ד"ר יהושע סוקול
02.08.2009

איום גרעיני בהיבט מעשי

הגנה אזרחית... לא תמנע סכנת המלחמה הגרעינית. אך היא תקטין משמעותית את הסתברותה.
אדוורד טלר, אבי פצצת המימן

כאשר היטלר הפציץ את לונדון לראשונה הפאניקה גרמה הרבה יותר אבידות מאשר הפצצות עצמן. וכאשר תושבי לונדון השתחררו מהפחדים המוגזמים החיים חזרו למסלולם במידה רבה. וזה מה שיהיה במקרה של התקפת טרור גרעינית.
קרסון קירני, יועץ ממשלת ארה"ב

אף על פי שלנשק גרעיני כוח הרס רגעי מחריד וחסר תקדים, בכל זאת הוא מוגבל. חששות הציבור בעניין ההשלכות של התקפה גרעינית או מלחמה גרעינית הינם מוגזמים במידה רבה. הבנה ברורה של השלכות אלו היא חיונית לניהול נכון של משאבי החרום ולהישרדות האומה.

תוכן העניינים

מבוא
1. עקרונות ותולדות
2. הפצת הנשק הגרעיני והיבטים אסטרטגיים
3. השלכות הנשק הגרעיני
4. צפי נפגעים. מיגון ופיזור.
5. מודעות ומוכנות

שלמי תודה
קריאה נוספת

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

מבוא

מלחמה גרעינית איננה נושא נוח לדיון. יש רתיעה טבעית מלחשוב על שכונות שלמות חרבות, רבבות הרוגים ופצועיים, סבל שלא ידענו כדוגמתו מזה שישים שנה. אך מעל כל זה יש להודות כי מלחמה גרעינית תיתכן, היום יותר מעוד לפני שנים ספורות. אי לכך אל לנו לשכוח כי עם כל הסבל האפשרי – מלחמה גרעינית איננה סוף העולם. יתירה מכך, יכולת עמידתנו מהווה ערבון טוב ביותר כי נשק גרעיני לא יופעל נגדנו, כמו שעמידה איתנה של ארה"ב מול ברה"מ במשך כעשרים שנה הביאה בסופו של דבר להתפרקות של האיום.

1. **עקרונות ותולדות**

מבחינים בדרך כלל בין שתי קבוצות של נשק גרעיני: "פצצות אטום" ו"פצצות מימן" (או תרמו-גרעיניות). עוצמת הנשק הגרעיני נמדדת בקילו-טונות (1KT= אלף טונות של חומר נפץ רגיל TNT) או במגה-טונות (1MT=1000KT).

עוצמתן של פצצות האטום נעה בדרך כלל בין אחד לעשרים קילוטון, 1-20KT (בהירושימה – 15KT). טווח הפגיעה של פצצת 20KT הינו כקילומטר אחד. עוצמתן של פצצות המימן נעה בדרך כלל בין מאה לאלף קילוטון, 100-1000KT. טווח הפגיעה של פצצה בת מגה-טון אחד (1000KT)1MT הינו בין שלושה לחמישה קילומטרים. פצצות חזקות יותר (עד 50MT) נבנו ונוסו אך הוכיחו את עצמן כלא יעילות, ועל כן אינן בנמצא כיום. היקף פגיעתו של ראש קרב גרעיני גדל עם עוצמתו (yield) בערך כ $^{2/3}$(yield) דהיינו פצצה בת 1MT הורסת שטח פי מאה ביחס לפצצה בת 1KT. (טווח הפגיעה פי 10).

בפצצת אטום, האנרגיה משתחררת כתוצאה מתהליך ביקוע גרעיני של פלוטוניום ^{239}Pu או אורניום ^{235}U . קילו אחד של חומר שהתבקע משחרר אנרגיה השווה ל-20KT של TNT. תגובת שרשרת גרעינית איננה מתרחשת כאשר כמות חומר הביקוע קטנה מסף מסוים הנקרא "מסה קריטית" (5-50 ק"ג בתצורות שונות).

