



המכון לחקר התחבורה



סקירת ספרות מערכות ATC ומודלי בטיחות בתעופה וסיכון תאונות

עוזי פרוינד-פיינשטיין

שלמה בכור

26-02-2012

1

מבנה המצגת

- הקדמה
- מוטיבציה לביצוע סקירת הספרות
- מערכי בקרה אווירית באירופה וארצות-הברית – מצב קיים ויצירת שינויים עתידיים
- מערכת הבקרה הישראלית – מגבלות ובעייתיות
- מודלי בטיחות בתעופה וסיכון תאונות
- סקירת ספרות מערכי בקרה וניהול המרחב האווירי
- סקירת הספרות מודלי בטיחות תעופה וסיכון תאונות
- המלצות למחקרי המשך וסיכום



26 בפברואר 2012

2



הקדמה

- תעשיית התחבורה האווירית מתמודדת עם גידול משמעותי ארוך טווח בהיקף הנוסעים והמטענים
- **מצב קיים:** גודש חמור בנתיבי אוויר ושדות תעופה, שינויים גיאו-פוליטיים, לחצי התייעלות (תחרות, עלויות דלק), אילוצים סביבתיים.
- **מענה למצב קיים:** חקיקת SES ויוזמת SESAR (אירופה); פרויקט NextGen (ארה"ב).
- **יישום צפוי:** 2014-2020 (SESAR); 2012-2025 (NextGen)

הקדמה

- טווח נרחב של טכנולוגיות ופרוצדורות חדשות (רשימה חלקית):
 - שילוב כטב"מים במרחב האווירי הכללי
 - הגדלת המרחב האווירי המפוקח
 - שיפור יעילות זרימת התעבורה האווירית
 - הגדלת נפח התנועה במרחב האווירי באמצעות האצלת מטלת ההפרדות באוויר ובקרקע לטייסים
 - מעבר להנמכה המשכית
- הרמוניזציה של תוצרי הפרויקטים

הקדמה

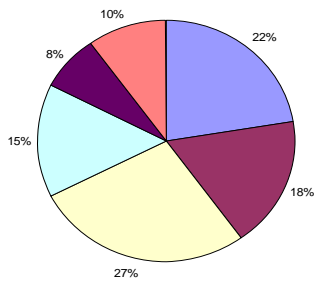
- תעשיית התחבורה האווירית מתמודדת עם הצורך להבטיח בטיחות גבוהה של המשתמשים וכלל הציבור
- למטרה זו פותחו מודלים מתמטיים וסטטיסטיים שיאפשרו להגביר את הבטיחות בתנאים שונים ולאפשר הקטנת הסיכון לתאונות
- **מצב קיים:** רמת סיכון נמוכה יחסית
- קיים סיכון להעלאת רמת הסיכון כתוצאה מגודש בנתיבי האוויר ובשדות התעופה

מוטיבציה לביצוע סקירת הספרות

- סקירת הפרוצדורות והטכנולוגיות החדשות ובחינת התאמתן למדינת ישראל בדגש על:
 - התאמה לתקינה החדשה באירופה וארה"ב
 - שיפור ניצולת וקיבולת המרחב האווירי בישראל וסיוע בשיפור המצב הקיים
- סקירת מודלי בטיחות תעופה וסיכון תאונות
 - יצירת בסיס ידע ראשוני בתחום מידול בטיחות תעופה וסיכון תאונות
 - יצירת הבסיס למחקרי המשך הכוללים שימוש במודלים קיימים ופיתוח מודלים חדשים

מערכי בקרה אווירית באירופה וארצות-הברית – מצב קיים ויצירת שינויים עתידיים

שינוי מודל עיסקי ספקי שירותי בקרה אווירית באירופה, צפון אמריקה וישראל



ללא שינוי (1) ■ אין נתונים ■ 2005-2010 □ 2000-2004 □ 1995-1999 ■ 1990-1994

- ארה"ב: רשות תעופה פדרלית (ATO) בפיקוח פדרלי (FAA)
- אירופה: 49 מרכזי בקרה אווירית בכפיפות לרשויות התעופה המדינתיות, בפיקוח רגולטור פדרלי (יורוקונטרול)
- הפרדת מערכי הבקרה האווירית (1990-2010)



