

אינטגרציית הגנה אקטיבית, פסיבית והתקפית: מבט על אוקראינה וישראל (2022-2025)

שרה פיינברג, יובל פלג ותומר פדלון¹

תקציר

המלחמות באוקראינה ובישראל עוצבו במידה רבה בידי מתקפות מתמשכות של טילים, רקטות וכטב"מים על מטרות אזרחיות וצבאיות, דבר הממחיש את חזרתה של תופעת "המלחמה הטוטאלית". מאמר זה בוחן כיצד מדינות שונות מתמודדות עם כפייה אווירית דרך ביסוס מסגרת אנאליטית תלת-שכבתית המורכבת מהגנה אקטיבית (יירוט), הגנה פסיבית (התרעה, מיגון, רציפות תפקודית), והגנה התקפית (שיבוש או ניטרול היכולות ההתקפיות של היריב בשטחו). טענתנו המרכזית היא שמידת האינטגרציה בין שכבות אלו משפיעה באופן מכריע על עמידות העורף. הטיעון מתבסס על השוואה בין שני מקרי מבחן: אוקראינה, המאופיינת בהסתגלות תוך כדי לחימה (*in bello*), לבין ישראל, שבה מיסוד טרום-מלחמתי של שכבות הגנה (*ante-bellum*) אפשר הסתגלות מהירה – אך לעיתים לא אחידה – לאחר ה-7 באוקטובר. המחקר עושה שימוש הן במסמכי מדיניות ורדיווחים תקשורתיים שונים, והן בראיונות עם בעלי תפקידים רשמיים: אנשי צבא ופעילים אזרחיים בישראל ואוקראינה. מסקנתנו העיקרית היא כי השונות בדפוסי האינטגרציה בין שכבות ההגנה עיצבה את דינמיקת ההתפתחות של מערך ההגנה והשפיעה על רמת האפקטיביות שלו בכל אחד מהמקרים. הממצאים תורמים לדיונים האקדמיים בנושאי עמידות והתמודדות עם כפייה אווירית, חוסן והסתגלות של המדינה תחת לוחמה

¹ ד"ר שרה פיינברג היא חוקרת בכירה וראש תוכנית המעצמות במרכז אלרום לחקר מדיניות ואסטרטגיית אוויר וחלל באוניברסיטת תל אביב. כיהנה בעבר כיועצת בכירה במשרד הביטחון וחוקרת ב-INSS. יובל פלג הוא חוקר במרכז אלרום לחקר מדיניות ואסטרטגיית אוויר וחלל באוניברסיטת תל אביב, ודוקטורנט ליחסים בינלאומיים באוניברסיטה העברית בירושלים.

ד"ר תומר פדלון הוא חוקר ומנהל מרכז אלרום לחקר מדיניות ואסטרטגיית אוויר וחלל באוניברסיטת תל אביב. הוא מרצה באוניברסיטת תל אביב ועמית מחקר ב-INSS.

לציטוט מאמר זה: פיינברג, ש., פלג, י., ופדלון, ת'. אינטגרציית הגנה אקטיבית, פסיבית והתקפית: מבט על אוקראינה וישראל (2022-2025). אוויר וביטחון 2(2), 59-89. <https://soecsci4.tau.ac.il/he2/mu2/elrommagazine/?lang=he>

אווירית, ומהווים בסיס אמפירי למחקרים עתידיים העוסקים באינטגרציית ההגנה מול איומים אוויריים עצימים בזירות אחרות.

מילות מפתח: כוח אווירי, הגנה אקטיבית, הגנה פסיבית, הגנה התקפית, הגנה טוטאלית, אוקראינה, ישראל.

מבוא

הלחימה באוקראינה ובישראל מתאפיינת בחשיפה מתמשכת לאיומים אוויריים עצימים. אופיים הכולל של איומים אלה אילץ את שתי המדינות לגייס משאבים צבאיים ואזרחיים להתמודדות עם אתגרי הלוחמה האווירית. בבחינת שני המקרים הללו עומדת שאלה מרכזית: כיצד מדינות מעצבות את ארכיטקטורות ההגנה שלהן כדי לעמוד בפני איומים אוויריים מתמשכים ולשמור על רציפות תפקודית בתנאי מלחמה?

שאלה זו מתכתבת עם השיח האקדמי והדיונים בקרב מקבלי החלטות בנוגע למושג "הגנה טוטאלית" בעידן שלאחר המלחמה הקרה. הספרות הקיימת בנושא הגנה טוטאלית הדגישה בעיקר מענים לאיומים היברידיים, בפרט מבצעי סייבר, לוחמת מידע וחדירות קרקעיות מוגבלות. עם זאת, מלחמת רוסיה-אוקראינה והמלחמה הרב-זירתית של ישראל מאז ה-7 באוקטובר מדגישות את מרכזיותו של הממד האווירי בלוחמה אינטנסיבית בעידן הנוכחי. הדבר מצביע על פער בולט בין הגישות הקיימות להגנה טוטאלית לבין המציאות המבצעית של שתי המלחמות הגדולות ביותר של ראשית המאה ה-21. המאמר מתייחס לפער זה על ידי ניתוח המענה ההגנתי לאיומים האוויריים באוקראינה ובישראל. זאת, באמצעות שילוב של שלוש שכבות הגנה: אקטיבית, פסיבית והתקפית.

מבחינה אמפירית, המאמר נשען על דוחות ומקורות משניים העוסקים בדפוסי התקיפות האוויריות, שיעורי היירוט ופעילות מערכות ההתרעה באוקראינה ובישראל. בהינתן אי-הוודאות והמחלוקות סביב נתונים בזמן מלחמה, הדגש מושם על זיהוי מגמות ותמורות ולא על ספירה כמותית מדויקת. נתונים אלו מגובים במחקר אקדמי, מסמכי מדיניות, וכן גם בניתוחי מדיה. בנוסף, נערכו כתריסר ראיונות עומק בשנים 2023-2025 עם בעלי תפקידים בהווה ובעבר במערכת הביטחון, מנהלי מערכות חירום ציבוריות, אנשי מקצוע בתחום ההגנה האווירית ופעילים אזרחיים בשתי המדינות (נספח 1, עמ' 87). כל הראיונות נערכו בזמן המלחמות תוך שמירה על האנונימיות של המראיינים. הראיונות התקיימו בקיב באוגוסט 2023, בישראל ב-2025 חלקם פנים אל פנים, וחלקם דרך וידאו.

ממצאי המאמר מראים כי האופי המשתנה של האיומים האוויריים מאלץ מדינות לאמץ ארכיטקטורות הגנה רב-שכבתיות ורסטיליות, המשלבות רכיבים אקטיביים, פסיביים והתקפיים. מחסור באחת השכבות, או אינטגרציה חלשה של שכבה אחת מביניהן, מחלישים את החוסן והאפקטיביות של מערכת ההגנה כולה. הן אוקראינה והן ישראל בנו מערכות המשלבות יירוט של האיומים בעודם באוויר, מיגון מפני האיומים, ונטרול אש האויב באמצעות מתקפה. עם זאת, שתי המדינות מייצגות מודלים שונים

של הסתגלות בזמן מלחמה. אוקראינה מדגימה מודל הסתגלות תוך-לחימתי (*in bello*), המאופיין באלתור מבוזר, בחדשנות צבאית מואצת הנשענת על גיוס רחב של החברה האזרחית, בסינרגיה הדוקה בין מאמצים אזרחיים וצבאיים, ובהסתגלות מהירה בתנאים מגבילים. לעומת זאת, ישראל משקפת מודל שעיקרו טרום-מלחמתי (*ante-bellum*), המעוצב על ידי מיסוד מבעוד מועד הכולל אינטגרציה של מערכות הגנה מפני טילים רב-שכבתית ומבני פיקוד ושליטה ריכוזיים. לצד זאת, גם ישראל חוותה הסתגלות מואצת לאורך שנתיים של מלחמה.

מאמר זה תורם לספרות האקדמית בשלושה מישורים עיקריים. ראשית, הוא בוחן כיצד פיתוח והתקדמות בפלטפורמות האוויריות והפעלתן מעצבים את אופיו ותפיסתו של האיום ובהתאם גם את ההגנה האווירית. שנית, הוא מנתח כיצד אוקראינה וישראל גייסו, התאימו ושילבו שכבות הגנה אקטיביות, פסיביות והתקפיות תחת תנאים של מתקפה אווירית מתמשכת. שלישית, הוא מספק בסיס אמפירי לדיונים האקדמיים המתמשכים ולשאלות המדיניות על החיבור בין יכולת ההגנה הטוטאלית בזמן מלחמה לבין הגנה אווירית משולבת (*IAMD*). זוהי סוגיה בעלת רלוונטיות גוברת לא רק באירופה והמזרח התיכון, אלא גם במקומות אחרים כדוגמת מדינות דרום-מזרח אסיה.

המסגרת הניתוחית הבוחנת את המענה ההגנתי דרך תלת-שכבתיות, מייצרת תשתית לניתוח רחב של הגנה אווירית ואזרחית. מעבר לכך, היא מהווה הסבר לשונות בעמידות העורף תחת מתקפות אוויריות מתמשכות על ידי פירוט האופן שבו דרגות שונות של אינטגרציה בין הגנה התקפית, אקטיבית ופסיבית משפיעות על שלוש תוצאות נצפות: (1) היקף וקצב התקיפות כנגד המגן; (2) שיעורי היירוט; ו-(3) מידת הרציפות התפקודית של המדינה והחברה. באמצעות השוואה בין בניית תפישת ההגנה של אוקראינה, שהייתה בעיקרה תגובתית תוך כדי לחימה, לבין המודל הישראלי שהיה בעיקרו יוזם וערוך מראש, המחקר מספק הסבר אפשרי לשאלה מדוע מדינות מסוימות מסוגלות לספוג מתקפות טילים וכטב"מים מאסיביות ולחוות שיבוש מערכתי מוגבל, בעוד אחרות חוות קושי מערכתי מתמשך על אף הסתגלות טקטית.

המאמר בנוי כדלקמן: תחילה מוצגת הספרות בנושא הגנה טוטאלית והמסגרת האנליטית למאמר. החלק הבא מתחקה אחר השינויים המבניים והטכנולוגיים בכוח ובאיום האווירי העכשווי וההשלכות המערכתיות על המדינה והחברה המתגוננת. לאחר מכן, המאמר מיישם את מסגרת הניתוח התלת-שכבתי לטובת עריכת השוואה של ארגון ההגנה וההסתגלות בזמן מלחמה באוקראינה ובישראל, ולבסוף מסכם עם השלכות לגבי הגנת העורף בסכסוכים עכשוויים.

סקירת ספרות ומסגרת אנליטית

בעקבות סיפוח חצי האי קרים ב-2014, חזרו לקדמת הבמה הדיונים סביב הגנה כוללת באירופה ובאזורים אחרים המתמודדים עם איומים ביטחוניים משמעותיים. עיקרון "ההגנה הטוטאלית" בוסס במהלך המלחמה הקרה ובלט במיוחד בקרב המדינות הבלתי-מזדהות שגבלו בברית המועצות. שם, עקרון ה"אומה החמושה" (*Nation-in-Arms*) נועד להבטיח

הישרדות לאומית באמצעות שילוב מתמשך של המוסדות הצבאיים, מנגנוני הממשל, התעשייה האזרחית והאוכלוסייה הכללית (Bērziņa, 2020; Shaishmelashvili, 2023). למרות שתשומת הלב להגנה טוטאלית דעכה לאחר שנות ה-90, ההסלמה במזרח אירופה מאז 2014 החייתה מחדש את הדיונים ברחבי אירופה סביב אופן הפעולה שבו חברות נערכות לשיבוש חמור בזמן מלחמה (Government Offices of Sweden, 2024; Government of the Republic of Estonia, 2023). ראוי לציין כי דיונים אלו לא התפתחו באופן אחיד. מדינות המאמצות מודלים של הגנה טוטאלית נבדלות משמעותית באופן שבו הן תופסות מעורבות אזרחית, לרבות מעורבות אזרחית במרחב דיגיטלי, רציפות תשתיות קריטיות, מוכנות כוחות מילואים וחלוקת תחומי האחריות בין הרמות המוניציפליות, המחוזיות והלאומיות (Bērziņš, 2023; Jordan, 2024; Ljungkvist, 2025). אפילו בקרב המדינות הנורדיות המזהות ביותר עם המודל, נותרו הבדלים בעיצוב המוסדי, בציפיות מהאזרחים ובסינרגיות האזרחיות-צבאיות (Rakov & Fainberg, 2025). מדינות שונות מגדירות הגנה טוטאלית על פי היגיון אסטרטגי שונה בהתאם לתפיסת האיום שלהן (Ångström & Ljungkvist, 2024).

הרלוונטיות המחודשת של תפיסת ההגנה הטוטאלית עמדה למבחן אמפירי בשני מקרי הבוחן שלנו, שהפעילו לחץ חסר תקדים על יכולות המדינה ועל כושר העמידה של החברה: המלחמה. למרות ההקשרים הגאופוליטיים השונים בתכלית ואסימטריות הכוח הצבאי, הן אוקראינה והן ישראל חוו הפתעה אסטרטגית שהכבידה באופן משמעותי על התפקוד של מוסדות הפיקוד, מערכות ניהול החירום והאוכלוסיות האזרחיות. חוקרים אף תיארו אותם כמקרים הממחישים את חזרתה של "המלחמה הטוטאלית" – דהיינו, סכסוכים בהיקף מלא, המחייבים מענים כלל-חברתיים וכלל-מדינתיים (Karlin, 2024). שתי המדינות גייסו לא רק את הכוחות המזוינים אלא גם רשויות מוניציפליות, ארגוני מתנדבים, גורמים מהמגזר הפרטי ורשתות אזרחיות בהיקף מהיר ונרחב (Rakov & Fainberg, 2025), ובכך גילמו את ההגיון המרכזי של הגנה טוטאלית: שילוב כולל של משאבי המדינה והחברה בתגובה לאיום משמעותי.

שתי המלחמות חושפות כי הגנת המדינה והחברה עוצבה באופן מרכזי על ידי הצורך לעמוד בפני מתקפות אוויריות מתמשכות, רב-כיווניות ועצימות. בעוד שדיונים מוקדמים יותר על הגנה טוטאלית התמקדו רבות בהתערבות היברידית, מבצעי תודעה, שיבושי סייבר וחדירות קרקעיות מוגבלות (Bērziņa, 2020, p. 5), המלחמות באוקראינה וב ישראל ממחישות שינוי דווקא במוקד המרכזי של מנגנוני הכפייה: שני הסכסוכים הוגדרו בעיקר על ידי מערכות טילים וכטב"מים מתמשכות שכוונו לתשתיות לאומיות, מרכזי פיקוד צבאיים ואזורים אורבאניים צפופים.