בפצצת מימן כמות משמעותית של אנרגיה (כ-50%) משתחררת כתוצאה מתגובת היתוך גרעיני. תגובת ההיתוך איננה תגובת שרשרת ואיננה דורשת מסה קריטית, אך מתחילה אך ורק בתנאי טמפרטורה ולחץ גבוהים מאוד, המושגים על ידי פצצת אטום.

מבחינה היסטורית, גודלן של הפצצות הראשונות, שהושלכו על הירושימה (15KT) ונגסאקי (21KT) היה בסדר גודל של מטרים ומשקלן כמה טונות. לעומתן, פצצות המימן הראשונות היו בעלות עוצמה של כמה MT, גודלן עלה על 10 מטר ומשקלן על 15 טונות. הפצצות המודרניות קטנות בהרבה, הן מבחינת העוצמה והן מבחינת הגודל והמשקל.

כבר ב 1953 נערכו בארה"ב ניסויים בהטלת פצצות גרעיניות בעזרת תותחים : Atomic Annie בעלת פגז 280 מ"מ שמשקלו 365 ק"ג ועוצמתו 15KT (כמו פצצת הירושימה ששקלה פי 10 באותה עוצמה). פיתוחים נוספים מיזערו את הנשק הגרעיני לכותר של תותחים 155 מ"מ הנפוצים, אומנם עם עוצמות קטנות בהרבה (כ

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

0.1-1KT)– לדוגמה, ה- US W48 בעל משקל של 58 ק"ג. כיום טוענים כי כל הפגזים הגרעיניים פורקו, אך היכולת הטכנולוגית בוודאי קיימת.

ראשי קרב תרמו-גרעינים ("פצצות מימן") כגון ה- US W87 הינם בעלי עוצמה עד כ-500KT ומשקלן פחות מ- 500 ק"ג.

שימוש מבצעי בנשק גרעיני נעשה פעמיים בלבד. בהירושימה (06.08.1945, "Little Boy" 15KT) נהרגו כ- 66 אלף בני אדם וכ-69 אלף נפצעו. בנגסאקי ("Fat Man" 21KT, 09.08.1945) כ 39 אלף נהרגו וכ 25 אלף נפצעו. מספר האנשים שמתו מאוחר יותר מתוצאות הקרינה המייננת הינו פחות מ- 1000 בסה"כ בכל השנים שעברו מאז (רובם המוחלט ב- 15-20 השנים הראשונות). שימו לב שהפצצה בנגסאקי הייתה חזקה יותר אך גרמה לפחות אבידות. ההסבר ההגיוני ביותר לכך הוא שהירושימה כמטרה הראשונה נבחרה בקפידה כדי להגדיל את היקף ההרס. במקרה של הפצצה גרעינית של עיר מודרנית ע"י פצצה דומה מספר הנפגעים צפוי להיות נמוך בהרבה (ראה דיון בפרק 4).

2. **הפצת הנשק הגרעיני והיבטים אסטרטגיים**

כדי לבנות פצצה גרעינית צריך כמות מספקת (מסה קריטית) של "דלק" גרעיני (חומר ביקוע). יש שתי חלופות שונות לכך - U^{235} ו- Pu^{239}.

U^{235} שימש כחומר ביקוע בהתקן "Little Boy". תצורת gun-type הינה פשוטה למדי למימוש. היא נחשבת כמיושנת אצל המדינות הגדולות עקב בעיות בטיחות ועוד, אך כמובן ניתנת למימוש. על פי הטענות, התוכנית הגרעינית של איראן מבוססת על שימוש ב U^{235} .