26 בפברואר 2012

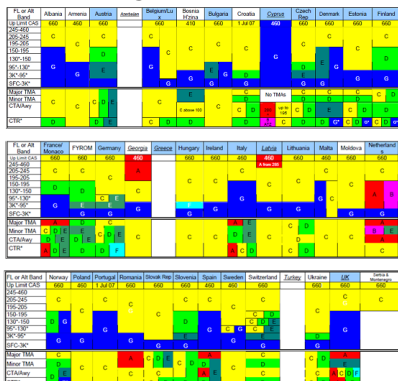
7



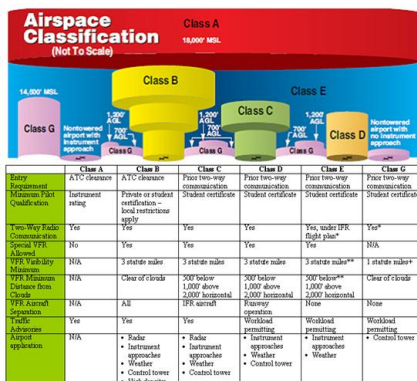
סיווג המרחב האווירי

- חוסר אחידות בסיווג המרחב האווירי

האיחוד האירופי



ארצות הברית



26 בפברואר 2012

8



מערכת הבקרה הישראלית והמרחב האווירי – מגבלות ובעייתיות

- מרחב גיאוגרפי מצומצם ועמוס פעילות צבאית ואזרחית
- סדרי עדיפות הקצאת מרחב אווירי צבא/ח"א-רש"ת, ממשקי עבודה, שיתוף פעולה צבא-רש"ת
- זיהוי כטב"מים במרחב
- מאפייני פעילות ח"א
- קרבה לשטחי רש"פ – מרחב דרום ו-TMA נתב"ג
- נתיבים מיוחדים (J-10 והסתעפויותיו)
- תשתיות שדות תעופה (נתב"ג ועובדה)

מודלי בטיחות בתעופה וסיכון תאונות

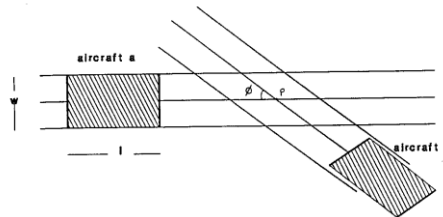
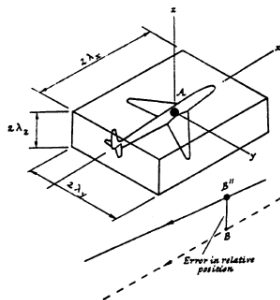
- מודלי בטיחות תעופה וסיכון תאונות פותחו בצורה הדרגתית מאז שנות ה-60' (למשל, מודל Reich)
- יעד הבטיחות של ICAO נקבע בשנות ה-70' ל-1-6 תאונות קטלניות לכל 10 מיליון שעות טיסה – נמוך מהממוצע של 10.5 תאונות קטלניות ל-10 מיליון שעות טיסה
- חשיבות שיפור רמת הבטיחות בתעופה נובעת בין היתר מכך שתאונה אווירית עשויה להוביל למוות נרחב באוויר ועל הקרקע, נזק מוחלט למטוס ופגיעה באמון המשתמשים

מודלי בטיחות בתעופה וסיכון תאונות

- מודלי בטיחות פותחו לתרחישים שונים:
 - הפרדות במהלך טיסה בנתיב (en-route separations)
 - הפרדות מעל האוקיאנוס האטלנטי (oceanic separation)
 - הפרדות מטיסות על-קוליות (supersonic separation)
 - הפרדות מכ"מ (radar separation)
 - מרווח ביטחון ממכשולים (obstacles clearances)
 - הפרדות מטוסים נוחתים האחד אחר השני (successive arrival separation)
 - הפרדות בנחיתה במקביל (parallel approach separations)
 - הפרדות במישורי הטיסה (vertical/lateral/longitudinal)
 - הפרדות מערבולות קצה כנף (wake vortex turbulence)

מודלי בטיחות בתעופה וסיכון תאונות

- מודלי סיכון תאונות כוללים:
 - מודל התיבה (Box model)
 - מודל המחלף (Intersection model)



