnoća uništenja $P(x, y) = \text{const.}$, pa je

$$P_{sr}^u = P(x, y) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dx dy = \\ = P(x, y) = \text{const.}$$

Ako se postavljena mina nalazi na stazi (prolazu, prilazu) širine b , verovatnoća da će pešak nagaziti na tako postavljenu minu i biti onеспособljen za dalji pokret i dejstvo, jeste:

$$P_{sr}^u = P(x, y) = p_a \cdot p_u = p \quad (5)$$

gde je:

p_a — verovatnoća da će mina biti aktivirana,

p_u — verovatnoća da će pešak biti onеспособljen.

Verovatnoća aktiviranja mine proizlazi iz geometrijskih odnosa parametara pešaka, mine i staze (prolaza, prilaza) i iznosi:

$$p_a = \frac{S + S_s}{b \cdot a_k} \quad (6)$$

gde je:

S — aktivna nagazna površina mine (m^2),

S_s — površina stopala (obuće) pešaka (m^2),

a_k — dužina koraka pešaka (m),

b — širina staze (prolaza, prilaza) (m).

Standardna dužina pešačkog koraka iznosi $a_k = 0,75$ m, prosečna površina stopala (obuće) $S_s = 0,03$ m^2 , što su standardne veličine u formuli (6).

Aktivna nagazna površina mine (upaljača) iznosi:

— kod mina tipa a) $S = 3$ do 8 cm^2 ,

— kod mina tipa b) $S = 50$ do 100 cm^2 ,

— kod mina tipa c) $S = 8$ do 10 cm^2 .

Sa navedenim vrednostima parametara nagaznih protivpešadijskih mina izračunate su verovatnoće onеспособljavanja pešaka pri kretanju stazom širine $b = 0,5$ m na kojoj je postavljena jedna od navedenih tipova mina (tabela 1). Radi ilustracije uticaja aktivne nagazne površine mine, prikazani su i rezultati proračuna za veličinu aktivne nagazne površine $S = 0$.

Tabela 1

Verovatnoća onеспособljavanja $P_{sr}^u = p$ (%)

Mina Verovatnoća	tip a)	tip b)	tip c)	$S = 0$
p_a	8,1 do 8,2	9,3 do 10,7	8,2 do 8,3	8,0
p_u	1,0	0,95 do 1,0	0,9	1,0
p	8,1 do 8,2	8,8 do 10,7	7,4 do 7,5	8,0

Kada opisanom stazom preko postavljene mine prelazi kolona od N pešaka, verovatnoća da će bar jedan pešak iz kolone aktivirati minu i biti onеспособljen iznosi:

$$P_{sr}^u = P(x, y) = 1 - \exp(-Np) \quad (7)$$

U tabeli 2 prikazani su računski dobijeni rezultati verovatnoće onesposobljavanja kolone od $N=10$ pešaka prema izrazu (7).

Tabela 2

Verovatnoća onesposobljavanja $P_{u_{sr}}$ (%)

Mina	tip a)	tip b)	tip c)	S=0
Verovatnoća				
$P_{u_{sr}}$	55 do 56	58 do 64	52 do 53	56

Iz tabela 1 i 2 proizlazi da i prepreke od samo jedne nagazne protivpešadijske mine (u nedostatku dovoljnog broja) mogu biti efikasne na uskim stazama, prolazima i prilazima objekta, naročito protiv kolona pešaka.

Efikasnost prepreka izrađenih od grupe nagaznih mina

Minsko-eksplozivne prepreke izrađene od grupa nagaznih protivpešadijskih mina primenjuju se radi zaprečavanja prolaza i staza (sl. 6), oko porušenih objekata i napuštenih TMS, borbi u naseljenim mestima, u rejonima rasporeda vatrenih položaja artiljerije, raketnih lansera i sl., na pravcima

pogodnim za razvoj manjih taktičkih desanata, za zaštitu pozadinskih jedinica i ustanova, za ojačanje prirodnih i veštačkih prepreka, protivoklopnih minsko-eksplozivnih prepreka i sl.

Kada je staza širine b zaprečena grupom od M mina, verovatnoća da će pešak aktivirati jednu od postavljenih mina iznosi:

$$P_i = 1 - \exp(-f \cdot p) \quad (8)$$

gde je:

$$f = \frac{M}{b} \text{ — srednja gustina mina,}$$

p — verovatnoća da će pešak biti onesposobljen pri gustini mina na stazi $r=1$ mina/m.