כדי לקבל אורניום לפצצה, צריך להעשירו ב-U^{235} עד כמעט 100%. באורניום טבעי, U^{235} מהווה 0.7% בלבד (כל השאר – איזוטופ אחר U^{238} אשר מפריע לתגובת השרשרת). כל האורניום (U^{238} +U^{235}) נמצא בעופרות בכמות 0.2% מכלל המשקל. זאת אומרת שכדי לקבל 50 ק"ג של U^{235} (שזו מסה קריטית בתנאים רגילים; "Little Boy" הכיל כ-60 ק"ג) יש לעבד 3.5KT של עופרות אורניום.

Pu^{239} המשמש בתצורה implosion-type אינו נמצא בטבע, אלא הוא מיוצר בכורים גרעיניים. כור בעל הספק של 50MW יכול לייצר עד כ-10 ק"ג של Pu^{239} בשנה, שזה מספיק להתקן הדומה לזה שהופעל בנגסאקי. להשוואה – הכור Yongbyon (צפון קוריאה) הינו בעל הספק 20-30MW וכור Bushehr (איראן) אמור להגיע לכ-1000MW. יש לציין כי Pu^{239} נוצר בכל כור גרעיני אף אם אין כל צורך בכך. למשל כל כור מסוג RBMK-1000 בעל הספק 3000MW שבשימוש בתחנות חשמל צ'רנוביל ורבות אחרות מייצר מעל 150 ק"ג Pu^{239} בשנה – אמנם מקובל להניח שלא ניתן להשתמש בזה לצרכים צבאיים בגלל נוכחות של מוצרי ביקוע בכמות גדולה וקרינה בלתי נשלטת. לכן, האמירה הכללית שמקובלת בין אנשי המקצוע היא שכורים שנבנו לצרכי הפקת חשמל לא יאפשרו למדינה להפיק מהמוטות המשומשים פלוטוניום באיכות של נשק.

ההשוואה בין ביצועי הנשק הגרעיני והנשק הקונבנציונאלי אינה פשוטה, אך יש לומר כי מבחינה אסטרטגית, לנשק הגרעיני יש גם חסרונות רבים לצד היתרונותיו .

ראשית, יש לציין כי עיבוד 3.5KT עופרות אורניום כולל העשרה היא מסובכת וקשה יותר מייצור 20KT TNT בטכנולוגיה כימית רגילה, שהיא פשוטה למדי.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

שנית, אם נשווה את היקף ההרס של פצצת 20KT עם 20KT של פגזים רגילים – נקבל יחס של כשני סדרי גודל לטובת הפגזים: פצצה גרעינית של 20KT מכסה כ $10km^2$ של שטח, ו 2,000,000 פגזים של 10ק"ג כל אחד מכסה כ $1000km^2$.

הפגזות בסדר גודל של KT בוצעו כבר במלחמת העולם הראשונה (WWI) – ולא היו נדירות בשנייה (WWII). הפצצות השטיח של ערי גרמניה ויפן גרמו ליותר אבידות מאשר ההפצצות הגרעיניות (למשל בדרזדן לבד – מעל 35 אלף הרוגים).

העניין המרכזי בנושא הנשק הגרעיני הוא כוח רגעי עצום וכתוצאה מכך – קלות הפעלתו ואפשרות ריכוז המאמץ של שנים ברגע אחד (למשל – 10 פצצות נבנות במשך 10 שנים ע"י מאמץ לאומי ומופעלות בבת אחת).

מלאי התחמושת הגרעינית של מעצמות העל צומצם משמעותית בעשרות השנים האחרונות – ע"י ארה"ב החל משנות הששים, ע"י ברה"מ ואח"כ רוסיה החל מסוף שנות השמונים. לעומתן, מדינות רבות הצטיידו או מנסות להצטייד בנשק גרעיני. חמש מדינות גרעיניות חתמו על הסכם אי-הפצת נשק גרעיני: ארה"ב (בעלת נשק גרעיני משנת 1945), ברה"מ (1949), בריטניה (1952), צרפת (1960), סין (1964). מאז, נשק גרעיני פותח (או לפחות הוכרז רשמית שפותח) בהודו (1974), דרום אפריקה (1983), פקיסטן (1998) וצפון קוריאה (2006). המלאי הגרעיני של דרום אפריקה פורז אחרי החלפת השלטון.