תמורה זו משקפת שינויים מבניים רחבים יותר בכוח האווירי. בעוד ששילוב טכנולוגיות אזרחיות בהפעלת כוח צבאית דרך טכנולוגיות דו שימושיות והתרחבות המלחמה למרחבי הסייבר כבר ערערו את ההבחנה בין החזית לעורף, השינוי באופיו של הכוח האווירי מהווה נדבך מצטבר נוסף החושף אוכלוסיות שלמות, בדגש על המרחב האזרחי, לאיום

ולמתקפה אווירית רציפה ורחבת היקף. מכלול תהליכים אלה מגדיר מחדש את האופן שבו המלחמה מתנהלת ונחווית (Stewart, 2025).

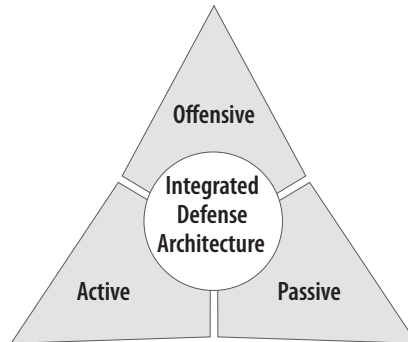
ועל אף מרכזיות הממד האווירי במלחמות עכשוויות, ניכר כי הממד האווירי טרם זכה להתייחסות מחקרית מספקת בספרות המחקר העוסקת בסוגיית ההגנה טוטאלית. חלק ניכר מהספרות שלאחר 2014 עסק בדיסאינפורמציה, מבצעי סייבר וכוחות הגנה טריטוריאליים. לעומת זאת, סוגיות העוסקות בשיבוש אווירי מתמשך ובתקיפות שמטרתן להציף את מערכות ההגנה האקטיבית שולבו רק לאחרונה בדיוני על החוסן הלאומי, כפי שניתן לראות בתוכנית המודרניזציה של ההגנה האזרחית בשוודיה (2026-2028). לפיכך, מחקר זה שואף להעמיק את ההבנה של הזיקה בין הגנה טוטאלית לבין איומים אוויריים באמצעות התמקדות ספציפית בדינמיקות ההגנה של אוקראינה וישראל בכלל ועל הממד האווירי בפרט דרך שלושת הרבדים הבאים (ראה איור 1):

הגנה אקטיבית, המתייחסת לגילוי, יירוט או נטרול של איומים אוויריים חודרים באמצעים קינטיים ואלקטרומגנטיים. זאת דרך אינטגרציה רב-שכבתית: חיישנים, מיירטים, ופיקוד ושליטה, המשולבים לרשת אחידה ורב שכבתית הפועלת בגבהים ומרחבים שונים.

הגנה פסיבית הכוללת מנגנונים לא-קינטיים המצילים חיים ושומרים על רציפות תפקודית של המדינה: התרעה מוקדמת ממוקדת-מיקום, מדיניות מיגון, רציפות שלטונית ושירותים, הגנה על תשתיות קריטיות ויוזמות אזרחיות מהשטח. במערכות אוויריות המאופיינות בייצור והפעלה המונית של חימוש, דיוק משופר, טווחים מוגדלים ורב-כיווניות, ההגנה הפסיבית שבה ומופיעה כמרכיב מכונן בחוסן הלאומי, ועל כן היא מהווה רגל משמעותית לבחינה. (Karlin, 2024).

הגנה התקפית (תוך כדי לחימה – *in bello*) מתייחסת להפעלת כוח מבוסס מודיעין איכותי, וגילוי איומים בזמן אמת. מטרת הפעלת הכוח הינה לצמצם את יכולת האויב לייצר ולקיים מתקפות אוויריות בזמן אמת או לאורך זמן. בתוך כך, תקיפה של מערכות שיגור, מרכזי פיקוד ושליטה, שרשראות ייצור ורשתות לוגיסטיות בזמן הלחימה וזאת על מנת לצמצם את כמות האש המגיעה בזמן אמת אל המגן. ההגנה ההתקפית משלימה את ההגנה האקטיבית באמצעות פגיעה בפרוטנציאל התקיפה בשטח האויב מפחיתה את העומס על שכבות ההגנה האקטיבית והפסיבית.

שלוש שכבות ההגנה הללו (אקטיבית, פסיבית והתקפית) תלויות זו בזו מבחינה מבצעית. הגנה התקפית מפחיתה את התדירות וההיקף של המטחים הנכנסים; הגנה אקטיבית מיירטת או מנטרלת את אלו ששוחררו; והגנה פסיבית מצמצמת נזק ומשמרת רציפות חברתית ושלטונית. כשל או חוסר בממד אחד מטיל עומס בלתי פרופורציונלי על האחרים, ויוצר דפוסים של עומס-יתר (כגון שחיקה של ההגנה האווירית, פערים ואי-ספיקה ברשת המקלט, שחיקת יכולות ההתקפה). לעומת זאת, רמות גבוהות יותר של אינטגרציה וסינרגיה בין שלושת הרבדים מפחיתות את הפגיעות ומשפרות את עמידות העורף, הנמדדת במונחים של רמות נזק והיכולת לקיים רציפות תפקודית תחת אש.



איור 1: שלוש השכבות של ארכיטקטורת ההגנה המשולבת
מקור: מרכז אלרום לחקר מדיניות ואסטרטגיית אוויר וחלל, 2025.

מאמר זה מכיר בקיומן של שכבות הגנה נוספות ותהליכים מדיניים משלימים, אך הוא מתמקד ספציפית ביכולות המדינה והחברה המגנה ובדפוסי פעולתן בזמן אמת. המאמר אינו עוסק בתהליכי רכש או בבניית שותפויות במהלך הלחימה. כמו כן, אף שלוחמה ממוקדת רשת (network-centric warfare) ולוחמה קוגניטיבית, לרבות מבצעי תודעה ולוחמה פסיכולוגית, שזורים יותר ויותר במערכות כפייה אווירית (Healey, 2024; Khoroshko et al., 2024), ממדים אלו חורגים מתחום מחקר זה. מחקר עתידי יוכל לבחון רבדים אלו על ידי בחינת האופן שבו לוחמה ממוקדת רשת לצד מבצעי סייבר ולוחמת מידע מעצימה את ההשפעה והכפייה של תקיפות אוויריות.

בנוסף, המסגרת שלנו מתכתבת עם דיונים אקדמיים בנושא כפייה אווירית. הטיפולוגיה של פייפ (Pape, 1996) לאסטרטגיות אוויריות של כפייה והמחקר הכמותי של הורוביץ ורייטר (Horowitz and Reiter, 2001) מדגימים שניהם כי האפקטיביות של מערכה אווירית מותנת לא רק במאפייני התקיפה וביכולות המתקיף אלא גם בפגיעות ובחוסן של הצד המתגונן, מחקרנו מתכתב באופן ישיר עם מחקרים אלו.

המחקר העדכני בתחום מאשש דינמיקה זו. סונדרס וסובה (Saunders and Souva, 2020) מראים כי כוח אווירי נמצא במתאם עם הצלחה אסטרטגית ומבצעית בעיקר כאשר למגן חסרה היכולת לערער על השליטה בממד האווירי. ממצאיהם מצביעים על כך שהאפקט הכפייתי של תקיפות אוויריות הוא מותנה ולא אינהרנטי, ומופיע רק כאשר יכולת ההגנה האווירית הנגדית חלשה או נעדרת. בדומה לכך, קרויצר (Kreuzer, 2024), וכן פוגט והיידר (Vogt & Haider, 2024), טוענים כי מרחב אווירי מאוים, רשתות הגנה אווירית צפופות ומסתגלות, והפעלה נרחבת של כטב"מים מאפיינים יותר ויותר את הלוחמה האווירית העכשווית. תנאים מבניים אלו מעלים את החשיבות של ארכיטקטורות הגנה רב-שכבתיות איתנות.

לסיכום, הספרות מצביעה על כך שעוצמה וכפייה אווירית אינה משיגה הצלחה באמצעות יכולת התקיפה לבדה. מידת היעילות נקבעת על פי יכולתו של המגן לשלב

מספר שכבות הגנה בזמן אמת, ובכך להפוך את ההגנה האווירית לגורם מכריע ומרכזי בעמידות המדינה וחוסן החברה בזמן מלחמה.

מאמר זה תורם לדיונים אלו על ידי בחינת האופן שבו אוקראינה וישראל משלבות הגנה אקטיבית, פסיבית והתקפית כרכיבים המחזקים זה את זה בתוך החוסן הלאומי תחת מתקפה אווירית מתמשכת ולעיתים אינטנסיבית. באמצעות בחינה אמפירית אחר האינטראקציה בין שכבות אלו, אנו מדגימים כיצד עמידות העורף אינה נובעת מרובד בודד, אלא מהסינרגיה בין יירוט, מיגון ושיבוש התקפי: משולש המפחית את הפגיעות המצטברת ומאפשר למדינות לתפקד תחת איומים אוויריים ארוכים וממושכים.

תמורות באיומים האוויריים והשפעתן על העורף

חלק זה בוחן את אופיים של האיומים האוויריים העכשוויים כפי שהם משתקפים במלחמות באוקראינה ובישראל, ומדגיש את השפעתם המערכתית על המגן (המדינה והחברה). אנו מצביעים על חמישה מאפיינים עיקריים של איומים אוויריים עכשוויים: נְשִׁיגוּת – עלות נמוכה, כמות – המאפשרת הפעלה המונית, דיוק, טווח ורב־גוניות – וורסטיליות (איור 2).

Affordability	Quantity	Precision	Range	Versatility
Aerial weapons have become cheaper and widely available, enabling both states and non-state actors to acquire and use them	Large arsenals of drones and missiles allow sustained, high-volume attacks that overwhelm defenses	Guided weapons can accurately target critical assets, multiplying destructive impact and complicating defense	Long-range systems enable strikes from a distance, covering vast areas and reducing the vulnerability of the attacker	Aerial threats vary in speed, direction, and altitude, creating unpredictable multidimensional challenges for defense
\$				

איור 2. תמורות עיקריות במאפייני האיומים האוויריים במאה ה־21
מקור: מרכז אלרום לחקר מדיניות ואסטרטגיית אוויר וחלל, 2025.

1. **נְשִׁיגוּת – עלות (Affordability):** מה שהיה בעבר נחלתם של צבאות מתקדמים בלבד הפך כעת לנגיש באופן נרחב: שחקנים דלי־משאבים יכולים לרכוש כטב"מים, חימושים משוטטים וכלי נשק אוויריים מאולתרים כדי לשבש ולהפעיל לחץ פסיכולוגי וקינטי על עורף היריב (Cronin, 2019, p. 52; Hammes, 2016, p. 35; Yan, 2025). מזעור הרכיבים, הפיכתם מסחריים וחדשנות טכנולוגית רבתכליתית הנמיכו את רמות הסף לייצור. כיום. ישנו שוק עולמי לאמצעי לחימה (אמל"ח) אווירי זול, ובעל פוטנציאל נזק גובה. (ADF, 2025) רבות ממערכות הנשק הללו דורשות ידע טכנולוגי ומבצעי בסיסי בלבד להפעלה אפקטיבית ותחזוקתן, מה שמוביל לתפוצה רחבה בקרב שחקנים רבים בזירות שונות.

דוגמה לכך היא השימוש הנרחב בכטב"מי נפץ ארוכי־טווח וזולים יחסית, חימושים משוטטים ורחפנים כמו גם טילי קרקע־קרקע וטילי שיוט זולים ופשוטים לטווח קצר ובינוני (Hammes, 2016; Kunertova, 2025; Molloy, 2024b). השימוש הרוסי הרחב בכטב"מי

נפץ מאז מחצית 2022, יחד עם השימוש הנרחב של איראן, בעלות בריתה והפרוקסי שלה במערכות דומות במזרח התיכון, מראים כיצד מערכות זולות יכולות לאתגר מערכות הגנה אווירית מתקדמות ולגבות מחירים גבוהים מצד המגנים (Hollenbeck et al., 2025; Plichta, 2025). יתר על כן, כטב"מים הם זולים בהרבה מסוגי חימוש אחרים כגון טילי קרקע-קרקע, מה שהופך אותם למשתלמים מבצעית, שכן כטב"מ בודד יכול לגרום נזק קריטי לתשתית או לנכסים אסטרטגיים של היריב (Hollenbeck et al., 2025). למשל, במועד הכתיבה, ה-Shahed 136/131 האיראני, סוג נפוץ בשימוש הן על ידי רוסיה והן במזרח התיכון, מוערך בעלות של כ-25,000–35,000 דולר ליחידה. דוגמה נוספת היא פיתוח והסבה של רקטות "טיפשות" לטילים מדויקים, כפי שבא לידי ביטוי ב"פרויקט הדיוק" של חיזבאללה. פעילות זו מהווה דוגמה לאופן בו חדשנות בעלות נמוכה יכולה לסייע לשחקנים שאינם מדינתיים לרכוש מערכות משמעותיות.²

2. כמות (Quantity): עקרון המסה היה מאז ומתמיד עיקרון מרכזי בלוחמה; ההתפתחות הטכנולוגית מאפשרת לשחקנים מדינתיים ושאינם מדינתיים להשיג כוח הרס רב יותר תוך שימוש מינימלי במשאבים ותחזוקה כוללת, ובכך לרכוש, לקיים ולהפעיל יכולות אוויריות בקנה מידה מסיבי (Alman & Venable, 2020; Podestà, 2024). איראן ובעלות בריתה מנצלות את עיקרון זה בשימוש בנשק אווירי, ואף רוסיה, לאחר כישלונות מוקדמים של חיל האוויר באוקראינה, פנתה לתקיפות טילים וכטב"מים המוניות (Shiferman, 2023). שתיהן בנו ארסנלים שניתן לייצר במהירות ולשגר בגלים מתמשכים וממושכים, בין אם כמטחים מרוכזים ובין אם כמטחים מצטברים לאורך זמן (Elran et al., 2024). ארסנלים אלו משמשים לא רק כדי להכריע את ההגנה האווירית ולגרום הרס, אלא גם כדי להאריך את משך המלחמות.