Ako preko grupe od M mina prelazi kolona od N pešaka, verovatnoća da će bar jedan pešak aktivirati jednu minu iznosi:

$$P_{u_{sr}} = 1 - (1 - P_i)^N \quad (9)$$

gde je verovatnoća P_i definisana izrazom (8).

U tabeli 3 prikazani su računski dobijeni rezultati verovatnoće onesposobljavanja bar jednog pešaka $P_{u_{sr}}$, dobijeni prema izrazu (9), u slučaju pokušaja prolaza kolone od $N=10$ pešaka stazom širine $b=0,5$ m, na kojoj je postavljeno $M=5$ nagaznih protivpešadijskih mina.

a)

b)

Sl. 6 — Minsko-eksplozivne prepreke izrađene od grupa nagaznih mina
a) — zaprečavanje staze, b) — zaprečavanje prilaza objektu

Tabela 3

Verovatnoća onesposobljavanja Pu_{sr}

Mina Verovat- noća	tip a)	tip b)	tip c)	S=0
$P_i(\%)$	55 do 56	58 do 64	52 do 53	56
Pu_{sr}	0,999	0,9999	0,999	0,999

S obzirom na to da su minsko-eksplozivne prepreke od grupe nagaznih protivpešadijskih mina koje su postavljene na uskim stazama i prolazima, namenjene da spreče prikriven prolaz ubačenih manjih izviđačkih i diverzantskih grupa, iz tabele 3 sledi da će pod definisanim uslovima sa verovatnoćom od skoro 100% bar jedan pešak iz grupe aktivirati bar jednu od postavljenih mina.

Ako se grupom od M nagaznih protivpešadijskih mina štiti prilaz mostu (sl. 6), verovatnoća onesposobljavanja bilo kojeg pešaka pojedinačno ili iz grupe, pri pokušaju da pređe preko prepreke bez uklanjanja mina, iznosi:

$$Pu_{sr} = P_i = 1 - \exp(-f \cdot p) = 1 - \exp\left(f \cdot \frac{S + 0,03}{0,75} \cdot p_u\right) \quad (10)$$

gde je:

$f = \frac{M}{b}$ — srednja gustina mina u grupi,

b — širina prepreke.

U tabeli 4 prikazana je računski dobijena verovatnoća onesposobljavanja pešaka Pu_{sr} prema izrazu (10), za različite gustine mina u grupi.

Na verovatnoću onesposobljavanja pešaka, pri prelasku preko minsko-ek-

Tabela 4

Verovatnoća onesposobljavanja Pu_{sr} (%)

Mina Gustina mina	tip a)	tip b)	tip c)	S=0
$f=1$	4,0	4,4 do 5,2	3,6	3,9
$f=2$	7,8	8,5 do 10,1	7,2	7,7
$f=3$	11,5	12,5 do 14,8	10,6	11,3
$f=4$	15,0	16,3 do 19,2	13,8	14,8
$f=5$	18,4	20,0 do 23,4	17,0	18,1

splozivne prepreke izrađene od grupe mina, znatno više utiče gustina mina f nego veličina aktivne nagazne površine S . To znači da su konstrukciona rešenja protivpešadijskih nagaznih mina razornog dejstva sa relativno malom aktivnom nagaznom površinom, kao što je slučaj kod mine tipa a, sasvim zadovoljavajuća.

Efikasnost protivpešadijskih minskih polja izrađenih od nagaznih mina

Protivpešadijska minska polja, bilo da su izrađena od nagaznih protivpešadijskih mina ili od protivpešadijskih mina parčadnog dejstva, predstavljaju osnovnu vrstu veštačkih prepreka za zaprečavanje pravaca pogodnih za dejstvo protivničke pešadije, prvenstveno kada ona dejstvuje samostalno i van oklopnih sredstava, kao i za zaprečavanje prostorija (rejona) pogodnih za spuštanje vazdušnih desanata.

Dubina protivpešadijskih minskih polja načelno ne treba da bude manja od 40 do 50 metara.

Širina protivpešadijskih minskih polja načelno ne treba da bude manja od njihove dubine, osim kada se zaprečavaju uski prolazi, tesnaci, šumski prosci, planinske staze i sl.