סקירת ספרות מערכי בקרה וניהול המרחב האווירי

- סקירת הספרות התמקדה במחקרים מהתחומים הבאים:
 - יצירת גבולות הסקטורים
 - קונספטי ATM חדשים (התמזגות מטוסים, הנמכה רציפה (CDA), אוטומציה אוויר-קרקע)
 - מניעת התנגשויות והפרדות מטוסים
 - קיבולת המראות
 - שילוב כטב"מים במרחב האווירי האזרחי



סקירת ספרות מודלי בטיחות תעופה וסיכון תאונות

- סקירת הספרות התמקדה במחקרים מהתחומים הבאים:
 - סטנדרטי ההפרדה מנקודת מבט היסטורי; סיכום סטנדרטי ההפרדה שגיבשו ה-ICAO-IFR, תוך התמקדות בפעולות IFR
 - תיאור המודלים השונים שפותחו להערכת התנגשויות בין מטוסים.
 - סיכום שיטות לזיהוי ופתרון קונפליקטים



רלוונטיות תוצרי יוזמת SESAR ופרויקט NextGen לישראל

- שילוב כטב"מים במרחב האווירי
 - סוגיה משמעותית בארה"ב ובאירופה לאור התרחבות השימוש הצבאי בפלטפורמות לא מאויישות, שיפור בביצועים ודרישה לאזרוח הטכנולוגיות. נמצא בתהליכי גיבוש חקיקתיים ומבצעיים
 - **מצב קיים בישראל:** מרחב אווירי מצומצם, מובילות בינלאומית בשימוש ופיתוח ודרישות לאיזרוח הפלטפורמות
 - **רלוונטיות לישראל:** גבוהה לאור המצב הקיים, הצרכים העתידיים וכיווני הפיתוח של הטכנולוגיה
 - מוצע לבצע מחקר המשך שיעסוק בשילוב כטב"מים במרחב האווירי האזרחי



26 בפברואר 2012

15



רלוונטיות תוצרי יוזמת SESAR ופרויקט NextGen לישראל

- מניעת התנגשויות ויצירת הפרדות מטוסים
 - יעד מרכזי בשני הפרוייקטים
 - **מצב קיים בישראל:** מגבלות מוגדרות באזור ה-TWR של נתב"ג ובנתב"ג J-10. כמו-כן, פוטנציאל לחריגה מהתקנים הבינלאומיים עקב סמיכות פעילות ח"א לנתב"ג תעופה מסחרית, כללית וספורטיבית
 - מחקרים קיימים מצביעים על הפוטנציאל הטמון בטכנולוגיה לשיפור דיוק ההפרדות הצידיות
 - מוצע לבצע מחקר המשך שיבחן את הטכנולוגיות והפרוצדורות החדשות בתחום זה
 - מוצע מחקר המשך לפיתוח מידול מצבי פעילות שונים ורמת בטיחות במבנה המסלולים החדש בנתב"ג וכן הפרדות מטוסים.



26 בפברואר 2012

16



רלוונטיות תוצרי יוזמת SESAR ופרויקט NextGen לישראל

• קונספטי ATM חדשים

- יוזמת SESAR ופרויקט NextGen נבדקים מגוון רחב של רעיונות ואסטרטגיות לשיפור הבקרה וניהול המרחב האווירי תחת מטרייה זו פותחו, בין היתר, קונספטים להתמודדות עם בעיות צוואר בקבוק בנתיבי המעבר (en-route), ניהול זרימה מבוסס זמן, שיתוף פעולה בבקרה האווירית טייסים-פקחים (CO-ATM) פתרון קונפליקטים, שילוב ADS-B, התמזגות מטוסים, הנמכה רציפה, ואוטומציה אוויר-קרקע.
- מרבית נושאים אלו רלוונטיים לישראל
- מוצע לבצע מחקרי המשך בתחום התמזגות המטוסים, ניהול התחבורה האווירית ויישום ADS-B לשיפור הפרדות בנתיבים לא תקינים