כך למשל, מאז ה-7 באוקטובר 2023, יותר מ-37,000 רקטות, טילים ואמצעי תקיפה אחרים נורו ושוגרו לעבר ישראל (Fabian, 2024), כ-10,000 במהלך החודש הראשון, ושליש מתוכם בשעות הראשונות של מתקפת ה-7 באוקטובר (Zitun, 2023). חיזבאללה, מצדו, תכנן לשגר אלפי רקטות וכטב"מים, בתוספת מספרים קטנים יותר של טילי קרקע-קרקע וטילי שיוט, במטח יחיד (Zitun et al., 2024).³

עד שנת 2025, יכולתה של רוסיה התרחבה לנקודה שבה ניתן היה לשגר מאות חימושים מדי שבוע (Harding, 2025; Jensen & Atalan, 2025; Sabbagh, 2025). בין 2024 ל-2025, השימוש החודשי של רוסיה בכטב"מי נפץ זינק מכ-1,900 לכ-5,300, בעיקר הודות להרחבת יכולת הייצור המקומית. במקביל, שיגורי הטילים הבליסטיים ארוכי הטווח גדלו פי ארבעה, מה שאפשר לרוסיה להתקרב להרווית מערך ההגנה

² לאורך שנות ה-2010 וה-2020, חיזבאללה הסב רקטות לא-מונחות ארוכות-טווח לטילים מדויקים, ובכך שיפר את יכולתו הטכנולוגית לפגוע במטרות בתוך ישראל. על פי הערכות שונות, הדבר הביא לעלות מוערכת של כ-5,000–10,000 דולר לטיל, שהיא שבריר מעלותו של טיל קרקע-קרקע תקני (BICOM, 2019).

³ אף על פי שנכשל בביצוע מסיבות שונות, ובעיקר בשל פעולה ישראלית, חיזבאללה עדיין הצליח לשגר מטחים נרחבים של עשרות רקטות וחימושים אחרים לאורך כל הסכסוך, ובמקרים מסוימים אף הגיע לכמה מאות במטח בודד (McKernan, 2024).

האוורית של אוקראינה (Atalan et al., 2025; Adams, 2025; Hollenbeck et al., 2025; Jensen et al., 2025; Kullab & Novikov, 2025).

3. דיוק (Precision): מהפכת הדיוק, שהחלה עם פיתוח חימוש מונחה מדויק (PGMs) בסוף שנות ה-70 ויושמה מבצעית על ידי צבא ארה"ב במלחמת המפרץ הראשונה ב-1991, שיפרה משמעותית את יעילות הנשק בכך שאפשרה תקיפות ממוקדות על מרכזי פיקוד, חיישנים, מוקדים לוגיסטיים ומערכות הגנה אוויריות (Hubbard et al., 2016; Singer, 2016; 2019).⁴ כמו כן, חימושים מדויקים יכולים לשמש במכוון לביצוע תקיפות ממוקדות וממושכות כנגד אזרחים ותשתיות אזרחיות. זוהי התפתחות טכנולוגית כפייה ופגיעה ב בבטן הרכה של המדינה האוכלוסייה האזרחית (Bales & Mutschler 2025; Euronews, 2025; Santora, 2025).

השילוב של דיוק ומסה, או "מסה מדויקת בפעולה" (Plichta, 2025, p. 42), מאפשרת למדינות לבצע תקיפות רבות בעלות נמוכה ובדיוק גבוה. בעוד שבעבר היו אלה נחלתם הבלעדית של צבאות מתקדמים, כיום קשרת רחבה של שחקנים נגישה לשימוש נרחב באמצעים מדויקים, ממעצמות עולמיות ועד שחקנים שאינם מדינתיים כדוגמת ארגוני טרור. לוחמה מדויקת מעצימה אפוא את פוטנציאל ההרס: מספר קטן יותר של אמצעי לחימה יכולים להשיג אפקט בלתי פרופורציונלי תוך הפחתת הסיכון לתוקף, בעוד שמסה של אמצעי לחימה זולים ומדויקים מרחיבים את מכלול האיומים הכולל (Slusher, 2025). במקרה של ישראל, יריביה הצליחו להטמיע טכנולוגיות ואמצעי לחימה מדויקים באופן שאפשר ירי מטחים נרחבים וביצוע תקיפות ממוקדות ברמת דיוק הולכת וגוברת (Antebi & Yanko-Avikasis, 2023; Antebi & Adar, 2024; Jensen et al., 2025; Klein, 2008; Michael, 2022; Zitun, 2024). רוסיה הסתמכה באופן דומה על נשק מדויק, כשכבר בשלב הפתיחה של פלישתה לאוקראינה ניסתה לבסס עליונות אווירית ולפגוע במטרות אסטרטגיות באמצעות תקיפות מדויקות. כתוצאה מכך רוקנו הרוסים במהירות חלק ניכר ממלאי טילי השיוט והפצצות המדויקות שלהם. עם זאת, מתוך ההבנה ביעילות של נשק זה, רוסיה הגבירה את הייצור, רכשה מערכות נוספות מאיראן ומצפון קוריאה, והפעילה אותן נגד מטרות צבאיות ואזרחיות כאחד (Hecht & Shabtai, 2023; Hinz, 2025; McCurry, 2025).

בהקשר זה, חימוש מונחה מדויק מופעל לעתים קרובות לצד נשק לא מונחה במטחים מעורבים. מטחים מאסיביים של רקטות או טילים משוגרים במקביל למספרים קטנים יותר של חימוש מונחה, במטרה להכריע את מערכות ההגנה האווירית, להביא לעומס על

⁴ לרוב מתייחסים למערכות ניווט והנחיה כגון GPS או מערכות GNSS אחרות, כגון GLONASS הרוסית. עם זאת, בהתייחסות לנשק מדויק, אנו מתייחסים גם לטכנולוגיות מונחות אופטיות, אינפרא-אדום וטלוויזיה המאפשרות תקיפות נגד מטרות נידות או מוסתרות (Hoehn & Courtney, 2024; Lifshitz & Meents, 2020; Maurer, 2023; Mahnken, 2011).

⁵ דוגמאות לכך כוללות את משפחת כטב"מי ה"שאהד" שנעשה בהם שימוש נרחב בכל רחבי אוקראינה, וטילים לטווח קצר כגון ה-Fatah-360 האיראני וה-NK-23 וה-NK-24 הצפון קוריאניים, המשמשים הן לתקיפות קצרות טווח והן לתקיפות בחזית.

אמצעי האיסוף וכוחות ההגנה, ולהבטיח חדירה חלקית לפחות של ההגנות (Goldberg, 2024; Jensen et al., 2025; Zitun, 2024).

4. טווח (Range): ההתקדמות הטכנולוגית מרחיבה את טווח הפעולה המבצעי של אמצעי לחימה אוויריים רבים, ומאפשרת לתוקף לכסות שטחים נרחבים בעומק שטח היריב. זאת, תוך שמירה על שרירות הפלטפורמות והצוותים המפעילים. באוקראינה, רוסיה משגרת חימושים בטווחים משתנים, רבים מחימושים אלו משוגרים מתוך שטח שלה. לדוגמה, טילי שיוט ארוכי טווח כמו ה-Kh-101, Kh-47 ו-Kalibr (2,500–1,500 ק"מ) וכטב"מ שאהד 136/131 (1,500–1,300 ק"מ) יכולים לפגוע במטרות בכל רחבי אוקראינה (Dmytrieva, 2024). מערכות קצרות טווח יותר כמו Hawsong 11A/B, Iskander, Fatah-360 ו-Tochka (700–120 ק"מ) משמשות נגד מטרות בחזית ובעומק, כולל אתרים אזרחיים (Atalan & Jensen, 2025; Daly, 2025; Hinz, 2025). ישראל מתמודדת עם איומים דומים בקנה מידה קטן יותר, מתימן, לבנון, סוריה, עיראק ואיראן. חלק מהמערכות האיראניות והחות'יות מגיעות לטווחים של 1,750–1,300 ק"מ, ומאפשרות פגיעה בישראל ממרחק ניכר.

5. רב גוניות – וורסטיליות (Versatility): איומים אוויריים עכשוויים מתאפיינים יותר ויותר על ידי מסלולים, מהירויות וגבהים משתנים ולעיתים בלתי צפויים (Schütz et al., 2019). שלא כמו מבצעים קרקעיים המוגבלים על ידי גבולות ותנאי שטח, מערכות אוויריות מנצלות את פתיחותו של המרחב האווירי, מתמרנות באופן בלתי צפוי ומסבכות את הגילוי, היירוט וההתרעה המוקדמת שלהן. (Schütz et al., 2019). כטב"מים וטילים משוגרים מפלטפורמות יבשתיות, ימיות ואוויריות על פני אזורים ומדינות, ומגיעים בזמנים ובעוצמות שונות (Kubovich, 2024). חלק מהאיומים מהירים ביותר: נשק רוסי כגון הטיל הבליסטי האווירי "קינז'אל" (Kinzhal) מגיע על פי חלק מהדיווחים למאך 12, או כמעט 14,700 קמ"ש, בעוד טיל הקרקע-קרקע "איסקנדר" מגיע למאך 6.3, כ-7,560 קמ"ש. אחרים איטיים יחסית, כגון כטב"מ שאהד 136/131 מונעי מרחף, המשייטים במהירות איטית יחסית של כ-200 קמ"ש (Epstein, 2025; Kramarenko & Vialko, 2024; Norsk Luftvern, 2025). הגובה מוסיף רובד נוסף של מורכבות. כטב"מים מסוימים טסים בגבהים נמוכים מאוד וחומקים מהמכ"ם, ואחרים פועלים בגבהים בינוניים, בעוד שטילים בליסטיים וטילי שיוט מסוימים מגיעים מגובה רב לפני שהם צוללים לעבר מטרותיהם. טווח משתנה זה של פרופיל טיסה דורש ממערך ההגנה להיות רב-שכבתי המסוגל לספק מענה לאיומים על פני כל הספקטרום האווירי. בתוך כך, שטח חתך מכ"ם (שח"ם) קטן מעמיק אתגר זה. רבות ממערכות אלו מנצלות פערים בכיסוי המכ"ם ובמעטפות ההגנה, מפחיתות את זמן ההתרעה ומסבכות את היירוט גם כאשר המגנים פורסים ארכיטקטורת הגנה אווירית איתנה (Foreign Policy Council "Ukrainian Prism", 2025; Kalisky, 2025; Kostis, 2025; Kubovich, 2024).

השפעת התמורות על הצד המגן

התפתחות האיום האווירי המתוארת מעלה מגדרה מחדש הן את טיב האיום והן את תפיסתו עבור המדינה והחברה האזרחית כאחד. בהתבסס על תובנות השוואתיות מאוקראינה וישראל הנתמכות בהתייגעויות מומחים עם גורמים רשמיים ואנשי מקצוע אוקראינים וישראלים (ראו נספח 1, עמ' 87), טרנספורמציה זו באה לידי ביטוי במספר תמורות הקשורות זו בזו בחשיפה לאיום ובתפיסתו.

ראשית, המעבר מהפצצות אפיוזיות למטחים מתמידים (המתאפשרים בזכות הזמינות, העלות הנמוכה והייצור ההמוני של החימושים) יצר תחושה של סכנה מתמדת, והפך את האיום האווירי למצב קבוע. הדבר טיפח הלך רוח של "שגרת חירום", שבו חיי היומיום האזרחיים מתקיימים לצד ציפייה מתמדת למתקפה. אזרחים מתרגלים לשהות ממושכת במקלטים, תוך שמירה על תפקוד, לנוכח התרעות חוזרות ונשנות והפגזות מתמשכות (ראיון והתכתבות עם בכיר ביטחוני ישראלי, אוקטובר 2025). שגרה זו של התרעות ואזעקות חיזקה והחלישה את החוסן באופן פרדוקסלי: נרמול של הסכנה מאפשרת תפקוד רציף תחת אש, אך היא גם מולידה שאננות ותגובות מאוחרות, שלעיתים מביאות לנפגעים שניתן היה למנוע.

ברומה לכך, הגדלת הטווח והגמישות של אמצעי הירי גרמו לכך שאין יותר איזור בטוח מסכנת הירי. חלקים שלמים מהמדינה, מצויים כיום בטווח האש של האויב. בנוסף, תקיפות ממוקדות המשולבות במטחים רחבים מעצימות את הפחד בקרב האוכלוסיה האזרחית. לצד זאת, תקיפות מדויקות על תשתיות לאומיות חיוניות ועל מרכזים עירוניים עשויה להגביר את ההשפעה הפסיכולוגית של כל פגיעה על האזרחים. בתגובה נוצרו התארגנויות ספונטניות של אזרחים שנועדו לשמור על שגרה תחת אש, להבטיח אספקה חיונית במהלך תקופות ממושכות של שיבושים או הפסקות חשמל ולפעול למען סולידריות אזרחית ומאמצי שיקום.

העלייה במהירות אמצעי הירי מקצרת את זמן ההתרעה והתגובה, ומאלצת את המגנים להטמיע טכנולוגיות חדשות במערכות ההגנה האקטיבית והפסיבית, ולהטמיע תהליכי אוטומציה. מערכות התרעה מוקדמת דיגיטליות, מעגלי החלטת פיקוד מהירים ויכולת הציבור להבחין בין רמות שונות של איום (בהתאם לסוג הגופים המשוגרים שבהם נעשה שימוש ולמקורם) יכולים ליצור תחושת "שליטה" ולייצר מידה של שגרת מלחמה.

בה בעת, חשיפה לא אחידה לאיום ושונות בנגישות למקלטים חשפו והעצימו אי-שוויון חברתי ומרחבי. קהילות פריפריאליות, לעיתים קרובות עם תשתיות גרועות נמצאות בסיכון רב יותר, מיקומן גם מוביל לכך שהן לעיתים מכוסות פחות על ידי מערכות הגנה אווירית. פערים אלו, שתועדו על ידי גורמי הגנה אזרחית אוקראינים וישראלים משפיעים ואף מעודדים פינוי ועקירה עקירה פנימית של אוכלוסייה (בין אם כפויה או מרצון). דבר המשפיע על אזורים שלמים, ובייחוד על אזורי גבול, הסובלים מפגיעה כלכלית ועומס על הקהילות הקולטות.

הגנה תלת-שכבתית: השוואה בין אוקראינה וישראל

חלק זה מנתח כיצד אוקראינה וישראל הסתגלו לאיומים האוויריים באמצעות הגנה אקטיבית, התקפית ופסיבית, אשר יחד מדגימות מודלים נבדלים אך בני-השוואה של הסתגלות מדינתית ואזרחית.

הגנה אקטיבית

אוקראינה

בתחילת הפלישה המלאה של רוסיה בפברואר 2022, מערך ההגנה האווירית המתיישן אך הרב-שכבתית של אוקראינה מהעידן הסובייטי התגלתה כחזקה אך לא מספקת כמותית להיקף ההתקפה. התמהיל שלה של מערכות לטווח קצר, בינוני וארוך, בסיוע מכ"מי התרעה מוקדמת – ומערכות מודיעין אמריקאי, מנעו בתחילה מרוסיה עליונות אווירית מהירה (Kofman, 2025; Simmill, 2025). עם זאת, האופי הסטטי של המערכת, שביריותה הלוגיסטית והסתמכותה על מיירטים סובייטיים הפכו אותה לבלתי מספקת ולא עמידה אל מול תקיפות ממושכות ומשולכות (Bronk et al., 2022).