Protivpešadijska minska polja, izrađena od nagaznih mina, najmasovnije se primenjuju na prostoru između prednjeg kraja prvog položaja (rovova prve linije) i pretpostavljenog jurišnog položaja protivničke pešadije koji se obično nalazi na 100 do 400 m ispred prednjeg kraja.

Nagazne protivpešadijske mine u minskim poljima najčešće se postavljaju po pravim paralelnim redovima. Ako su mine raspoređene po pravim paralelnim redovima (sl. 7), sa razmakom L između susednih mina, verovatnoća nailaska pešaka na minu, pri prelasku preko jednog reda mina iznosi:

$$P_a = \frac{S + 0,03}{0,75 \cdot L} \quad (11)$$

gde je:

S — aktivna nagazna površina mine.

Sl. 7 — Minsko polje sa minama postavljenim po pravim paralelnim redovima

Ako se minsko polje sastoji od n -redova mina, verovatnoća onesposobljavanja pešaka pri prelasku preko celog minskog polja iznosi:

$$P_{sr}^u = 1 - \exp(-f \cdot p) \quad (12)$$

gde je:

$f = \frac{n}{L}$ — gustina mina.

Izraz (12) važi i za sve varijante postavljanja mina po koordinatnom konopcu, a takođe i za sve slučajeve razbacivanja mina iz vazduha.

Ako su mine u minskom polju postavljene po grupama, kao što je prikazano na sl. 8, tada gustina mina nije ujednačena, tako da izraz (12) ne važi.

Sl. 8 — Minsko polje sa minama postavljenim po grupama

Kada su grupe mina jednake i sa jednakim međusobnim razmacima, verovatnoća onesposobljavanja pešaka u celom minskom polju iznosi:

$$P_{sr}^u = \frac{b}{a+b} (1 - \exp(-f_g \cdot p)) \quad (13)$$

gde je:

f_g — srednja gustina mina u grupi.

Poređenjem izraza (12) i (13) može se uočiti da verovatnoća onesposobljavanja pešaka u minskim poljima sa grupisanim minama ne može biti veća od verovatnoće u minskim poljima sa ravnomerno raspoređenim minama. To, praktično, znači da u slučajevima kada je zemljište ravno i prohodno za pešake (bez prirodnih i neeksplozivnih veštačkih prepreka) grupisanje mina u minskim poljima nije celishodno, jer umanjuje njihovu efikasnost. Međutim, kada na zemljištu postoje prirodne ili veštačke prepreke druge vrste, grupisanje mina povećava efikasnost minsko-eksplozivnih prepreka.

Ako je širina prirodnih ili neeksplozivnih veštačkih prepreka h , tada

se verovatnoća onespobljavanja pešaka pri prelasku preko minsko-eksplozivne prepreke može predstaviti izrazom:

$$P_{sr}^u = \frac{b}{a+b-h} (1 - \exp(-f_g \cdot p)) \quad (14)$$

koji se može smatrati opštim za verovatnoću onespobljavanja pešaka P_{sr}^u pri prelasku preko minsko-eksplozivnih prepreka, izrađenih od nagaznih protivpešadijskih mina, jer sadrži parametre koji usaglašavaju raspored mina sa prirodnim i veštačkim preprekama.

Kada na zemljištu nema prirodnih i drugih veštačkih prepreka, tada je $h=0$, pa je regularan izraz (13), a ako su mine dobro grupisane, tada je $a=0$ pa je važeći izraz (12).

Kada na zemljištu postoje prirodne i druge veštačke prepreke, a minsko-eksplozivne prepreke su u potpunosti usaglašene sa tim preprekama, tada je $a=h$, pa izraz (14) dobija oblik izraza (12).

Time je i indirektnim putem pokazano da grupisanje mina na ravnom i za pešake prohodnom zemljištu nije svrsishodno, dok je na ispresecanom zemljištu i u kombinaciji sa drugim (prirodnim i veštačkim) preprekama veoma korisno.

Izraz (14) važi i za minsko-eksplozivne prepreke na uskim stazama i prolazima, jer dobija oblik izraza (8). Efikasnost svih tipova nagaznih minsko-eksplozivnih prepreka može se prikazati izrazom:

$$P_{sr}^u = \frac{b}{a+b-h} (1 - \exp(-f \cdot p)) \quad (15)$$

U svim do sada definisanim izrazima za određivanje verovatnoće onespobljavanja pešaka P_{sr}^u (izuzev izraza (9) koji sadrži i broj pešaka N) po-

stoje samo dva parametra od kojih zavisi efikasnost:

— parametar minsko-eksplozivne prepreke — gustina mina f ,

— parametar mine — $p=S \cdot p_u$, gde je S — aktivna nagazna površina, p_u — verovatnoća onespobljavanja pešaka pri aktiviranju mine.