בעניין היכולת של מאמצים בין-לאומיים למנוע ממדינה פלונית להצטייד בנשק גרעיני יש להיזכר כי בתקופה שבה פיתחה ברה"מ את נשקה הגרעיני, אלפי אנשים מתו שם מרעב עד שמקרי קניבליזם על רקע רעב הפכו לדחופים להדאיג. הודו, פקיסטן וצפון קוריאה – הן מהמדינות העניות ביותר בעולם. דרום אפריקה הייתה תחת חרם בין-לאומי כבד (בגלל מדיניות הפרדת הגזעים) – ולמרות זאת כל המדינות האלו פיתחו נשק גרעיני. עקב כך הטענה כי בידוד בין-לאומי יעיל ימנע מאיראן או ממדינה אחרת להצטייד בנשק גרעיני – מוטלת בספק. ואם כך – יש להתייחס להשלכות מעשיות של הפעלת נשק גרעיני בכובד ראש.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

3. **השלכות הנשק הגרעיני**

לפיצוץ גרעיני 5 גורמי פגיעה:
1) גל הדף
2) קרינת אור/חום (קרינה תרמית)
3) קרינה מיוננת מיידית
4) זיהום רדיו-אקטיבי (קרינה משתיירת)
5) דופק אלקטרו-מגנטי EMP

1) **גל ההדף** הינו בדרך כלל גורם הפגיעה העיקרי. בניינים קורסים ובני אדם נפגעים. לפצצה בסדר גודל של הירושימה טווח ההרס המוחלט (קריסת מבנים למעט חזקים במיוחד) של כ-0.5 ק"מ וטווח ההרס הכבד (הרס קירות בלוקים ומחיצות פנימיות אך לא קריסה) – כ-1.5 ק"מ. כאשר הפיצוץ מתרחש בגובה אופטימאלי (כ-600 מ' במקרה של הירושימה) שטח ההרס (וכתוצאה מזה היקף הפגיעה) גדול כפליים מזה במקרה של פיצוץ קרקעי.
מבנים חזקים (כולל מקלטים וממ"דים) עמידים הרבה יותר. למשל, ממ"ד ישראלי אמור להישרד במרחק עד 300-250 מ' ממוקד פיצוץ קרקעי. בהירושימה בניין אחד (3 קומות, עמיד בפני רעידות אדמה) שרד במרחק של 200 מ' בלבד (!) ממוקד הפיצוץ.

2) **קרינה תרמית** גורמת לשריפות של מבנים וכוויות אצל בני אדם. בהירושימה השריפות הרבות התפתחו לסופת אש אשר גרמה לאבידות רבות. הגורם הזה היה משמעותי במידה כזאת בגלל סגנון הבנייה המסורתי המבוסס על שימוש בחומרים דליקים במיוחד. לבנייה מודרנית המבוססת על בטון, גורם זה משמעותי פחות.

3) **הקרינה המיוננת המיידית** של פצצה בסדר גודל הירושימה יכולה יכולה להיות הגורם הקטלני לאנשים ששרדו מההדף, ואף במקלטים שלא נפגעו מההדף. אנשים אשר קיבלו מנת קרינה קטלנית אינם מתים מייד אלא יכולים לתפקד עוד מספר ימים עד כשבועיים, וטיפול רפואי מתאים משפר משמעותית את סיכויי ההחלמה.
בעניין השלכות ארוכות-טווח של הקרינה המיננת יש לזכור כי בהפצצות יפן פחות מ- 1,000 ניצולים נפטרו כתוצאה מהסרטן לעומת מעל 100,000 שנהרגו מגל ההדף, השריפות והכוויות. אין שום תופעות גנטיות או אחרות שנתגלו בצאצאי הניצולים מזה 60 שנה מאז ההפצצות. יש לציין כי חששות הציבור בעניין זה מוגזמים במיוחד.