האבולוציה של ההגנה האווירית האוקראינית התפתחה בשלושה שלבים עיקריים, שכל אחד מהם משקף הסתגלויות שונות למערכה האווירית של רוסיה ולעקומת הלמידה הטכנולוגית והארגונית של אוקראינה (נספח 2, עמ' 88–89). השלב הראשון (מתקפת פתיחה שנכשלה, פברואר 2022) התאפיין בניסיון רוסי לשחזר בליץ בסגנון קרים (2014) באמצעות תקיפות מרוכזות על אתרי מכ"ם, מרכזי פיקוד ובסיסי חיל אוויר, בחיפוש אחר עליונות אווירית מהירה. מערך ההגנה האווירית של אוקראינה, אותו ירשה מהתקופה הסובייטית (הבנויה סביב מערכות כדוגמת S-300, Buk-M1, Osa-AKM וטיילי כתף) מנעה יעד זה, ויצרה מרחב אווירי מאוים שאתגר את פעילות המטוסים והמסוקים הרוסיים (Kofman, 2025; Shifferman, 2023, ע' 52). אך נוקשות המערכת, תלותה במכ"ם ומלאי המיירטים המוגבל שלה הפכו אותה לבלתי מתאימה ללוחמה מתמשכת ורב שכבתית. כאשר רוסיה החלה לשלב מערכות כדוגמת כטב"מי שאהד-131/136 איראניים מאמצע 2022, שכוונו לרשת האנרגיה ולערים של אוקראינה, המגנים נדרשו לבזר את מערך ההגנה האווירית, לשפר את הניידות שיפרו את הניידות ולהסתמך יותר ויותר על חרשנות אזרחית כדי לשמור על רציפות מבצעית עקב השחיקה.

השלב השני (המעבר של רוסיה לתפיסה של "ניצחון באמצעות הפצצות" קיץ עד סתיו 2022) סימן את האינטגרציה ההדרגתית של טכנולוגיות מערביות ואת התאמת ההגנה האווירית של אוקראינה ללוחמת כטב"מים וטיילים המונית. הגעתם של מערכות מערביות כדוגמת הפטריוט, IRIS-T, NASAMS ומערכות ניידות כמו גפרד (Gepard) שיפרו את ההגנה על קיב ואתרים קריטיים אחרים, אך ההגנה נותרה בלתי מספקת לכיסוי כלל-ארצי. יכולות מתקדמות אלו שולבו בהדרגה עם מערכות לחימה מתקופת ברית המועצות שנותרו בשירות, ליצירת מבנה היברידי, ובמקביל החלו תעשיית הביטחון האוקראינית ומתנדבים לשדרג מערכות ותיקות. השלב השלישי (ענישה ושיחקה, 2023

עד אוגוסט 2025) משקף התבססות ולמידה תחת לחץ ממושך: עם התקפות חודשיות העולות על 2,000 חימושים כנגדה, אוקראינה מיסדה את המודל ההיברידי שלה המשלב מיירטים מערביים מתקדמים, מערכות מחודשות מהעידן הסובייטי וייצור מקומי. להרחבה, נספח 2 (עמ' 88-89) מסכם שלבים אלו בפירוט טכני רב יותר.

ככל שהתקפות הרוסיות התעצמו, הסיוע המערבי התגלה כלא מספק להבטחת כיסוי מדינתי כולל, מה שהדגיש אסימטריה מתמשכת בין צרכי ההגנה של אוקראינה לבין היכולת התעשייתית והפוליטית של שותפיה לתמוך בחידוש המלאים. בתגובה, אוקראינה יישמה שלושה אלמנטים: ביזור, מענה בעלות נמוכה, ומאמץ משולב ממשלתי ואזרחי. תחילה, אלמנט הביזור: החל מסוף 2022, אוקראינה עברה מסוללות הגנה אווירית ניידות יקרות ערך למערכות ניידות המסוגלים להתמקם מחדש במהירות. אלו נפרסו כדי ליירט כטב"מים בעלות נמוכה, לשמור על מיירטים יקרי-ערך ולהבטיח את קיום מערך ההגנה האווירית באמצעות פיזור. יחידות אלו, שפעלו בעיקר באזורים הצפוניים והצפון-מזרחיים הנתונים לסיכון גבוה, הסתמכו על ניידות מתמדת כדי לחמוק מאיכון ותקיפה רוסיים.

שנית, אוקראינה פנתה, ככל שהדבר התאפשר, לפתרונות מהירים, זמינים, זולים וניתנים להפצה מהירה כדי להיות מסוגלת להרחיב את הגנותיה ולעמוד בקצב ההתקפות הרוסיות. הדבר הצריך פיתוח מנגנוני גילוי מוקדם המבחינים בין טילי שיוט וטילים בליסטיים לבין כטב"מים (Simmill, 2025). אוקראינה הסתכמה על פתרונות בעלות נמוכה שתאפשרו בזכות פיתוחים חדשניים וייצור של גורמים אזרחיים. תעשיית החדשנות הביטחונית והטכנולוגית באוקראינה הפכה לאבן יסוד באסטרטגיית ההגנה האווירית המסתגלת שלה, הממזגת ממשלה, תעשייה, אקדמיה וחדשנות אזרחית כדי לפצות על קיבולת ההגנה האווירית המסורתית המוגבלת שלה. החל מ־2023, האיצה תשתית זו את פיתוח הכטב"מים כמכשירי הגנה אווירית, בעיקר כטב"מים מיירטים שנועדו לנטרל כטב"מי איסוף (ISR) של האויב ורקטות-כטב"מ כגון ה-Palanytsia וה-Peklo, המשלבים טווח ומהירות דמויי-טיל עם מאפייני תעופה של כטב"מ (Ostafiichuk et al., 2025). חדשנות אזרחית, הנתמכת במימון המונים ושיתוף פעולה בקוד פתוח, מילאה תפקיד חיוני בגישור על פערי יכולת וטיפול הסתגלות לאורך זמן (Matlack et al., 2025).

באוקראינה, ניכר כי יוזמות אזרחיות משלימות את החוסרים. מהנדסים אוקראינים פיתחו יכולות מתקדמות בלוחמה אלקטרונית ובלוחמה נגדית, ובהן כטב"מי FPV המסוגלים לשנות תדרים במהלך הטיסה ולהפעיל ראייה ממוחשבת לאיתור מטרות אוטונומי (Ostafiichuk et al., 2025). במקביל, פותחו מערכות אוטומטיות כנגד נחילים שנועדו ליירט כטב"מים וטילים. כמו כן, התפתחו יוזמות מוסדיות, ובהן כוח המערכות הבלתי-מאוישות ופלטפורמת Brave1, מיסדו שיתוף פעולה בין הצבא, התעשייה והאקדמיה באמצעות מענקים, תשתיות ניסוי ושילוב דוקטרינרי של מערכות בלתי-מאוישות (Matlack et al., 2025). יוזמות אלה הן חלק בלתי נפרד מהמודל האוקראיני לסינרגיית המאמץ הצבאי והאזרחי לטובת חיזוק ההגנה האקטיבית בתנאי מחסור חימושים.

ישראל

בניגוד לאבולוציה המלחמתית המסתגלת של אוקראינה, הניסיון הישראלי משקף מודל ממוסד וארוך-שנים של מוכנות טרום-מלחמה. מושרשת בראשית ימי המדינה, דוקטרינת ההגנה האווירית של ישראל שאפה להתגבר על העומק האסטרטגי המוגבל באמצעות הרתעה והתרעה מוקדמת, והגנה על מרכזי אוכלוסייה ותשתיות מפני איומים אוויריים אזוריים (Brun, 2022). עם הזמן, איום הטילים הבליסטיים, הרקטות ארוכות הטווח והכטב"מים עיצבו מחדש סביבת איומים זו. מבצעית, כתגובה לעליית איומים אוויריים מסוגים אלו כבר משנות ה-80, ישראל פיתחה ארכיטקטורת הגנה אווירית רב-שכבתית המסוגלת להתמודד עם איומים אוויריים מגוונים בגבהים ובטווחים שונים. על אף עשורים של פיתוח, ההגנה האווירית של ישראל התמודדה עם אתגרים חסרי תקדים לאחר ה-7 באוקטובר 2023, שדרשו גיוס מלא של משאבים לאומיים ותמיכה בינלאומית. לראשונה, המערכת הרב-שכבתית כולה עמדה למבחן סימולטני מול איומים מגוונים וחופפים.

ראשית, ישראל יישמה את מדיניות היירוט הסלקטיבי שלה כדי ליישב את הדילמה שבין העלות הגבוהה של מיירטים לבין ההשלכות הקטסטרופליות הפוטנציאליות של פגיעה מוצלחת (Chang & Granados, 2025). גישה זו סייעה לשמר את מלאי המיירטים וייעלה את הקצאת המשאבים, דבר שהוכח כקריטי במהלך מלחמה ארוכת טווח. בנוסף, ישראל מינפה שיפורים טכנולוגיים בזמן אמת במערכת הרב-שכבתית שלה, כך למשל, מערכת כיפת ברזל שתוכננה במקור להתמודדות כנגד רקטות קצרות טווח שימשה גם ליירוט כטב"מים המשוגרים מעזה, לבנון וסוריה. המערכת הפגינה גם גמישות על ידי יירוט שרידים של טילים בליסטיים שנורו מאיראן ומתימן שאמנם פוצצו באוויר על ידי מערכות ההגנה לנטרול איומים ארוכי-טווח אך שרידיהם היוו איום (Gilead, 2025).

שלישית, ישראל חיזקה את ההגנה האקטיבית שלה באמצעות סיוע חיצוני. למרות תשתית החדשנות המקומית האיתנה שלה, ההגנה האווירית של ישראל נותרת תלויה מבנית בתמיכה פיננסית וטכנולוגית של ארה"ב.⁶ במהלך מלחמת 2023–2025, תלות אסטרטגית זו העמיקה. פריסות אמריקאיות של מיירטי THAAD ותיאום עם כוחות בעלות הברית סיפקו חיזוק קריטי ליציבות ההגנתית של ישראל. מתקפת הטילים והכטב"מים האיראנית ב-14 באפריל 2024 הדגישה עוד יותר את הממד האזורי של רשת ההגנה הישראלית, עם דרגות משתנות של סיוע מבצעי מצד ארה"ב, בריטניה, צרפת, ירדן, ערב הסעודית ואיחוד האמירויות הערביות (UK Parliament, House of Commons Library, 2024).

⁶ מאז 2009, ושינגטון הקצתה כ-3.4 מיליארד דולר לתוכניות הגנה מפני טילים של ישראל (Bureau of Political-Military Affairs, 2025), כאשר כשליש מתוכם מוקדש לכיפת ברזל. המערכת הרב-שכבתית של ישראל, הכוללת את כיפת ברזל, קלע דוד וחץ 2/3, פותחה במשותף באמצעות שותפויות אמריקאיות-ישראליות: רפאל וריית'און עבור קלע דוד, והתעשייה האווירית לישראל עם מימון וטכנולוגיה אמריקאיים עבור סדרת החץ (IAI, n.d.).

לבסוף, חיל האוויר הסתגל לאתגר המתפתח של לוחמת כטב"מים המאופיינת בטיסה בגובה נמוך, חתימת מכ"ם קטנה ומהירויות משתנות. (Fisher, 2024). לשם כך חיל האוויר יצר אריכטקטורה שלמה על מנת להתמודד עם האיום, שימוש במטוסי ומסוקי קרב, מערכות הגנה אקטיבית כדוגמת סוללת כיפת ברזל וכיפה ימית (The Jerusalem Post, 2025). כמו כן, הסתמכות גוברת על מערכות לוחמה אלקטרונית (ל"א). אריכטקטורה זאת הוכחה כיעילה במיוחד במהלך מלחמת 12 הימים עם איראן ביוני 2025, כאשר כטב"מים איראניים ארוכי טווח, בעלי כושר טיסה ממושך, אפשרו גילוי ונטרול ממרחק. מעבר ליתרון הכלכלי, אמצעי הל"א סיפקו תועלת פסיכולוגית על ידי נטרול איומים בטרם חדרו למרחב האווירי הישראלי, הסתגלות טקטית מתמדת לאורך כל העימות שיפרה את שיעורי היירוט והרחיבה את היכולת המבצעית של רשת ההגנה הישראלית.

הגנה התקפית

הן אוקראינה והן ישראל פנו ליכולות התקפיות בזמן מלחמה כצורה של מניעה טקטית, בשאיפה לשחוק את פוטנציאל התקיפה של היריב ו/או לגבות מחירים לוגיסטיים, כלכליים או תדמיתיים שידחו או ישבשו את יכולתו לנהל התקפות מתמשכות ואפקטיביות.

אוקראינה

במקרה של אוקראינה, התפתחות זו סימנה מעבר מכוון מהגנה אווירית תגובתית לעמדה של הגנה התקפית יוזמת, שנועדה להפחית את היכולת והנכונות של רוסיה לנהל התקפות אוויריות על ידי פגיעה במקורות הכוח הצבאי והכלכלי שלה (ראיון, בכיר צבאי אוקראיני, אוגוסט 2023; Simmill, 2025). המעבר של אוקראינה להגנה התקפית התאפשר בזכות שתי התפתחויות: אישור (זמני) של ארה"ב לקייב בנובמבר 2024 לתקוף באמצעות מערכת הטילים הטקטית של הצבא (ATACMS) עמוק בתוך שטח רוסיה, והיכולת לבצע תקיפות מסיביות של כטב"מי FPV וכטב"מי נפץ חד-הודות להתרחבות המהירה של בסיס הייצור הביטחוני הצבאי-אזרחי שלה.

מאמצע 2023, אוקראינה פתחה במערכה מתמשכת באמצעות שימוש בכטב"מי נפץ נגד בתי זיקוק לנפט, מאגרי דלק ותשתיות אנרגיה של האויב, תוך הרחבת ההיקף והעומק הגיאוגרפי של מבצעה. רגע שיא במערכה זו היה מבצע "קורי עכביש", שהושק ביוני 2025 עם למעלה מ-100 כטב"מי FPV שעל פי הדיווחים הוברחו לתוך רוסיה ושוגרו במתקפה מתואמת על מספר בסיסי אוויר אסטרטגיים. מקורות אוקראיניים טענו כי עשרות מפציצים אסטרטגיים נפגעו, ורבים מהם הושמדו. מפציצים אלו היו חיוניים בתוכניות המלחמה של רוסיה נגד נאט"ו, אך עבור אוקראינה, חשובה יותר הייתה העובדה שמפציצים אלו שימשו לשיגור טילי שיוט ארוכי טווח נגד אוקראינה. על ידי תקיפתם, אוקראינה הצליחה, לראשונה, להביא למתקפה ישירה ספציפית שתפחית את יכולת התקיפה הרוסית נגדה (Collett-White et al., 2025; Reuters, 2025).