26 בפברואר 2012

17



רלוונטיות תוצרי יוזמת SESAR ופרויקט NextGen לישראל

• שיפור קיבולת המראות

- גידול מהיר בהיקף הביקושים לתחבורה אווירית לצד קושי בהרחבת/הוספת תשתיות אוויריות וקרקעיות; יעד מוגדר של שני הפרויקטים
- מצב קיים בישראל: צפי לגידול גבוה ומתמיד בהיקף התעבורה בנתב"ג וקושי באישור פרויקטים להקמת שדות תעופה חדשים
- מחקרים שנסקרו מצביעים על פוטנציאל רב בשיפור הניצולת של הקיבולת הקיימת
- מוצע לבצע מחקר המשך רחב יותר שיבחן את הטכנולוגיות והפרוצדורות החדשות בתחום זה
- מוצע מחקר המשך לפיתוח מידול קיבולת המראות לאור הצפי לגידול בהיקף הפעילות בנתב"ג



26 בפברואר 2012

18



סיכום

- פרויקט סקירת הספרות כלל שני תחומים: מערכות ATC בארץ ובעולם ומודלי בטיחות תעופה וסיכון תאונות.
 - סקירת מערכות ATC: מבט ראשוני של המצב הקיים, מידת ההתקדמות שבוצעה באירופה ובארה"ב, והכיוונים שאליו הולכות מדינות אלו
 - סקירת מודלי בטיחות תעופה וסיכון תאונות: יצירת בסיס ידע ראשוני בהתפתחות ההסטורית של סטנדרטי ההפרדה והסטנדרטים המקובלים כיום וכן שיטות לזיהוי ופתרון קונפליקטים.

סיכום

- סקירת מחקרי SESAR ו-NextGen מעלה כי תוצרים אלו אינם סופיים ונדרשת עוד כבדת דרך משמעותית לפני היישום הסופי
- סקירת מודלי בטיחות בתעופה מצביע על תהליך הדרגתי של הקטנת מרחק הפרדות המטוסים במישורים השונים. עם זאת תהליך הפעלת וניסוח מודלים אלו מאופיינת בבעיות שונות הקשורות לאיסוף נתונים, יצירת מסקנות אובייקטיביות וקושי בהבנת התוצאות על-ידי מי שאינם מומחים

סיכום

- ישראל, כמדינה בעלת מרחב אווירי מצומצם, סמיכות למדינות / שטחים עוינים, וקונפליקטים בשימוש במרחב האווירי, זקוקה ליישום של קונספטים וטכנולוגיות חדשות לשיפור הבטיחות האווירית והניצולת של המרחב והתשתיות
- הסוגיות שזוהו במרחב האווירי הישראלי, תוצרי פרויקטי NextGen ו-SESAR מחד, והמודלים השונים שנסקרו מאידך מהווים לדעת צוות המחקר בסיס איתן למחקרי המשך אשר יתרמו להבנת וניהול המרחב האוויר ושיפור הבטיחות



26 בפברואר 2012

21



המלצות למחקרי המשך

עדיפות	תחום מחקר	סיבת המלצה
1	ניטור מתמשך של מחקרים SESAR ו-NextGen ומחקרי מודלים לבטיחות תעופה וסיכון תאונות; עידכון שנתי של דו"חות מס' 1 ו-2	התפתחות מואצת של הפרויקטים והטכנולוגיות, זמינות של תוצאות סימולציות ויישומים ראשוניים; התפתחות תחום המודלים להערכת בטיחות תעופה וסיכון תאונות לאור בטכנולוגיות החדשות בפרוייקטי NextGen ו-SESAR
2א	חקר רמת הבטיחות והסיכון לתאונות במסלולי ההמראה והנחיתה ונתיבי ההנמכה וההמראה בנתב"ג	האפשרות לבדוק מאפייני בטיחות ותקריות בטיחות לפני ואחרי פרויקט שינוי תפרושת המסלולים. מידול מצבי פעילות שונים במבנה המסלולים החדש.
2ב	שילוב כטב"מים במרחב האווירי וטכנולוגיות ופרוצדורות חדשות	התפתחות טכנולוגית ורגולטורית מואצת של תחום הכטב"מים
3	מניעת התנגשויות ויצירת הפרדות מטוסים	חשיבות סוגיות אלו מבחינה בטיחותית
4	קונספטי ATM חדשים	הכרת קונספטים חדשים בתחום ה-ATM בצורה מעמיקה, עלויות הטמעתם, ויישומתם למרחב האווירי הישראלי
5	קיבולת המראות	צבירת ידע לאור הצפי לגידול במספר תנועות המטוסים בשנים הקרובות. מידול קיבולת המראות לאור הצפי לגידול בהיקף הפעילות בנתב"ג



26 בפברואר 2012

22