4) **הזיהום הרדיו-אקטיבי** (נשורת fallout) נוצר רק במקרה של פיצוץ קרקעי (פני). עקב כך זיהום השטח לא היה משמעותי בהירושימה ולא בנגסאקי. עוצמת הקרינה המיוננת המשתיירת לא עולה מיידית אחרי הפיצוץ. הנשורת מתחילה להיווצר כחצי שעה מאוחר יותר, כאשר חלקיקים רדיו-אקטיביים נופלים מהענן הרדיו-אקטיבי ("הפטרייה") מגובה של כ-10 ק"מ. הקרינה הזאת יכולה להיות קטלנית אם אדם נשאר ללא הגנה בשטח המזוהם שאורכו יכול להגיע (לפצצה בסדר גודל הירושימה) ל 25-20 ק"מ בכיוון הרוח. הקרינה מגיעה למקסימום כשעה לאחר הפיצוץ ודועכת מהר לאחר מכן. אחרי 7 שעות היא דועכת לרמה של כ-10% ואחרי 48 שעות לכ-1%. בשלב זה (אחרי יומיים) אפשר ככלל להישאר בחוץ מספר שעות לפחות ולהתחיל את עבודות ההצלה.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

יש להדגיש כי תקני בטיחות הקרינה בחיי יום-יום מחמירים בהרבה (מטבע הדברים) מהתקנים לעת חרום גרעיני. מנת קרינה עד 25R (רנטגן) אינה גורמת לשינוי ספירת דם אצל רוב בני אדם. מנה של 50R נחשבת כמקובלת (תקן נוכחי למצב הדורש הצלת חיים). המנה הקטלנית הינה 300-600R. לעומת זאת בחיי יום-יום לפי תקנים בין-לאומיים רק 0.1R לשנה מותר לכלל הציבור ועד 5R לשנה בודדת – לעובדי קרינה מקצועיים (מעל הרקע הטבעי שהינו 0.25-0.4R לשנה במקומות שונים). לגבי הסרטן – לפי הנתונים הרשמיים כיום מנה של 50R גורמת לתחלואת סרטן 2.5% נוספים (כעבור כ- 20 שנה) על גבי כ- 20% של התחלואה הטבעית.

דופן בטון בעובי של 30 ס"מ או אדמה בעובי של 45 ס"מ מקטין את רמת הקרינה פי 40. זהו גורם ההגנה (protection factor) הנדרש על פי תקן רשמי US FEMA TR-87 למחסי קרינה ציבוריים.

5) **דופק אלקטרו-מגנטי** (EMP) לא משפיעה ישירות על בני אדם אך יכול לשבש לא רק קשר אל-חוטי אלא ג"כ להוציא מכלל פעולה ציוד אלקטרוני אחר – ק"כ מחשבים וציוד שליטה ובקרה (שו"ב). אם נשק גרעיני מתפוצץ בגובה מעל 30 ק"מ, EMP יכול לפגוע בו-זמנית בכל שטחה של מדינת ישראל. במקרה זה לא תהיה שום פגיעה ישירה בנפש, אך תיתכן קריסת מערכות תקשורת ושו"ב – וכתוצאה מזה גם אסונות רבי נפגעים. אגב, מקום הפיצוץ יכול להיות בכלל מחוץ לגבולות המדינה, למשל מעל הים התיכון מול לבנון. כיוון שלא תהיה פגיעה ישירה בנפש – לא ברור כיצד המדינה תוכל להגיב "תגובה מידתית" (proportional response). עקב סיבות אלו התקפת EMP נחשבת בארה"ב כתרחיש טרור סביר בהחלט ומדאיג במיוחד. הגנה בפני EMP יעילה וזולה בשלב פיתוח מערכות – 1%-3% מעלות המערכת, אך מסובכת ויקרה הרבה יותר למערכות הקיימות.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