למערכה הייתה הצלחה מסוימת בהגנה על העורף, והיא חשפה בהצלחה את פגיעותה של רוסיה ל"מסה מדויקת בפעולה": ההשפעה המצטברת של תקיפות רבות בעלות נמוכה

ובדיוק גבוה (Plichta, 2025, p. 42). תקיפות כטב"מים ארוכות טווח הגבילו את יכולתה של רוסיה להשיק ולקיים מבצעי אוויר וטילים (Reuters, 2025). בפועל, מבצע "קורי עכביש" השמיד מעט מאוד כלי טיס: מטוס מדגם Su-57, ומספר מצומצם של מפציצים מהדגמים הבאים: Tu-95, Tu-22, Tu-160, ובכך הוא הפחית במידה מצומצמת את האיום האווירי הרוסי, אך אילץ את מוסקבה להסיט נכסי הגנה אווירית להגנה מקומית, מה שהגביל את הגמישות ההתקפית שלה (Collett-White et al., 2025). לתקיפות אלו הייתה גם השפעה פסיכולוגית, בהביאן את המלחמה לשטח רוסיה ובהדגמת יכולתה של אוקראינה לגבות מחירים בתוך העורף הרוסי (Plichta, 2025). עם זאת, היכולות ההתקפיות של אוקראינה נותרות מוגבלות, נשענות בעיקר על כטב"מים בעלי אפקט מבצעי צנוע (מבצע "קורי עכביש" הינו החריג), כאשר השפעותיהם הסופיות הן בעיקר כלכליות ולא צבאיות.⁷

ישראל

הקירבה למדינות שכנות עוינות והיעדר עומק אסטרטגי בישראל עיצבו את דוקטרינת ההגנה שלה. נדבך מרכזי בהגנה הישראלית הוא יכולותיה ההתקפיות, המגולמות בתפיסת הביטחון הלאומי שכוללת בתוכה מרכיבים של התקפה מניעתית כחלק מהגנה. דוקטרינת ההגנה אם כן כוללת נטרול איומים בשטח האויב באמצעות תקיפות מקדימות ומונעות במטרה להפחית את יכולת השיגור של האויב תוך כדי הלחימה, לצמצם את מאגרי החימוש שלו ובכך למזער נזק למטרות צבאיות ואזרחיות בעורף. לדוגמה, במשך מספר ימים באוגוסט וספטמבר 2024, חיל האוויר השמיד במכה מקדימה אלפי רקטות, כטב"מים ומשגרים, וסיכל למעשה מתקפה רחבת היקף של חיזבאללה (FDD, 2024). ביוני 2025, תקיפות הפתיחה המונעות של ישראל על נכסי הגנה אווירית, מרכזי הנהגה, מחסני נשק ומשגרים ניידים איראניים סיפקו יתרון מוקדם מכריע: התוכנית האיראנית לשגר 1,000 טילים בליסטיים ביום הראשון צומצמה לכ-100 טילים, ששוגרו כמעט עשרים וארבע שעות לאחר מכן, עיכוב שסיפק לעורף הישראלי זמן היערכות קריטי והחליש משמעותית את המומנטום ההתקפי הראשוני של איראן. המקרה הישראלי מביא לידי ביטוי את החשיבות של בניית יכולת וניצול עליונות אווירית על מנת לאפשר לא רק תקיפה מקדימה על מנת לסכל את ההתקפה הצפויה, אלא גם לשהות לאורך זמן מעל שטח האויב ובתוך כך לבצע "ציד" כנגד איומים חדשים הצצים בזמן אמת. (Zitun, 2025)

הגנה פסיבית

אוקראינה וישראל פיתחו מודלים מקבילים אך נבדלים של הגנה פסיבית, שכל אחד מהם משקף את יכולותיהן המוסדיות, את סביבת החדשנות הטכנולוגית שלהן, ורמות הסינרגיה בין המאמצים הממשלתיים, הצבאיים והאזרחיים.

⁷ תקיפות העומק האוקראיניות שיבשו כ-17 אחוזים מיכולת הזיקוק של רוסיה, שווה ערך ל-1.1 מיליון חביות ביום (Sauer, 2025).

אוקראינה

בסוף פברואר 2022, אוקראינה הסתמכה על רשת התרעה מוקדמת מהעידן הסובייטי שהנפיקה התרעות לא מובחנות למרחב ומקום. בתגובה, המשרד לחידוש דיגיטלי שהוקם לפני המלחמה, נטל תפקיד מרכזי, והשיק בשותפות עם חברות פרטיות אפליקציית התראה מוקדמת מבוססת מיקום. בשנים 2023–2025 מערך ההתרעה המוקדמת התפתח למערך מבוסס בינה מלאכותית המסוגל לשמור על רציפות תפקודית גם במצב של שיבושים מכוונים והפסקות חשמל (Arkin, 2025). היכולת לצמצם את אזורי ההתרעה אפילו בתוך העיר תרמה רבות ליכולת להציל חיים. בסיוע ישראלי נכנסו מערכות כאלו בקיב בשנת 2025 ושיפרו מאוד את הרציפות התפקודית תחת אש. התנעת תהליך הדיגיטליזציה על ידי הממשלה לוותה בגיוס משאבים אזרחיים רחב לחיזוק ההגנה הפסיבית: ערוצי טלגרם המנוהלים על ידי מתנדבים ומשקיפים מהקהילה הרחיבו את הכיסוי לאזורים מרוחקים, ויצרו מערכת התרעה היברידית אזרחית-מדינתית (ראיון עם אולכסנדרה רובינה ה"5 באוגוסט 2025). ברמה המקומית, רשויות אזרחיות ומתנדבים תיקנו מקלטים, שיקמו תשתיות וריכוזו סיוע לעקורים (Simmill, 2025). בין היוזמות ניתן למנות את "דוברובט" (Dobrobat), רשת מתנדבים ארצית הבונה מחדש תשתיות אזרחיות שניזוקו באזורים שספגו הפצצות כבדות, שאיפשרה שיקום מהיר של רציפות תפקודית (ראיון עם ראיון עם דמיטרו איבנוב, , אוגוסט 2023). גם מדיניות המיגון השתפרה תוך כדי לחימה (*in bello*). בתחילה, בהסתמך על מקלטים ובונקרים מתקופת המלחמה הקרה ותעלות מטרות תת-קרקעיות סובייטיות, יכולת המיגון של אוקראינה הייתה לא אחידה (ABC News, 2022). מאמצע 2022 ואילך, הממשלה העלתה את בניית המקלטים לראש סדר העדיפויות הלאומי, כאשר הנשיא זלנסקי לחץ שוב ושוב על גורמים אזרחיים בנושא מוכנות מקלטים (ראיון עם, בכיר אוקראיני, יולי 2025). פרויקט "מקלט ברזל" (Iron Shelter), שהושק ב־2023 על ידי המשרד לתעשיות אסטרטגיות, מיסד מאמץ זה באמצעות שותפויות ציבוריות-פרטיות, תוך מתן עדיפות לבתי ספר וגני ילדים, ומיפוי זמינות מקלטים בזמן אמת (Rubryka, 2023).

ישראל

לעומת זאת, הגישה של ישראל להגנה פסיבית נשענת על ראייה מערכתית וממוסדת ארוכת טווח, ולא על אלתור נקודתי במהלך הלחימה. כבר במלחמת העצמאות ב־1948, ישראל נאלצה לספוג תקיפות אוויריות חוזרות ונשנות של חיל האוויר המצרי על תל אביב (Nicolle & Gabr, 2024). ניסיון זה האיץ את מיסוד ההגנה האזרחית, שהגיע לשיאו בחוק ההתגוננות האזרחית ב־1951, שחייב בניית מקלטים. איום הטילים ארוכי הטווח שבא לידי ביטוי במהלך מלחמת המפרץ הראשונה, כאשר 39 טילים בליסטיים שוגרו מעיראק, יצר אתגרים חדשים לעורף הישראלי. בתגובה, ישראל הקימה את פיקוד

העורף⁸ והכניסה תקנות חדשות המחייבות שכל דירה חדשה תכלול ממ"ד (מרחב מוגן דירתי) (Brun, 2022; Israeli Ministry of Defense, 1951). לאורך שנות ה-90, ההגנה הפסיבית תעצבה עוד יותר על ידי ירי רקטות קצרות טווח ששוגרו מדרום לבנון, ולאחר מכן איומים דומים מעזה. התפתחויות אלו, בשילוב עם היעדר העומק האסטרטגי של ישראל, מדגישים את הצורך הישראלי בתשתיות הגנה פאסיביות...

מעבר למקלטים, ישראל חיזקה את מנגנוני ההתרעה המוקדמת שלה המיועדים להתגוננות אזרחית. התשתית הדיגיטלית שלה פותחה כדי לשלב נתוני מכ"ם בזמן אמת עם מנגנוני התרעה לציבור, המשדרים התרעות ממוקדות-מיקום באמצעות יישומני סמארטפון, SMS ושירותי רדיו. מערכת ההתרעה הלאומית מתרגמת גילויי מכ"ם לספירות לאחר ספציפיות ליישוב המכוילות לזמני מעוף של האיום האווירי (Ringel, 2024). דיוק זה הוכח כמציל חיים במדינה בעלת שטח גיאוגרפי מצומצם שבו משך מעוף החימוש יכול להימדד בשניות עבור יישובים בקרבת הגבול. לאורך המלחמה, פיקוד העורף ביקש לשמור על תפקוד חברתי באמצעות הנחיות מצב מדורגות שהופצו דרך פורטל החירום הלאומי (National Emergency Portal, n.d.). עם זאת, על אף תחכומה הטכנולוגי, ההגנה הפסיבית של ישראל ממשיכה להתאפיין בפערים מבניים ומוסדיים של מבקר המדינה (2021) מציין כי לכ-2.6 מיליון אזרחים, בעיקר תושבי שיכונים ישנים ואזורי פריפריה, עדיין אין גישה למקלטים הולמים. יתרה מכך, מחסור מתמשך בכוח אדם מיומן, עיכובים במתן סיוע לאוכלוסיות עקורים ומערכת תמיכה פסיכולוגית בלתי אחידה ערערו את החוסן הכולל. הקבינט החברתי-כלכלי, האחראי רשמית על התפקוד האזרחי, כשל לעתים קרובות בכינוס או בהוצאת הנחיות מחייבות לציבור. כפי שהסיקה ביקורת מ-2024, "ההגנה הפסיבית נותרה השכבה החלשה ביותר של ישראל", תוך הדגשה כי חוסן אפקטיבי תלוי בתקשורת ותיאום מוסדיים לא פחות מאשר בתחכום טכנולוגי וכיסוי מקלטים מספק (Ran & Yagana, 2025).

דיון ומסקנות

סיבתית, הטעון המועלה כאן הוא שאינטגרציה בין שלוש השכבות מתפקדת כמנגנון המצמצם ומחליש את הכפייה. הגנה התקפית מפחיתה את יכולת האש בכמות ובקצב ובקצב גבוה על ידי שחיקת פלטפורמות שיגור, מרכזי פיקוד ושליטה ושרשראות ייצור. הגנה אקטיבית מפחיתה עוד יותר את נפח האיומים האוויריים שכן מצליחים להיות משוגרים לעבר המדינה על ידי יירוט חלק מהחימושים וצמצום הנזק וההגנה הפסיבית קובעת כמה מהנזק שנותר מתורגם לשיבוש מערכתי ואובדן פונקציונליות. במקום שבו שכבות אלו מקושרות באופן רופף, משום שיכולות ההגנה ההתקפית מוגבלות, יכולות היירוט אינן מספקות או שהמיגון הפסיבי אינו אחיד, אותה תקיפה אווירית מייצרת רמה גבוהה יותר של לחץ מצטבר על מערכת או ארכיטקטורת ההגנה הרחבה של המגן.

⁸ משימתו של פיקוד העורף היא להגן על חיי אזרחים על ידי הכנת המרחב האזרחי לטובת היערכותו לקראת סכסוכים ותמיכה בו בשעת חירום.

היכן שהאינטגרציה הדוקה יותר, כמות הלחץ שהתוקף מייצר תכלס בחלקה או במידה רבה, וכך ההגנה המשולבת מאפשרת רציפות תפקודית אצל המגן. מהניתוח המשווה של אוקראינה וישראל אנו למדים כי שתי המדינות מסתמכות על ארכיטקטורת הגנה תלת־שכבתית המורכבת מהגנה אקטיבית, פסיבית והתקפית. הסתמכותן המשותפת על מבנה זה משקפת את האופי המשותף של האיום: איומים בקצב גבוה תוך שילוב של כמות, דיוק, עלות נמוכה וטווח מוגדל, שרבות מהן התאפשרו הודות להעמקת השותפות האסטרטגית בין רוסיה לאיראן (Fainberg & Matania, 2025). על אף הדמיון בארכיטקטורת ההגנה, היא פותחה בישראל ובאוקראינה מתוך שני מודלים נבדלים של הסתגלות ללוחמה אווירית ממושכת: מודל למידה שהוא בעיקרו "תוך כדי לחימה" באוקראינה ומודל מוכנות שהוא בעיקרו "טרם־מלחמה" בישראל. שני המקרים מאששים מחדש את הרלוונטיות של הגנה טוטאלית למלחמה עצימה עכשווית, ומדגימים כי הגנת העורף דורשת שילוב של משאבים מדינתיים וחברתיים לרוחב שלושת הרבדים הללו.

אוקראינה: הסתגלות תוך כדי לחימה, חיונית אך לא מספקת

הניסיון של אוקראינה מדגים את האתגרים והאפשרויות בבניית ארכיטקטורת הגנה לאומית בזמן מלחמה ללא יסודות דוקטרינריים או תשתיתיים קודמים. כאשר רוסיה פתחה בפלישתה המלאה בפברואר 2022, לאוקראינה הייתה חסרה מסגרת תפיסתית להגנת העורף, תשתית הגנתית הולמת ומנגנונים לתיאום שכבות הגנה צבאיות ואזרחיות. היעדר זה של הכנה טרם־מלחמתית ברמות התפיסתית, המבצעית והאינטגרטיבית הגביל בתחילה את יכולתה של אוקראינה להגן על אוכלוסיות אזרחיות, תשתיות קריטיות ומתקנים צבאיים (Rakov & Fainberg, 2023).

עם זאת, במהלך המלחמה, אוקראינה יצאה לתהליך מתמשך של למידה והסתגלות תגובתית. בעוד ולאוקראינה היה סיוע חיצוני מוגבל והיא נמצאה תחת איום מתמשך, היא פיתחה פלטפורמות הגנה אקטיבית חדשות, הקימה יחידות ניידות שמטרתן לאתר וללירט איומים והרחיבה את מערכות ההתרעה המוקדמת שלה באמצעות דיגיטליזציה מהירה. במקביל, היא הרחיבה ומיפתה מקלטים, במיוחד במרכזים עירוניים גדולים. תמורות אלו התאפשרו הודות לגיוס כלל־חברתי שמיזג תיאום ממשלתי, חדשנות אזרחית ויזמות מהשטח. הופעתה של סביבת חדשנות ביטחונית בזמן מלחמה, שכלל את המדינה עצמה אך גם סטארט־אפים, מוסדות אקדמיים וארגוני מתנדבים ופעילי שטח, אפשר לאוקראינה לייצר ולהציב יכולות הגנה חסכוניות, מבוזרות ובעלות פוטנציאל לפיתוח והרחבה לאורך זמן.

