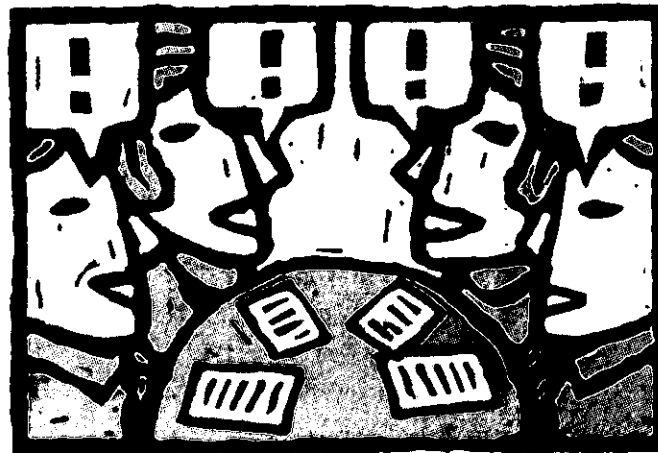


מעט ויקר או הרבה וזול



במה

הרתעה של איום בליסטי באמצעות סגירת שמי המדינה היא בהישג ידנו - ובמחיר מתקבל על הדעת

ד"ר מוטי שפר

כדי להרתיע מאיים בליסטי-גרעיני נדרשת "אטימת השמיים" בדרגה כזאת, שגם אם ישוגרו כל הטילים התוקפים שבמלאי האיום, עדיין יוגבל מאוד הסיכוי שתוקף אחד מכל המלאי יחדור. מדובר בצמצום הסיכוי לערך קטן מאוד, למשל פרומיל אחד (עשירית האחוז), שאותו ניתן להגדיר כ"סף ההרתעה". לכאורה ניתן להשיג אטימה כזאת בשתי דרכים: האחת יקרה, שבה נגד כל תוקף משגרים טיל מגן יחיד יקר בעל כושר סיכול גבוה ככל האפשר; האחרת זולה, שבה נגד כל תוקף משגרים כמה שיותר מגינים זולים בעלי כושר סיכול בינוני.

כדי לענות על השאלה באילו מהדרכים האלה נוכל

- אם בכלל - למנוע מתקפה בליסטית עלינו, ניעזר בשלושה כללים: הראשון הוא כלל בהנדסת טילים, שלפיו מחיר כושר הסיכול של טיל מגן עומד ביחס הפוך לסיכוי הכשל שלו.

מהכלל הזה עולה כי אטימת השמיים במאה אחוז אינה אפשרית, שכן מחירה יהיה איך סופי. הכלל השני לקוח מתורת הסטטיסטיקה, ולפיו סיכוי

החדירה של טיל תוקף מבוטא באמצעות מכפלת סיכויי הכשל של כל טילי המגן המשוגרים נגדו. מצירוף שני הכללים עד כאן עולה אפוא כי אם מדובר בטיל מגן יחיד, הרי כדי להקטין את סיכוי החדירה של הטיל התוקף יש להגדיל באותו היחס את מחיר הטיל המגן. הכלל השלישי הוא

כדי להרתיע מאיים בליסטי-גרעיני נדרשת "אטימת השמיים" בדרגה כזאת, שגם אם ישוגרו כל הטילים התוקפים שבמלאי האיום, עדיין יוגבל מאוד הסיכוי שתוקף אחד מכל המלאי יחדור

הנחה מקובלת בתורת הסטטיסטיקה, שלפיה התדירות היחסית הצפויה של הצלחת ניסוי מסוים בהרבה חזרות בלתי תלויות שווה להסתברות ההצלחה של הניסוי הבודד.

התרשים שלפנינו מסכם את שלושת הכללים שלעיל בצורה גרפית במערכת צירים לוגריתמית, שבה הקו השחור מתייחס למקרה של מגן בודד, ואילו הקו הכחול מתייחס למקרה של כמה מגינים המשוגרים נגד כל תוקף. הקצוות השמאליים של שני הקווים מתלכדים בתרשים שלנו במקרה של מגן יחיד בעל כושר סיכול של 75%, דהיינו כזה המותיר - אם שוגר לבדו - סיכוי חדירה של 25% לתוקף. במקרה הזה מיוחסים כל המחירים

שבתרשים.