4. **צפי נפגעים. מיגון ופיזור.**

ועדה מדעית ממלכתית שחקרה את יעילות הנשק הגרעיני אחרי מלחמת העולם השנייה (בריטניה, 1950) העריכה כי הטלת פצצת אטום על מרכז לונדון היתה גורמת לכ-25,000 הרוגים. לפי אותן ההערכות, היעד של 300,000 הגוגים בקרב האוכלוסיה האזרחית של גרמניה (תוצאת הפצצות השטיח של בעלות הברית) היה ניתן להשיג ע"י 80 פצצות אטום (בתנאי דיוק ואמינות של מלחמת העולם השנייה) – זאת אומרת פחות מ-4,000 הרוגים לפצצה בממוצע.

מספרים אלו יכולים להוות הערכה ראשונית לצפי האבידות במקרה של התקפה גרעינית על ישראל.

ניתן לצמצם משמעותית את כמות הנפגעים ע"י פעולות פשוטות למדי כגון מיגון האוכלוסייה ופיזורה. המיגון צפוי לצמצם את מספר הנפגעים עד כפי-10, פיזור – עד כפי-25.

מקלטים וממ"דים רגילים צפויים לצמצם את כמות הנפגעים כאמור בסדר גודל. מספר זה נובע מההערכה כי ממ"ד עמיד בכ- 300 מ' ממוקד הפיצוץ, כאשר לבית מגורים מצוי נגרם נזק כבד במרחק יותר מ 1000 מ' (על פי ניסיון יפן, פחות מ 20% ניצולים). עקב כך שטח איזור פגיעה באכלוסיה ממוגנת מהווה כ-10% בלבד ביחס לאכלוסיה ללא מיגון.

פיזור האוכלוסיה יעיל עוד יותר. ברור שככול הפחות אנשים ימצאו באיזור הפגיעה, כן פחות אנשים יפגעו. אם כ-25,000 אנשים צפויים להיהרג (ללא מיגון) באיזורים צפופים של תל-אביב (10-15 אלף איש לקמ"ר), הערכה ראשונית מעלה כי באיזור ערוני צפוף פחות (כגון רמלה – 6.5 אלף איש לקמ"ר בתוך הגבול המוניציפלי, תיתכן פגיעה בשטחים פתוחים עקב דיוק סופי של הנשק) צפי ההרוגים הינו כ-7,000 . ובאיזור כפרי מאוכלס (אלף איש לקמ"ר, שטחים פתוחים נרחבים מסביב) – פחות מ-1,000. מיגון האוכלוסיה המפוזרת צפוי להקטין עוד יותר את מספר הנפגעים.

פיזור האוכלוסיה יכול להתבצע תוך שעות ספורות אם תינתן התראה מוקדמת על ההתקפה (תרחיש מסתבר). יש לציין גם חשיבות פיזור הדרגתי (בטווח של שנים) של אוכלוסיית גוש דן וביזור התשתיות הן מבחינה בטחונית (כל תרחיש) והן מבחינות אחרות – כלכלה, אקולוגיה, דימוגרפיה ועוד.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

5. **מודעות ומוכנות**

מאמץ שיושקע בהגנה אזרחית יכול להיות מאוד יעיל כמו שנידון לעייל (צמצום האבידות פי 25 ויותר). בנוסף לכוח הצלה ישירה של חיים ורכוש יש כאן גורם פסיכולוגי לא מבוטל. פעילות רחבת מימדים בתחום ההגנה האזרחית תעלה את רמת מודעות הציבור ועקב כך תמנע פאניקה – אשר בעצמה יכולה לגרום לאבידות כבדות (כמו בלונדון ב 1940) ואף לקריסת המדינה.