טכנולוגית, ההגנה של אוקראינה הפכה מסתגלת ויעילה כלכלית: האוקראינים למדו לשמר מיריטים יקרים נשמרו למטחי טילים מורכבים, בעוד כטב"מים זולים, יחידות יירוטניות המבוססות על מערכות הגנה אווירית קצרות טווח ויחידות ל"א ניידות מתמודדות עם מרבית מטחי הכטב"מים היומיים. פוליטית וחברתית, מודל הגנה מבוזר זה, שהתאפשר הודות לתרבות הטכנולוגית המפותחת מאוד של אוקראינה, חיזק את

החוסן הלאומי והפחית את התלות באספקה חיצונית. עם זאת, למרות צעדים אלו, יכולות ההגנה ההתקפית של אוקראינה נותרו מוגבלות. מבצעי תקיפת עומק, כגון מבצע "קורי עכביש" ביוני 2025, גרמו לשיבושים אך זמניים בלוגיסטיקה ובפלטפורמות התקיפה הרוסיות. אוקראינה השיגה אפוא עלייה משמעותית ביעילות ההגנתית אך, נכון למועד כתיבת המאמר, ממשיכה לפעול מתחת לקצב ולהיקף של התקיפות האוויריות של רוסיה, מוגבלת על ידי האסימטריה ביכולת התעשייתית, בטווח ובמלאים.

ישראל: מיסוד תפיסתי ומבצעי טרם המלחמה

ישראל מייצגת את המקרה ההפוך: מדינה שנכנסה למלחמה כשברשותה כבר ארכיטקטורת הגנה ממוסדת, מתוחכמת טכנולוגית ומנוסה מבצעית. עשורים של פיתוח דוקטרינרי, בשילוב עם השקעה מתמשכת במערכות יירוט רב-שכבתיות, סיפקו לישראל יכולת חזקה להגן על העורף, הנכסים הצבאיים והתשתיות הקריטיות שלה. מבחינה תפיסית, ההגנה הישראלית נשענת זה מכבר על נדבכים המחזקים זה את זה, שבהם ההגנה התקפית שואפת לשבש את יכולות האש של היריב לפני השיגור, הן טרם המלחמה והן במהלכה, ובכך להפחית את העומס על שכבות ההגנה האקטיבית והפסיבית.

ישראל מחזיקה בתשתית מתקדמת וממוסדת של נכסי הגנה אקטיבית (חיישנים, מכ"מים, פיקוד ושליטה ומנגנוני תיעודף בזמן אמת המשלבים מערכות יירוט קרקעיות ואוויריות), כמו גם מערכת הגנה פסיבית מפותחת (התרעה מוקדמת ממוקדת-מיקום, תשתית מקלטים כלל-ארצית ומשמעת אזרחית בזמן מלחמה המעוגנת בחוק ובתקנות). הרובד התקפי זה הינו בלתי נפרד מארכיטקטורת ההגנה של ישראל. מאמצים שיטתיים לשחוק את יכולת התקיפה של היריב באמצעות פעולות מבצעיות שנועדו להפחית הן את היקף והן את הסימולטניות של המטחים כנגדה. במהלך המלחמה תקיפות ישראליות מקדימות והתקפות מונעות בזמן אמת נגד מלאי טילים, פלטפורמות שיגור מרכזי ומרכזי פיקוד, עיכבו וצמצמו את המטחים כנגד ישראל. פעולות אלו ממחישות את הערך המכריע של שילוב הגנה התקפית בהגנת העורף. התקיפות צמצמו את פוטנציאל השיגור כנגד ישראל, בעוד וההגנה אקטיבית ירטה אז את מה שהיריבים של ישראל הצליחו לשגר בעוד וההגנה הפסיבית (מקלטים, מערכות התרעה ופיקוד העורף) אפשרה את הספיגה של מה שלא יורט.

עם זאת, הניסיון הישראלי חשף גם את מגבלותיה של דוקטרינה זו, בפרט חוסר האפשרות למנוע את כל ההתקפות בהינתן ההיקף והאבולוציה הטכנולוגית של האיומים המדוברים. למרות המוכנות הגבוהה המלחמה הדגישה את א-השוויון המתמשך בפריסת מקלטים, פערי תיאום בין סוכנויות הגנה אזרחית, ואת חוסר האפשרות המעשית להשיג הגנה הרמטית לחלוטין תחת תנאים של מתקפה רב חזיתית על ישראל. עם זאת, יכולתה של ישראל להיכנס ללחימה עם רמה גבוהה של מוכנות תפיסית ומבצעית הוכחה כמכרעת במיתון ההתקפות עליה ואיפשרה הסתגלות מהירה תחת אש ושמירה על שגרה בחלקים נרחבים מהארץ לאורך רוב המלחמה.

מסלולים מתכנסים

הניגודיות בין המקרה האוקראיני והישראלי-אוקראינה וישראל מדגיש את מרכזיותן של האינטגרציה בין שכבות ההגנה ביצירת אפקטיביות ההגנתית. היא גם מראה שאינטגרציה פועלת בתוך תנאי מסגרת ברורים: בזירות ממושכות עם ערבויות סיוע מוגבלות ואילוצים תעשייתיים, כמו אוקראינה, חדשנות בזמן מלחמה יכולה לפצות חלקית בלבד על תת-מוכנות טרום-מלחמתית אך אינה יכולה לקזז לחלוטין את יכולת התקיפה של היריב. במדינות קטנות וצפופות אוכלוסין עם בסיס טכנולוגי חזק ותעשייה ביטחונית-צבאית איתנה, כמו ישראל, אינטרציה טרום-מלחמתית של רבדים התקפיים, אקטיביים ופסיביים מניבה יתרונות משמעותיים אך עדיין אינה יכולה לספק הגנה הרמטית. בשני ההקשרים, המסגרת התלת-שכבתית מסייעת להסביר מדוע דפוסים דומים של כפייה אווירית יכולים לייצר דפוסים שונים של נזק, עקירת אוכלוסייה ורציפות תפקודית תחת אש.

ההסתגלות "תוך כדי לחימה" של אוקראינה מראה שמדינה יכולה ללמוד ולהתפתח תחת תנאים קיצוניים, אך במחיר של חשיפה אזורית מתמשכת ושחיקה תשתיתית. המקרה הישראלי מדגים כי אינטגרציה מוקדמת של רבדים התקפיים, אקטיביים ופסיביים מעניקה יתרון מבני, המאפשר למגן ייתרון משמעותי. שני המקרים חושפים כי פער ברובד אחד מטיל לחץ ועומס לא פרופורציונלי על האחרים: יכולת הגנה התקפית מוגבלת, תגביר את הלחץ על היירוט והחוסן האזורי, בעוד ליקויים בהגנה הפסיבית, שוחקים את היתרונות של יירוט מתקדם ומכות מנע.

ממצאי מחקר זה מצביעים על כך שהגנה הולמת מפני כפייה אווירית מושגת בצורה הטובה ביותר באמצעות גישה אינטגרטיבית המשלבת אמצעים התקפיים, אקטיביים ופסיביים בתוך מערכת קוהרנטית המחזקת את עצמה. שלושת הרבדים מתפקדים כשכבות המייצרים ארכיטקטורת הגנה מאוחדת: הגנה התקפית שואפת לדכא את יכולת התקיפה של היריב; הגנה אקטיבית מסננת ומנטרלת את החימושים שלא סוכלו; והגנה פסיבית מצמצמת נזק, מקיימת רציפות ומבססת את העמידות החברתית. אינטגרציה על פני רבדים אלו מפחיתה את הסיכון המצטבר, משפרת את ההגנה ומחזקת את הרציפות התפקודית והעמידות בעורף.

התאמת הגנה טוטאלית לתמורות בכוח האוויר

המלחמות באוקראינה ובישראל מצביעות על כך שכפייה אווירית מתמשכת הופיעה כמנגנון מרכזי שדרכו מתערער החוסן הלאומי. מערכה הכוללת שימוש נרחב בכטב"מים וטילים יוצרות לחץ ועומס רציף ומצטבר על מוסדות המדינה, מערכות ההגנה האזורית והלכידות הסוציו-פוליטית, בשני המקרים, העורף הפך לזירת הקרב העיקרית, ויכולת המדינה לשמור על רציפות תפקודית תחת מתקפה אווירית מתמדת הוכחה כמכרעת לחוסן בזמן מלחמה. לצד אלו, מתקיימים גם מבצעי סייבר, מבצעים היברידיים וקוגניטיביים המהווים כמכפילי כוח ללחץ של המערכה האווירית..

כנגזרת מכך, הדבר עשוי להצביע על הצורך לבחון מחדש את מושג ההגנה הטוטאלית באופן המציב את הממד האווירי בליבה המושגית. הגנה טוטאלית לא יכולה עוד להיות מוגדרת בעיקר כגיוס האוכלוסייה והכוחות המזוינים בציפייה לפלישה טריטוריאלית או למערכה תודעתית רחבה. יש לבחון אותה גם דרך הזווית ההגנתית, במקרה זה כארכיטקטורת הגנה משולבת ורב-שכבתית שנועדה לספוג ולעמוד בפני מתקפות אוויריות מתמשכות, בהיקף נרחב ופיזור גיאוגרפי. בפועל, אנו כבר רואים ביטויים לכך. ההתרחבות המתמשכת של מערכות הגנה אווירית אקטיביות, מודרניזציה של מקלטים ומערכות התרעה מוקדמת, ותכנון רציפות תפקוד ממשלתית בשוודיה, פינלנד, המדינות הבלטיות וגרמניה משקפת את המיסוד הראשוני של תמורה זו, גם אם ההשלכות הדוקטרינריות נותרות מנוסחות חלקית בלבד בשלב זה.

עם זאת, הטיעון שהצגנו במחקר זה דורש תיקוף ובחינה רחבה יותר, ואין בכוונתו לטעון להכללה של המקרים הללו על כלל סוגי הקונפליקטים המתרחשים או שעשויים להתרחש בשנים הקרובות, בעוד ואנו מצביעים על מרכזיות המרחב והאיום האווירי כגורם שיש להתמודד מולו דרך אינטגרציה רחבה של מגננוני הגנה, רצוי להרחיב את הניתוח שנעשה כאן גם למקרים אחרים ולבחון כיצד מדינות, כדוגמת טאיוואן, דרום קוריאה, פינלנד ואסטוניה, מדינות שחוות פוטנציאל איומים דומה למקרי הבוחן שלנו, נערכות למלחמות העתיד. זה יאפשר הערכה סיסטמטית להבין האם הביסוס של הגנה טוטאלית סביב המרחב האווירי הוא אכן סוגיה רחבה וגלובלית או שמדובר בסוגיה נקודתית למול איום נקודתי ועכשוי.

תודות

אנו מבקשים להודות לד"ר אסף היר, מנהל המחקר במרכז אלרום לחקר מדיניות ואסטרטגיית אוויר וחלל, על הנחייתו ומשובו יקרי הערך. אנו מביעים גם את הערכתנו למרואיינים שלנו באוקראינה ובישראל, שרובם נותרו בעילום שם, על שהסכימו בנדיבות לחלוק את זמנם ותובנותיהם על דינמיקות הגנה בזמן מלחמה. אנו מודים לעמיתים וקולגות על הערותיהם והצעותיהם, במיוחד למר דניאל ראקוב. לבסוף, ברצוננו להביע את תודתנו הכנה לאור אמני, עוזר מחקר באלרום, על תמיכתו המחקרית המצוינת וסיועו לאורך הכנת הפרסום מאמר זה ולכרמל זיסמן פלג על הסיוע בעיצוב והכנת הגרפים.

מקורות

ברון, א' (2022). מעליונות אווירית למהלומה רב-ממדית: השימוש בכוח האווירי ומקומו בתפיסת המלחמה הכוללת של ישראל. (מזכר 219). INSS. https://www.inss.org.il/he/wp-content/uploads/sites/2/2022/01/Memo219_AerialPower_e.pdf
גולדברג, ד' (2024, 14 באוקטובר). התרגיל של חיזבאללה, הקשר שאבד והיירוט שכשל | תחקיר אטון
הכתב"ס. JDN. <https://www.jdn.co.il/news/2284447>
זיתון, י' (2023, 9 בנובמבר). כ-10 אלף רקטות שוגרו מפרוץ המלחמה: המתקפה ב-7 באוקטובר – הגדולה
מקום המדינה. Ynet. <https://www.ynet.co.il/news/article/b1j9rp9qt>