כדוגמה לשימוש בתרשים נניח שמחיר מגן-הייחוס הוא 300 אלף דולר ליחידה. כמו כן נניח שסף ההרתעה לאיום גרעיני של מאה טילים תוקפים הוא הגבלת הסיכוי לחדירת תוקף בודד לאלפית בלבד. לשם כך יש (לפי הכלל השלישי) להגביל את החדירות של כל תוקף לאחד ל-100 אלף.

בדרך הזולה יש לפי הקו הכחול (הכלל הסטטיסטי) להכין 8.3 טילי מגן זולים על כל תוקף (רבע הכופל את עצמו 8.3 פעמים נותן בקירוב אחד ל-100 אלף) בעלות הגנה כוללת של כרבע מיליארד דולר. בדרך היקרה יש להכין 100 מגינים

יקרים מגבילי חדירות לשיעור של אחד ל-100 אלף. לפי הכלל השני שלעיל מחיר כל מגן כזה גבוה פי 25 אלף ממחיר המגן הזול (הנקודה עצמה נמצאת מחוץ לציור בצד ימין), ובסך הכול עלות ההגנה מגיעה ל-750 מיליארד דולר - פי 3,000 מההגנה הזולה.

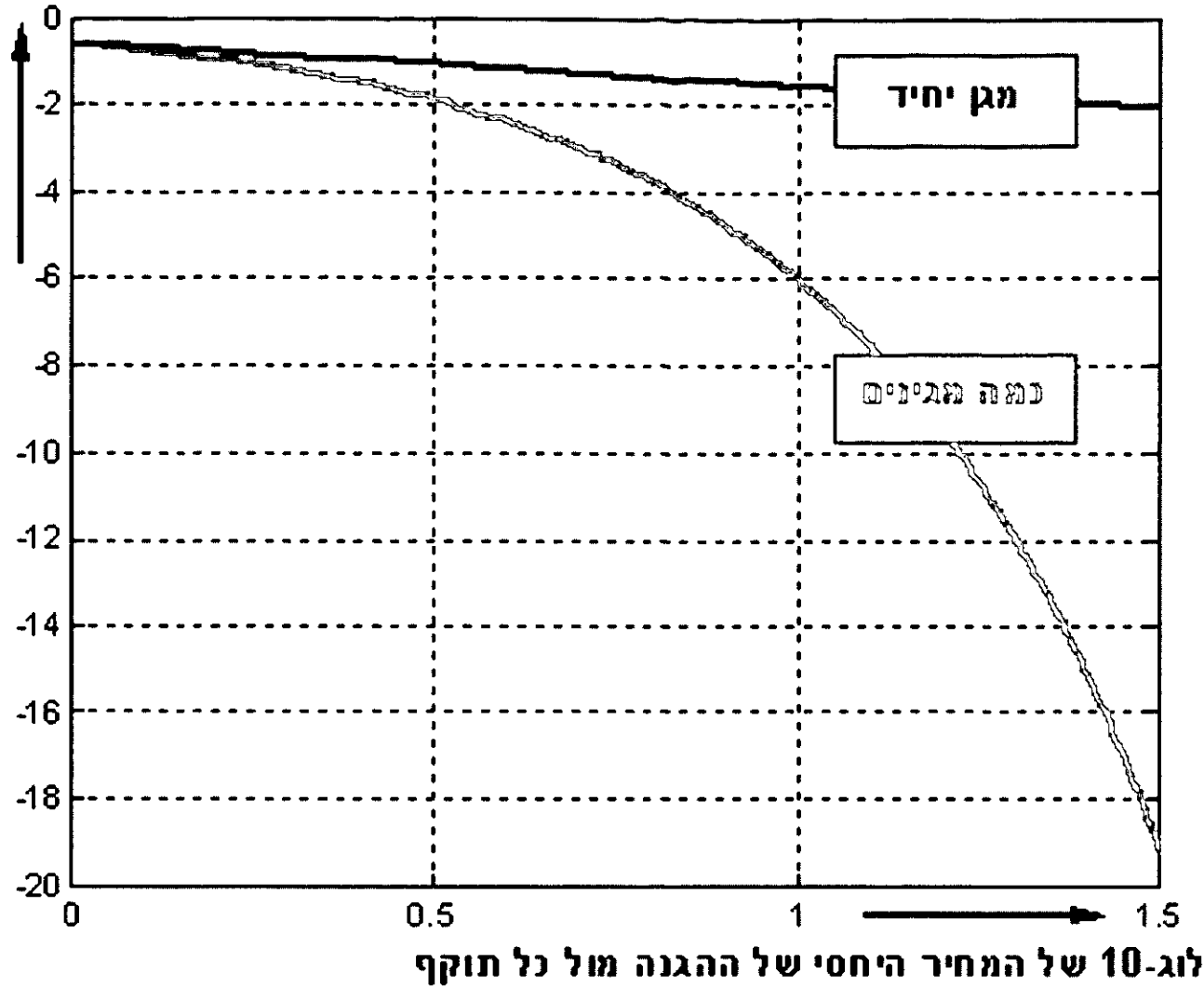
תרחישים אחרים מתוך התרשים מסוכמים בטבלה שלהלן. לדוגמה: להרתעת איום גרעיני של אלף תוקפים על-ידי הגבלת הסיכוי לחדירת תוקף בודד לאלפית בלבד נדרשת הגבלת החדירות של כל תוקף לאחד למיליון. בדרך הזולה יעלה מחיר ההגנה ל-3 מיליארד דולר (כעשרה מגינים זולים לכל תוקף)