כפי שנידון לעייל, קשה לשלול לחלוטין האפשרות כי לתוקפן זה או אחר יהיה נשק גרעיני. ואז אחד מגורמי ההרתעה המרכזיים הוא היכולת לספוג התקפה גרעינית ולצמצם את השלכותיה עד כמה שאפשר. אם תוקפן פוטנציאלי ידע כי תוצאות התקפתו יצומצמו לנזק ישיר בלבד ולא יובילו לקריסת האומה – הוא כנראה יעדיף לא להסתכן בתגובת הנגד המוחצת. כמו שכתב אדוורד טלר, "הגנה אזרחית... לא תמנע סכנת המלחמה הגרעינית. אך היא תקטין משמעותית את הסתברותה".

ניסיון מדינות זרות (במיוחד שוויץ) מראה כי מאמץ ההגנה האזרחית – בהיותו אמנם מאמץ לאומי – לא חייב להתבצע ע"י המדינה מכספי משלמי המסים. דהיינו, המדינה יכולה לספק המלצות ותקנים (לבניית מקלטים ועוד) ולהבטיח הטבות למיניהן (למשל, הטבות מס) למיישמי המלצות אלה. ע"י כך הוצאות המדינה קטנות והיעילות עולה.

בין נושאי מחקר ופיתוח אשר יביא לניסוח המלצות לאזרחים ולגופים ציבוריים ניתן למנות:

- נושאי ואמצעי הסברה וחינוך
- עמידות של תשתיות חיוניות (כולל נושא EMP)
- פתרונות יעילים למיגון בניינים קיימים
- שדרוג מבנים תת-קרקעיים (חנייונים, מנהרות וכו') למקלטים ציבוריים
- פיזור האוכלוסייה וביזור התשתיות
- היערכות כוחות ההצלה

אי אפשר להעריך בדיעבד עד כמה מאמץ ארה"ב בתחום ההגנה האזרחית – אגב, מוגבל מאוד – תרם לכך שמלחמת העולם השלישית לא פרצה. אך עובדה היסטורית היא, שלא פרצה. במקום זה ברה"מ התפרקה.

שלמי תודה

ברצוני להודות לפרופ' יצחק סגל (טכניון), ד"ר מוטי בריל (קמ"ג), פרופ' טוביה שלזינגר (ממ"ג שורק), פרופ' גרגורי פלקוביץ' (מכון ויצמן), פרופ' אלי וקסמן (מכון ויצמן), מר משה לבל (מכון BESA - אונ' בר-אילן) וסא"ל בני ברוש (פיקוד העורף) על עזרתם בהכנת המאמר.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

קריאה נוספת

1. Samuel Glasstone and Philip J. Dolan. *The Effects of Nuclear Weapons*. United States Department of Defense, 3rd edition (1977).
2. Office of Technology Assessment, Congress of the United States. *The Effects of Nuclear War* (1979).
3. Cresson H. Kearny. *Nuclear War Survival Skills*. Oak Ridge National Lab (1977). 3rd edition: Oregon Institute of Science & Medicine (1999).
4. *The Number of Atomic Bombs Equivalent to the Last War Air Attacks on Great Britain and Germany*. Office of the Chief Scientific Adviser, UK Home Office CD/SA.16, 1950.

על המחבר

ד"ר יהושע סוקול קיבל את התואר בתחום של פיזיקה של אנרגיות גבוהות ממכון ויצמן למדע. שימש כפיזיקאי בכיר במרכז ידע לאומי למקורות קרינה ושימושיהם. השתתף במס' פרויקטים ביטחוניים. את הידע בנושא נשק גרעיני ונזקי קרינה רכש במשך שנים רבות, החל מההכשרה כקצין שריון בברה"מ וכולל הניסיון במרכז אירופאי למחקר גרעיני CERN.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com