- זיתון, י' (2024, 30 באוגוסט). 10 כטב"מים ו-35 רקטות במטח משולב | כך ניסה חיזבאללה להכריע את כיפת ברזל. Ynet. <https://www.ynet.co.il/news/article/yokra14057755>
- זיתון, י' (2025, 16 ביוני). מסעות הציד של ה"זיק" בשמי טהרן | כך פועלים הכטב"מים המחסלים. Ynet. <https://www.ynet.co.il/news/article/yokra14408610>
- זיתון, י', בן ארי, ל', אייכנר, א', אל-חי, ל', וקראוס, י' (2024, 25 באוגוסט). התוכנית: שיגור מאות רקטות, לצד כטב"מים | צה"ל: סוכלה רוב המתקפה, אף בסיס לא נפגע. Ynet. <https://www.ynet.co.il/news/article/sjl4hwo0>
- חוק ההתגוננות האזרחית, תשי"א-1951. <https://www.oref.org.il/media/3x2huqvl/%D7%97%D7%95%D7%A7-%D7%94%D7%92%D7%90.pdf>
- קובוביץ, י' (2024, 20 ביוני). איום הכטב"מים של חיזבאללה גובר, ובצה"ל מחפשים פתרון יעיל. הארץ. <https://www.haaretz.co.il/news/politics/2024-06-20/ty-article/.premium/00000190-369e-d700-a7f0-bffe957d0000>
- רינגל, ש' (2024, 4 באוגוסט). ההתרעות החדשות של פיקוד העורף שישתלטו לכם על מסך הסלולרי. N12. <https://www.mako.co.il/news-money/tech12/Article-6a6223795ad1191027.htm>
- רן, ה' & יגנה י' (2025, 18 במארס). ערי המרכז פותחות מקלטים: "כבר חווינו מטחים בעבר, עדיף להיות מוכנים מראש". וואלה. <https://news.walla.co.il/item/3735265>
- Adams, P. (2025, July 10). Russia's intensifying drone war is spreading fear and eroding Ukrainian morale. BBC. <https://www.bbc.com/news/articles/c0m8gn7grn2o>
- Alman, D., & Venable, H. (2020, September 15). Bending the principle of mass: Why that approach no longer works for airpower. *War on the Rocks*. <https://warontherocks.com/2020/09/bending-the-principle-of-mass-why-that-approach-no-longer-works-for-airpower/>
- Ångström, J., & Ljungkvist, K. (2023). Unpacking the varying strategic logics of total defence. *Journal of Strategic Studies*, 47(4), 498–522. <https://doi.org/10.1080/01402390.2023.2260958>
- Antebi, L., & Adar, O. (2024). *FPV drones: From the Ukrainian battlefield to the Middle East* (INSS Insight No. 1825). INSS. <https://www.inss.org.il/wp-content/uploads/2024/02/No.-1825-1.pdf>
- Antebi, L. & Yanko-Avikasis, M. (2023). *Life and Death in the Hands of the Drone: The Small, Cheap Devices Early in the Swords of Iron War* (INSS Insight No. 1772). INSS. <https://www.inss.org.il/wp-content/uploads/2023/10/No.-1772.pdf>
- As drone warfare expands in Africa, Turkey increases share of the market. (2025, February 11). ADF. <https://adf-magazine.com/2025/02/as-drone-warfare-expands-in-africa-turkey-increases-share-of-the-market/>
- Arkin, D. (2025, February 24). *Ukraine develops civilian alert system for missiles and drones*. Israel Defense. <https://www.israeldefense.co.il/en/node/64454>
- Atalan, Y., Tiersten-Nyman, E., & Jensen, B. (2025, November 14). *Russia's intense air campaign in October*. Center for Strategic and International Studies. <https://www.csis.org/analysis/russias-intense-air-campaign-october>
- Atalan, Y., & Jensen, B. (2025). *Breaking down Russian missile salvos: What drives neutralization?* CSIS. <https://www.csis.org/analysis/breaking-down-russian-missile-salvos-what-drives-neutralization>
- Bales, M., & Mutschler, M. (2025). A new autocratic way of war? Autocracy, precision strike warfare and civilian victimization. *Defence Studies*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/14702436.2025.2522052>
- BICOM. (2019, October). *Hezbollah's precision missile project* [Briefing]. <https://www.bicom.org.uk/wp-content/uploads/2024/12/Precision-Project-Paper-Oct-2019-1.pdf>
- Bērziņa, I. (2020). From 'total' to 'comprehensive' national defence: The development of the concept in Europe. *Journal on Baltic Security*, 6(2), 1-9, <https://journalonbalticsecurity.com/journal/JOBS/article/2/text>

- Bērziņš, J. (2023). Latvia: From total defence to comprehensive defence. *PRISM*, 10(2), 38–53, https://ndupress.ndu.edu/Portals/68/Documents/prism/prism_10-2/prism_10-2.pdf
- Bronk, J., Reynolds, N., & Watling, J. (2022). The Russian Air War and Ukrainian Requirements for Air Defence. *Royal United Services Institute*. <https://doi.org/10.1515/sirius-2023-1013>
- Bureau of Political-Military Affairs. (2025, April 25). *U.S. security cooperation with Israel* [Fact sheet]. U.S. Department of State. <https://www.state.gov/u-s-security-cooperation-with-israel>
- Chang, A., & Granados, S. (2025, June 16). How missile defense works (and why it fails). *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/interactive/2024/11/02/world/middleeast/missile-defense-israel-iran.html>
- Collett-White, M., Dutta, P. K., & Zafra, M. (2025, June 4). How Ukraine pulled off an audacious attack deep inside Russia: Months of planning went into a covert operation that relied on cheap, short-range drones. *Reuters*. <https://www.reuters.com/graphics/UKRAINE-CRISIS/DRONES-RUSSIA/mypmjzayyv/>
- Cronin, A. K. (2019). *Power to the people: How open technological innovation is arming tomorrow's terrorists*. Oxford University Press.
- Daly, J. (2025, April 24). The most lethal missiles Russia uses against Ukraine's civilians. *United24 Media*. <https://united24media.com/war-in-ukraine/the-most-lethal-missiles-russia-uses-against-ukraines-civilians-7794>
- David's Sling vs. SAMP/T air and missile defense systems comparison. (2025, March 18). *Norsk Luftvern*. <https://norskluftvern.com/2025/03/18/davids-sling-vs-samp-t-air-and-missile-defense-systems-comparison/>
- Dmytriieva, D. (2024, November 21). Russia launches intercontinental ballistic missile, Kinzhal and Kh-101 at Ukraine in the morning. *RBC-Ukraine*. <https://newsukraine.rbc.ua/news/russia-launches-kinzhal-and-kh-101s-at-ukraine-1732177685.html>
- Elran, M., Mizrahi, O., Heimann, A., & Shapira, A. (2024, July 7). *How would a full-scale war with Hezbollah affect the resilience of Israel's civilian front?* (INSS Insight No. 1872). INSS. <https://www.inss.org.il/wp-content/uploads/2024/07/No.-1872.pdf>
- Epstein, J. (2025, May 25). Russia's attack drones are flying higher and faster. A Ukrainian air defender says old machine guns aren't enough to kill them anymore. *Business Insider*. <https://www.businessinsider.com/ukrainian-air-defender-guns-arent-enough-kill-russian-drones-anymore-2025-5>
- Fabian, E. (2024, June 10). Over 19,000 rockets fired into Israel since start of war, IDF says. *The Times of Israel*. https://www.timesofisrael.com/liveblog_entry/over-19000-rockets-fired-into-israel-since-start-of-war-idf-says/
- Fainberg, S., & Matania, E. (2025). Ad Hoc or Enduring? A Dynamic Taxonomy of Strategic Partnerships in the Middle East and North Africa. *Aerospace & Defense: Journal of the Elrom Center for Air and Space Studies at Tel Aviv University*, 2, 65-94. <https://www.researchgate.net/publication/397653129>
- FDD. (2024, August 25). *Israel hits strategic Hezbollah launchers preemptively* [Flash brief]. <https://www.fdd.org/analysis/2024/08/25/israel-hits-strategic-hezbollah-launchers-preemptively/>
- Fisher, J. (2024, October 14). Drone attack on Israel puts spotlight on Iron Dome's limitations. *BBC*. <https://www.bbc.com/news/articles/c4g9wx2q09ko>
- Foreign Policy Council "Ukrainian Prism." (2025). *Blue and Yellow Annex: To the White Paper on the future of European defence*. https://prismua.org/wp-content/uploads/2025/04/Blue_and_yellow_annex_on_defense.pdf

- Gilead, A. (2025, June 19). Can Israel handle all of Iran's ballistic missiles? *Globes*. <https://en.globes.co.il/en/article-can-israel-handle-all-of-irans-ballistic-missiles-1001513313>
- Government of the Republic of Estonia. (2023, February 22). *National security concept of Estonia* [Framework document]. https://www.kaitseministeerium.ee/sites/default/files/eesti_julgeolekupoliitika_alused_eng_22.02.2023.pdf
- Government Offices of Sweden. (2024, July). *National security strategy*. https://www.government.se/contentassets/dee95d002683482eba019df49db2801f/national-security-strategy_.pdf
- Hammes, T. X. (2016, October 18). The democratization of airpower: The insurgent and the drone. *War on the Rocks*. <https://warontherocks.com/2016/10/the-democratization-of-airpower-the-insurgent-and-the-drone/>
- Harding, L. (2025, August 13). 'It's a robot war': Eastern Ukraine faces onslaught of Russian glide bombs, rockets and kamikaze drones. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/world/2025/aug/13/eastern-ukraine-russian-glide-bombs-rockets-kamikaze-drones>
- Healey, J. (2024). *Cyber effects in warfare: Categorizing the where, what, and why*. *Texas National Security Review*, 7(4), 37–50. <https://doi.org/10.26153/tsw/56029>.
- Hecht, E., & Shabtai, S. (Eds.). (2023). *The war in Ukraine: 16 perspectives, 9 key insights*. BESA Center. <https://besacenter.org/wp-content/uploads/2023/08/201-4.pdf>
- Hinz, F. (2025). Israel's attack and the limits of Iran's missile strategy. *IISS*. <https://www.iiss.org/online-analysis/online-analysis/2025/06/israels-attack-and-the-limits-of-irans-missile-strategy/>
- Hoehn, J. & Courtney, W. (2024). *How Ukraine Can Defeat Russian Glide Bombs*. RAND Corporation. <https://www.rand.org/pubs/commentary/2024/06/how-ukraine-can-defeat-russian-glide-bombs.html>
- Hollenbeck, N., Altaf, M. H., Avila, F., Ramirez, J., Sharma, A., & Jensen, B. (2025). *Calculating the cost-effectiveness of Russia's drone strikes*. CSIS. <https://www.csis.org/analysis/calculating-cost-effectiveness-russias-drone-strikes>
- Horowitz, M. C., & Reiter, D. (2001). When does aerial bombing work? Quantitative empirical tests, 1917–1999. *Journal of Conflict Resolution*, 45(2), 147–173. <https://doi.org/10.1177/0022002701045002001>
- Hubbard, B., Karasz, P., & Reed, S. (2019, September 14). Two major Saudi oil installations hit by drone strike, and U.S. blames Iran. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2019/09/14/world/middleeast/saudi-arabia-refineries-drone-attack.html>
- Hundreds of Iranian drones intercepted 'around the clock' by IAF during Op. Rising Lion. (2025, June 25). *The Jerusalem Post*. <https://www.jpost.com/israel-news/defense-news/article-859015>
- IAI. (n.d.). *From ambitious concepts to groundbreaking air and missile defense systems*. Israel Aerospace Industries. <https://www.iai.co.il/news-media/iai-action/ambitious-concepts-groundbreaking-air-and-missile-defense-systems>
- Jensen, B., & Atalan, Y. (2025). *Drone saturation: Russia's Shahed campaign*. CSIS. <https://www.csis.org/analysis/drone-saturation-russias-shahed-campaign>
- Jensen, B., Atalan, Y., & Tiersten-Nyman, E. (2025). *The new salvo war: Russia's evolving punishment campaign*. CSIS. <https://www.csis.org/analysis/new-salvo-war>
- Jordan, J. W. (2024). Evolution of the concept of total defence in the Baltic States. *Rozprawy Społeczne/Social Dissertations*, 18(1), 315–344. <https://doi.org/10.29316/rs/188761>
- Kalisky, Y. (2025). *The Israel–Iran war: Air defense performance*. INSS. https://www.inss.org.il/social_media/the-israel-iran-war-air-defense-performance/
- Karlin, M. (2024, October 22). *The return of total war*. Foreign Affairs. <https://www.foreignaffairs.com/ukraine/return-total-war-karlin>

- Khoroshko, V., Artemov, V., Brailovskyi, M., & Kozura, V. (2024). Modern Network Wars. *Scientific and Practical Cyber Security Journal (SPCSJ)*, 8(3), 53-64. https://journal.scsa.ge/wp-content/uploads/2024/11/0034_modern-network-wars.pdf
- Klein, D. (2008). Defense of the home front in the Gaza periphery: Examining the national investment. *Strategic Assessment*, 10(4), 6–11. <https://www.inss.org.il/wp-content/uploads/2022/12/fe-1451416010.pdf>
- Kofman, M. (2025). Russian airpower in context: The first year of the war. In D. Henriksen & J. Bronk (Eds). *The Air War in Ukraine. First Year of Conflict* (pp. 12-30). Routledge.
- Kramarenko, D., & Vialko, D. (2024, December 20). Ballistic and cruise missiles, drones, and other weaponry: What Russia uses to attack Ukraine. *RBC-Ukraine*. <https://newsukraine.rbc.ua/analytics/ballistic-missiles-drones-and-cruise-missiles-1734721150.html>
- Kreuzer, P. (2024). *Beyond air superiority: The Growing Air Littoral and Twenty-First Century Airpower*. *Æther: A Journal of Strategic Airpower & Spacepower*, 3(3). https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ÆtherJournal/Journals/Volume-3_Number-3/Kreuzer.pdf
- Kullab, S., & Novikov, I. (2025, August 22). Russian attack on western Ukraine hits an American factory during the US-led push for peace. *AP*. <https://apnews.com/article/russia-ukraine-war-zelenskyy-putin-trump-security-92ee89feba2224f140429bcb573e61f9>
- Kunertova, D. (2025). *Embracing drone diversity: Five challenges to Western military adaptation in drone warfare* (Paper No. 29). Freeman Air & Space Institute. <https://www.kcl.ac.uk/warstudies/assets/paper-29-dr-dominika-kunertova.pdf>
- Lifshitz, I., & Meents, A. (2020, November 17). The paradox of precision: Nonstate actors and precision-guided weapons. *War on the Rocks*. <https://warontherocks.com/2020/11/the-paradox-of-precision-nonstate-actors-and-precision-guided-weapons/>
- Ljungkvist, K. (2025, August 13). *Participatory war and its challenges for total defense*. Carnegie Endowment for International Peace. <https://carnegieendowment.org/research/2025/08/participatory-war-and-its-challenges-for-total-defense?lang=en>
- Mahnken, T. G. (2011). Weapons: The growth & spread of the precision-strike regime. *Daedalus*, 140(3), 45-57. <https://www.jstor.org/stable/23047347>
- Maurer, J. D. (2023). The future of precision-strike warfare: Strategic dynamics of mature military revolutions. *Naval War College Review*, 76(2), 13-38. <https://digital-commons.usnwc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8342&context=nwc-review>
- Matlack, J. W., Schwartz, S., & Gill, O. (2025, April). *Ukraine's drone ecosystem and the defence of Europe: Lessons lost can't be learned* (Research Report). LSE IDEAS. <https://www.lse.ac.uk/ideas/Assets/Documents/Research-Reports/2025-04-05-DRONES-MatlackSchwartzGill-FINAL-WEB.pdf>
- McCurry, J. (2025, April 25). From ammunition to ballistic missiles: How North Korea arms Russia in the Ukraine war. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/world/2025/apr/25/how-north-korea-arms-russia-in-ukraine-war>
- McKernan, B. (2024, June 12). Hezbollah fires big salvo of rockets at Israel after senior commander killed. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/world/article/2024/jun/12/hezbollah-fires-big-salvo-rockets-israel-senior-commander-killed>
- Michael, K. (2022). Rocket fire into the heart of the country: Another component of Hamas's new strategy. *INSS*. https://www.inss.org.il/social_media/rocket-fire-into-the-heart-of-the-country-another-component-of-hamass-new-strategy/