מהנדס תעופה וחלל



השפעות מחירי ההגנות השונות על חדירות האיום הבליסטי

לוג-10 של החדירות של כל תוקף



לשום מדינה בעולם, נמצאת ההגנה בדרך הזולה בהישג ידה של מדינת ישראל והיא אף מספקת הרתעה ודאית למעשה, שכן מאוד לא סביר שגורם המאיים עלינו יסתכן, אם סיכויי ההחדרה שיוותרו לו יהיו זעירים כאמור בזאת.

1,000 תוקפים) קונה סדר גודל שלם באטימות, הרי שבהגנה היקרה כל שיפור בסדר גודל באטימה עולה בדיוק סדר גודל במחיר, וזאת בכל רמת סד"כ של האיום. לסיכום: בעוד שמחירי ההרתעה בשיטת ההגנה היקרה הם אסטרונומיים, ולכן היא אינה מעשית

בלבד, בעוד שמחיר ההגנה היקרה יגיע ל-75 טריליון (טריליון = 1,000 מיליארד) דולר, פי 25 אלף יותר מההגנה הזולה. יתר על כן, בעוד שבמקרה של ההגנה הזולה תוספת קבועה של 1.7 מגינים לכל תוקף (50 מיליון דולר לסד"כ תוקף של 100 טילים וחצי מיליארד דולר לאיום של

עלויות ההגנה בשתי השיטות - היקרה והזולה - בשביל צירופים שונים של גודל סד"כ האיום וגובה סף ההרתעה

סד"כ האיום	100	100	100	1,000	1,000	1,000
הגבלת הסיכוי לחדירת תוקף יחיד במקרה של שיגור כל סד"כ האיום	1:100	1:1,000	1:10,000	1:100	1:1,000	1:10,000
הגבלת החדירות הנדרשת לכל תוקף	1:10 ⁴	1:10 ⁵	1:10 ⁶	1:10 ⁵	1:10 ⁶	1:10 ⁷
מחיר יחסי למגן יחיד יקר	2,500	25,000	250,000	25,000	250,000	2,500,000
מספר מגיני-ייחוס זולים לכל תוקף	6.6	8.3	10	8.3	10	11.7
מחיר הגנה זולה במיליארדי דולרים	0.2	0.25	0.3	2.5	3.0	3.5
מחיר הגנה יקרה במיליארדי דולרים	75	750	7,500	7,500	75,000	750,000