U tabeli 4 prikazana je računski dobijena verovatnoća uništenja pešaka P_{sr}^u (%) pri prelasku preko minsko-eksplozivne prepreke od grupe mina, za različite vrednosti parametara f i $p=S \cdot p_u$. Sve vrednosti iz tabele 4 važe i za ostale tipove minsko-eksplozivnih prepreka, kao što su: prepreke od pojedinačnih mina, prepreke od grupa mina drugačijih karakteristika i svi tipovi minskih polja — koja su izrađena od istih tipova mina i čija prosečna gustina odgovara gustinama navedenim u tabeli 4.

Zaprečna vrednost nagaznih protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka

Zaprečna vrednost minsko-eksplozivnih prepreka postoji kao opšta mera efikasnosti, koja nije definisana egzaktno, već samo opisno, osim u literaturi [1] gde je definisana kao verovatnoća uništenja pešaka.

Zaprečna vrednost minsko-eksplozivne prepreke predstavlja proizvod između zaprečene površine i verovatnoće uništenja (onesposobljavanja) protivnikovih pešaka pri pokušaju savladivanja zaprečene površine bez otvaranja prolaza.

Matematički model definisane zaprečne vrednosti glasi:

$$Z_v = A_p \cdot P_{sr}^u \quad (16)$$

Izraz (16) za zaprečnu vrednost predstavlja zapreminu paralelopipeda čija je osnovica zaprečena površina A_p , a visina verovatnoća uništenja P_{sr}^u .

Zaprečna vrednost predstavlja meru potencijalne efikasnosti minsko-eksplozivne prepreke, pa se izraz (16) može izvesti iz opšteg izraza (1) za efikasnost ubojnih sredstava, pod pretpostavkom da su pešaci pri prelasku preko zaprečene površine A_p ravnomerno raspodeljeni, tj. da je $f(x, y) = 1/A_p = \text{const.}$ Tada je

$$P_{sr}^u = \frac{1}{A_p} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) dx dy = \frac{V}{A_p}$$

gde je:

$V = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) dx dy$ — zapremina ispod površine $P(x, y)$.

$$Z_v = A_p \cdot P_{sr}^u = V \quad (17)$$

Izraz (16) važi i za zaprečnu vrednost minsko-eksplozivnih prepreka par-

čadnog dejstva kada se uvrsti odgovarajuća vrednost verovatnoće $P(x, y) \neq \text{const.}$, za razliku od nagaznih minsko-eksplozivnih prepreka kod kojih je verovatnoća $P(x, y) = \text{const.}$

Zaprečna vrednost minsko-eksplozivnih prepreka parčadnog dejstva brojučano je jednaka tzv. »površini efikasnosti E « projektila parčadnog dejstva [3]:

$$Z_v = A_p \cdot P_{sr}^u = V = E \quad (18)$$

Time je zaprečna vrednost protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka egzaktno definisana i neposredno povezana sa merilima efikasnosti drugih ubojnih sredstava, na primer projektilima parčadnog dejstva.

Prema postojećim pravilima kod nas i u svetu razmak između susednih

Tabela 5

Mina		tip a)	tip b)	tip c)	S=0
Gustina mina	Površina Zaprečna vrednost	a=100 m			
f=1	A_p Z_v	100x50 200	100x50 220 do 260	100x50 180	100x50 195
f=2	A_p Z_v	100x75 585	100x75 638 do 758	100x75 540	100x75 578
f=3	A_p Z_v	100x100 1150	100x100 1250 do 1480	100x100 1060	100x100 1130
a=250 m					
f=3	A_p Z_v	250x150 4312	250x150 4688 do 5550	250x150 3975	250x150 4238
f=4	A_p Z_v	250x200 7500	250x200 8150 do 9600	250x200 6900	250x200 7400
f=5	A_p Z_v	250x250 11500	250x250 12500 do 14625	250x250 10625	250x250 11312