- Miroshnichenko, K. (2025). *Wartime Ukraine Defence Innovation Ecosystem Formation through Drone Technologies* [Master's thesis, University of Gothenburg, Sweden]. <https://gupea.ub.gu.se/bitstream/handle/2077/89195/IIM%202025-32.pdf?sequence=1>
- Molloy, O. (2024, August 1). How are drones changing modern warfare? Lessons learnt from the war in Ukraine. *Australian Army Research Centre*. <https://researchcentre.army.gov.au/library/land-power-forum/how-are-drones-changing-modern-warfare>
- National Emergency Portal. (n.d.). *Iron Swords War*. <https://www.oref.org.il/eng>
- Nicolle, D., & Ali Gabr, G. (2024). *Air Power and the Arab World, 1909-1955*. Casemate Group. <https://www.torrossa.com/it/resources/an/5870036>
- Pape, R. A. (1996). *Bombing to win: Air power and coercion in war*. Cornell University Press.
- Plichta, M. (2025). Precise mass in action: Assessing Ukraine's one-way attack drone campaign. *The RUSI Journal*, 170(4), 42-48. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03071847.2025.2527923>
- Podestà, A. (2024). The concepts of mass and surprise in future air wars. *Æther: A Journal of Strategic Airpower & Spacepower*, 3(4), 41-55. <https://www.jstor.org/stable/48809075>
- Rakov, D., & Fainberg, S. (2023). *The Growing Impact of the Civilian Population on the Modern Battlefield: A Glimpse into the Russia-Ukraine War* (Research Report 0123E). ELROM Center for Air & Space Studies, Tel Aviv University / ELNET, <https://elnetwork.eu/policypaper/the-growing-impact-of-the-civilian-population-on-the-modern-battlefield-a-glimpse-into-the-russia-ukraine-war/>
- Rakov, D., & Fainberg, S.M. (2025). Civilian resistance as a cornerstone of national resilience: Insights from Ukraine and Israel. *Mūsų žinynas: karo mokslo, karinio rengimo ir ugdymo žurnalas*, 40(2), 5-32. <https://journals.lka.lt/journal/mz/article/2250/info>
- Russian drone strike on Odesa injures four and causes power outages. (2025, March 4). *Euronews*. <https://www.euronews.com/my-europe/2025/03/04/ukraine-says-four-injured-as-russian-strikes-hit-odesa-overnight>
- Sabbagh, D. (2025, July 11). The Shahed blitz: Can Russian drone onslaught break Ukraine's resolve? *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/world/2025/jul/25/russia-record-attacks-ukraine-struggles-defend-itself>
- Santora, M. (2025, March 7). Russia hits Ukrainian power and gas facilities in widespread attack. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2025/03/07/world/europe/ukraine-russia-attack.html>
- Sauer, P. (2025, August 27). Frustrated Russians grapple with fuel crisis as Ukraine attacks oil refineries. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/world/2025/aug/27/frustrated-russians-grapple-with-fuel-crisis-as-ukraine-attacks-oil-refineries>
- Saunders, R., & Souva, M. (2020). Air superiority and battlefield victory. *Research & Politics*, 7(4). <https://doi.org/10.1177/2053168020972816>
- Schütz, T., Mölling, C., & Stanley-Lockman, Z. (2019). *A new dimension of air-based threats: Germany, the EU, and NATO need new political initiatives and military defense systems* [Policy brief]. DGAP. <https://dgap.org/en/research/publications/new-dimension-air-based-threats>
- Shiferman, Y. (2023). The Russian Air Force in the war- Issues for review. In E. Hecht & S. Shabtai (Eds.), *The War in Ukraine: 16 Perspectives, 9 Key Insights* (pp. 39-50). BESA Center. <https://besacenter.org/wp-content/uploads/2023/08/201-4.pdf>
- Simmill, K. (2025). Air defence insights from the Ukraine-Russia conflict. *Contemporary Issues in Air and Space Power*, 3(1). <https://doi.org/10.58930/bp51798635>
- Singer, M. (2016). *The new threat of very accurate missiles* (Perspectives Paper No. 356). BESA Center. <https://besacenter.org/new-threat-accurate-missiles/>

- Shaishmelashvili, G. (2023, August 2). *Total defense: The strategy on how to defeat strong* [Policy Paper]. PMC Research Center. <https://pmcg-i.com/publication/total-defense-the-strategy-on-how-to-defeat-strong/>
- Slusher, M. N. (2025). *Lessons from the Ukraine conflict: Modern warfare in the age of autonomy, information, and resilience*. CSIS. https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/2025-05/250501_Slusher_Ukraine_Conflict.pdf?VersionId=01UUwSkCxsWGAU5vOtwYQHmtq3F1.XKM
- Solutions to win: Iron Shelter website debuts in Ukraine, providing vital information on shelter conditions. (2023, October 21). *Rubryka*. <https://rubryka.com/en/2023/10/21/v-ukrayini-zapustyly-portal-zalizne-ukrytya/>
- State Comptroller. (2021). *Annual report 70C*. Office of the State Comptroller and Ombudsman. <https://library.mevaker.gov.il/sites/DigitalLibrary/Documents/2020/70c/2020-70c-TAKTZIRIM-EN.pdf>
- Stewart, R. (2025, May 22). The shifting battlefield: Technology, tactics, and the risk of blurring lines in warfare. *Humanitarian Law & Policy*. <https://blogs.icrc.org/law-and-policy/2025/05/22/the-shifting-battlefield-technology-tactics-and-the-risk-of-blurring-lines-of-warfare>
- UK Parliament, House of Commons Library. (2024, July 25). *Israel–Iran April 2024: UK and international response (Research Briefing No. 10002)*. <https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/CBP-10002/CBP-10002.pdf>
- Ukraine strikes Russia with missiles and drones in one of largest air attacks. (2025, January 14). *Reuters*. <https://www.reuters.com/world/europe/ukraine-strikes-russia-with-massive-drone-attacks-attack-russian-telegram-2025-01-14/>
- Ukraine residents sheltering in subway stations, basements and purpose-built bunkers as Russia invades. (2022, February 25). *ABC News*. <https://www.abc.net.au/news/2022-02-25/ukraine-schools-and-subways-become-bomb-shelters-and-gun-ranges/100860338>
- Vogt, K., & Haider, A. (2024, August). Challenged air superiority: Adapting to the drone and missile age. Joint Air & Space Power Conference 2024, <https://www.japcc.org/essays/challenged-air-superiority/>
- Yan, O. (2025, March 11). Mexican cartel attacks competitors with drones. *Militarnyi*. <https://militarnyi.com/en/news/mexican-cartel-attacks-competitors-with-drones/>

נספחים

נספח 1: רשימת ראיונות

1. ראיון עם שני קציני צבא בכירים המעורבים בלוחמת כטב"מים, קייב, אוגוסט 2023.
2. ראיון עם קצין מטה לשעבר, הכוחות המזוינים של אוקראינה, קייב, אוגוסט 2023.
3. ראיון עם צוות מכון המחקר ANTS (עמותה אוקראינית המקדמת יוזמות הגנה לאומית ושיקום לאחר מלחמה באמצעות סנגור, רשתות מומחים והעצמת נוער), קייב, אוגוסט 2023.
4. ראיון עם יוסף זיסלס, ראש ה"וועד" של אוקראינה (ארגון יהודי), קייב, אוגוסט 2023.
5. ראיון עם לאוניד פינברג, מנהל "רוח ואות" (Duh i Litera) (הוצאה לאור אקדמית), קייב, אוגוסט 2023.
6. ראיון עם דמיטרו איבנוב, מנכ"ל דוברובט (Dobrobat) (העמותה האוקראינית העיקרית המעורבת בשיקום מהשטח), קייב, אוגוסט 2023.
7. ראיון עם מיכאלו בריז'קו, מנהל אזורי של דוברובט, קייב, אוגוסט 2023.
8. ראיון עם אולכסנדרה רובינה, לשעבר מנהלת פרויקטים, המשרד לטרנספורמציה דיגיטלית של אוקראינה, באמצעות זום, ה-5 באוגוסט 2025.
9. ראיון עם קצין פיקוד העורף בדרג ביניים, תל אביב, ה-15 באוקטובר 2025.
10. ראיון עם דיפלומט אוקראיני בכיר, באמצעות זום, ה-3 ביולי 2025.
11. ראיון עם שני בכירים לשעבר בחיל האוויר, ישראל, יולי 2025.

נספח 2: הסתגלות ההגנה האווירית האוקראינית לתקיפות הרוסיות

שלב	אסטרטגיית ההתקפה האווירית הרוסית	מענה ההגנה האווירית האוקראינית	תוצאות עיקריות ואילוצים
1 – מתקפת פתע (24 בפברואר 2022)	רוסיה שיגרה מטחים מרוכזים נגד בסיסי פיקוד ושליטה אוויריים ומרכזי תקשורת כדי ליצור אפקט של "הלם ומורא".	הגנה אווירית קרקעית (GBAD) רב-שכבתית מורשת-סובייטית: • טווח קצר: טילי כתף נגד מטוסים (MANPADS), נ"מ קני (SA-3, Osa-AKM), (8B). • טווח בינוני: Buk-M1 (SA-11). • טווח ארוך: גרסאות S-300 (S-300PS, S-300V1, S-300PT-1). • משלים: רשת מכ"ם להתרעה מוקדמת, מיירטי מיג-29 וסוחוי-27 (עם מודרניזציה חלקית).	מערכות הגנה אווירית קרקעית חופפות לטווח קצר וארוך מנעו מרוסיה השגת עליונות אווירית מהירה, וסיכלו תוכניות למערכה בסגנון "קרים 2.0". טילי כתף נגד מטוסים (MANPADS) מילאו תפקיד משמעותי בשמירה על המרחב האווירי כסביבה אסורה הדרת (mutually denied), מה שהפך את השימוש במסוקים ובכלי טיס נמוכי-טוס קדמית לקו הכוחות לבלתי משתלם עבור הרוסים. ארכיטקטורת ההגנה האווירית האוקראינית נותרה סטטית, עתירת משאבים, ולא תוכננה לתקיפות רב-ממדיות ממושכות.
2 – הפעצה לניצחון (קיץ-סתיו 2022)	תקיפות מדויקות על התעשייה הביטחונית, מרכזים לוגיסטיים ותקשורת ממשלית. בקיץ ובסתיו 2022, הכנסת כטב"מ שאהד-131/136 איראניים, ששימשו בנחילים מבלארוס ומטריטוריות כבושות בידי רוסיה, הוסיפה וקטור בעלות נמוכה ובלחץ גבוה להדרוויית ההגנות המתוחות ממילא של אוקראינה ולפגיעה ברשת האנרגיה ובמרכזים עירוניים.	פריסות GBAD ניידות ומבוזרות לקיום חוסן. דלדול חמור של מיירטים. היעדר יכולת ייצור מקומית לתחליפים בזמן. הופעת חדשנות בהובלה אזרחית , במיוחד בלוחמת כטב"מים ונגד-כטב"מים. הקמת יוזמת "Drone Line" ופרויקט ה-"Sky Sentinel".	רשת החשמל נפגעה קשות, תשתיות פיקוד וייצור הותקפו. הגנות מסורתיות מבוססות-מכ"ם התקשו מול שאהדים בטיסה נמוכה. מלאי המיירטים של אוקראינה דולדל באופן חמור, ולא הייתה יכולת מקומית לייצר תחליפים יעילים ובזמן.

⁹ נכסי הטק"א העיקריים של אוקראינה, כגון ה-NPO Almaz S-300 (RS-SA-10 Grumble) לטווח ארוך וה-NIIP Tikhomirov 9K37 Buk (RS-SA-11 Gadfly) לטווח בינוני נפרסו כדי ליירט טילי שיט לתקיפה קרקעית רוסיים כמו ה-Kh-101 (RS-AS-23A Kodiak) המשוגר מהאוויר, ה-3M14 Kalibr (RS-SS-N-30A Sagaris) המשוגר מהים, וטילים בליסטיים לטווח קצר כמו ה-Iskander-M (RS-SS-26 Stone) וה-Tochka-U (RS-SS-21B Scarab).

שלב	אסטרטגיית ההתקפה האווירית הרוסית	מענה ההגנה האווירית האוקראינית	תוצאות עיקריות ואילוצים
3.12 – ענישה שוחקת [2023-2025]	החל מסוף 2023 ותחילת 2024: מעבר למטחי כטב"מים וטילים מסיביים. החל מאוגוסט 2024: אינטגרציה מוגברת ומתמשכת של טילי שיוט עם נחילי שאהר, המקושרת למתקפות הנגד האוקראיניות בקורסק ואבני דרך דיפלומטיות. מאז אמצע 2024, ממוצע של מעל 1,000 תקיפות טילים וכטב"מים בחודש, עם מעבר למעל 2,400 מאז ספטמבר 2024. 2025: עצימות מוגברת של תקיפות, עם מספרים חודשיים המתקרבים ל-3,000.	זרימת מערכות מערביות • טווח קצר, בינוני וארוך: גפרד (Gepard): מערכת נ"מ מתנייעת גרמנית שנמסרה בתחילה בספטמבר 2023. Zu-23-2: נמסרה בתחילה לכוחות אוקראינים החל מינואר 2024. טילי MBDA ASRAAM בריטיים מותאמים המותקנים על רכבי Supacat HMT 600 ("Raven"): נפרסו לראשונה ב־2022. Gravehawk: אלתור טילי R-73 לשיגור ממכולת משלוח סטנדרטית; 2 אבות טיפוס נמסרו בספטמבר 2024, עם משלוחים סטנדרטיים ב־2025. מערכת נ"מ OSA משודרגת עם טילי R-73. מסירת מערכות S-200 של פולין ביוני 2024. מעורבות השחקן האזרחי Come Back Alive Foundation במודרניזציה של מערכות הגנה אווירית קיימות בדצמבר 2024. • מערכות מתקדמות: פריסת סוללות פטריוט מתוצרת ארה"ב (6 עד אמצע 2025: 2 ארה"ב, 2 גרמניה, 1 משותפת גרמניה/הולנד, 1 רומניה; מערכת חלקית מהולנד). • אינטגרציה: ריבוד הדרגתי של פלטפורמות מערביות עם נכסים סובייטיים ששרדו.	מערכות הפטריוט שיפרו משמעותית את ההגנה על קייב, אודסה, דניפרו ומטרות ערכיות. עם זאת, הכיסוי נותר מתחת לדרישת המינימום של אוקראינה (10-25 מערכות). פטריוטים הוגבלו על ידי עלות, זמינות מוגבלת ודרישות לוגיסטיות. הסתמכותה של אוקראינה על שרשראות אספקה מארה"ב/אירופה הציגה פגיעות מבנית; עיכובים פוליטיים בווינגטון/בריטל האטו את חידוש המלאי. הודגמה מחויבות נאט"ו אך הודגשה האסימטריה בין צרכי אוקראינה להגנה כלל-ארצית לבין היעדר פתרונות מקיפים ובני-קיימא של הברית.

מקור: מרכז אלרום לחקר מדיניות ואסטרטגיית אוויר וחלל.