Matematičko očekivanje $M(N^u)$

Gustina mina Mina				
	tip a)	tip b)	tip c)	S=0
f=1	0,4	0,44 do 0,52	0,36	0,39
f=2	0,78	0,85 do 1,01	0,72	0,77
f=3	1,15	1,25 do 1,48	1,06	1,13
f=4	1,50	1,63 do 1,92	1,38	1,48
f=5	1,84	2,00 do 2,34	1,70	1,81

mina u istom redu iznosi 2 do 2,5 m, razmak između redova mina 20 do 25 m, a prosečna gustina mina u minskom polju $f=3$ do 5 mina/m širine minskog polja. Sa ovim vrednostima uticajnih parametara dubina minskih polja izrađenih od nagaznih protivpešadijskih mina kreće se u granicama $b=100$ do 250 m. U tabeli 5 prikazana je računski dobijena zaprečna vrednost minskog polja širine $a=100$ m ispred položaja streljačkog odeljenja, i $a=250$ m ispred položaja streljačkog voda.

$$Z_v = A_p \cdot P_{sr}^u \text{ (m}^2\text{); } A_p = a \cdot b \text{ (m}^2\text{);}$$

$$P_{sr}^u = f(f) \text{ prema tabeli 4.}$$

Matematičko očekivanje broja onesposobljenih (uništenih) pešaka

Verovatnoća onesposobljavanja pešaka P_{si}^u i zaprečna vrednost Z_v predstavljaju meru potencijalne efikasnosti nagaznih minsko-eksplozivnih prepreka. Stvarna efikasnost zavisi od broja pešaka N koji pređu preko prepreke za vreme njenog postojanja i izražava se, prema teoriji verovatnoće, »matematičkim očekivanjem broja onesposobljenih (uništenih) pešaka«:

$$M(N^u) = N \cdot P_{sr}^u \quad (18)$$

Ako, na primer, preko minskog polja širine $a=100$ m napada odeljenje od $N=10$ pešaka, tada će, zavisno od gustine mina f , matematičko očekivanje broja onesposobljenih pešaka imati vrednosti prikazane u tabeli 6.

Može se uočiti da se tek pri gustini mina $f=3$ do 5 mina/m može očekivati uništenje 1 do 2 protivnikova pešaka iz sastava odeljenja koje vrši napad preko minskog polja širine $a=100$ m, izrađenog od nagaznih protivpešadijskih mina. Kako minsko polje navedenih karakteristika sadrži 300 do 500 mina, proizlazi da je za onesposobljavanje (uništenje) jednog pešaka iz sa-

stava odeljenja potrebno angažovati (ukopati) 250 do 300 nagaznih protivpešadijskih mina.

Zaključak

Potvrđena je hipoteza da opšti matematički model efikasnosti nagaznih protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka predstavlja partikularnu varijantu opšteg matematičkog modela efikasnosti ubojnih sredstava.

Matematički modeli efikasnosti raznih tipova nagaznih protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka izvedeni su iz opšteg matematičkog modela efikasnosti ovih prepreka u obliku koji omogućuje njihovu praktičnu primenu pri rešavanju tehničkih i taktičkih problema.

Analiza izvedenih modela efikasnosti pokazuje da su na ravnom zemljištu efikasnije prepreke u vidu minskih polja, a na neravnom (ispresecanom) zemljištu prepreke u vidu grupa mina, a u izuzetnim uslovima i pojedinačnih nagaznih mina.

Kvantitativne analize izvedenih modela efikasnosti pokazuju da presudan uticaj na efikasnost nagaznih minsko-

-eksplozivnih prepreka ima frontalna gustina mina, a ne veličina nagazne površine postavljenih mina, što omoguću-

je primenu veoma jednostavnih i jeftinih konstrukcija nagaznih protivpešadijskih mina.

Literatura:

- [1] Novaković, M.: Zaprečna vrednost protivpešadijskih i mešovitih minskih polja, Vojni glasnik 1/1979.
- [2] Novaković, M.: Doprinos teoriji konstruisanja protivpešadijskih mina parčadnog dejstva, doktorska disertacija, VTA, 1993.
- [3] Novaković, M.: Osnovni parametri efikasnosti protivpešadijskih mina i projektila parčadnog dejstva, Naučno-tehnički pregled 3/1995.

- [4] Zaprečavanje i savlađivanje veštačkih prepreka, VIZ, 1976.
- [5] Inženjerijski priručnik I, VIZ, 1975.
- [6] Ventcelj, E.: Teorija verovatnostej, Nauka, Moskva, 1964.