

מערבולות חטור בסביבת טיסת מסוקים

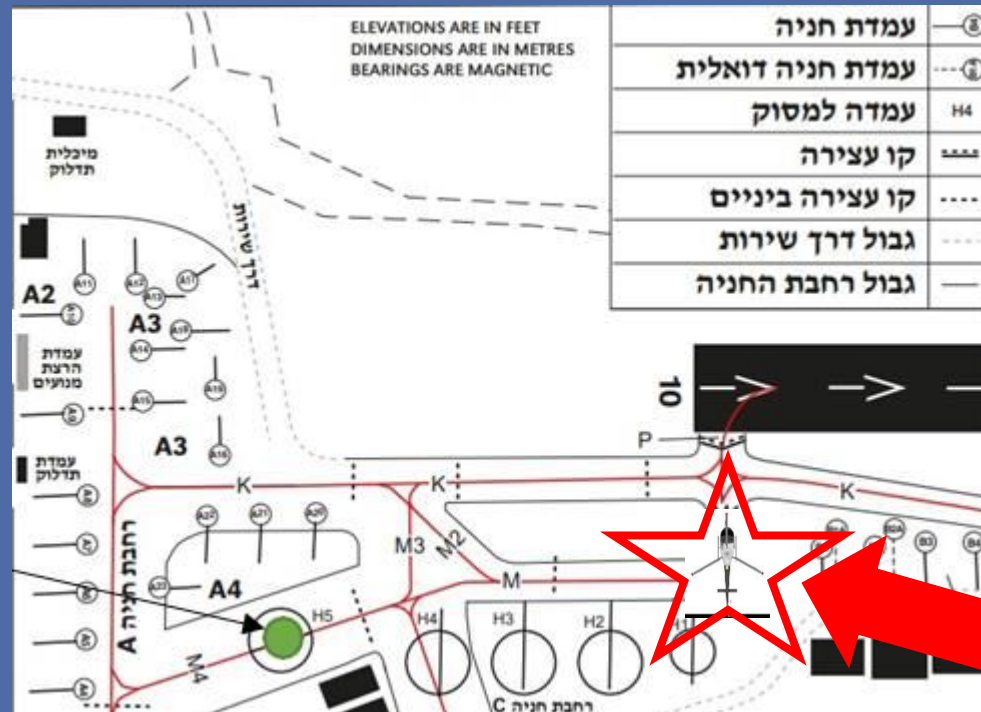


Cessna 120 caught in helicopter wake turbulence - USA

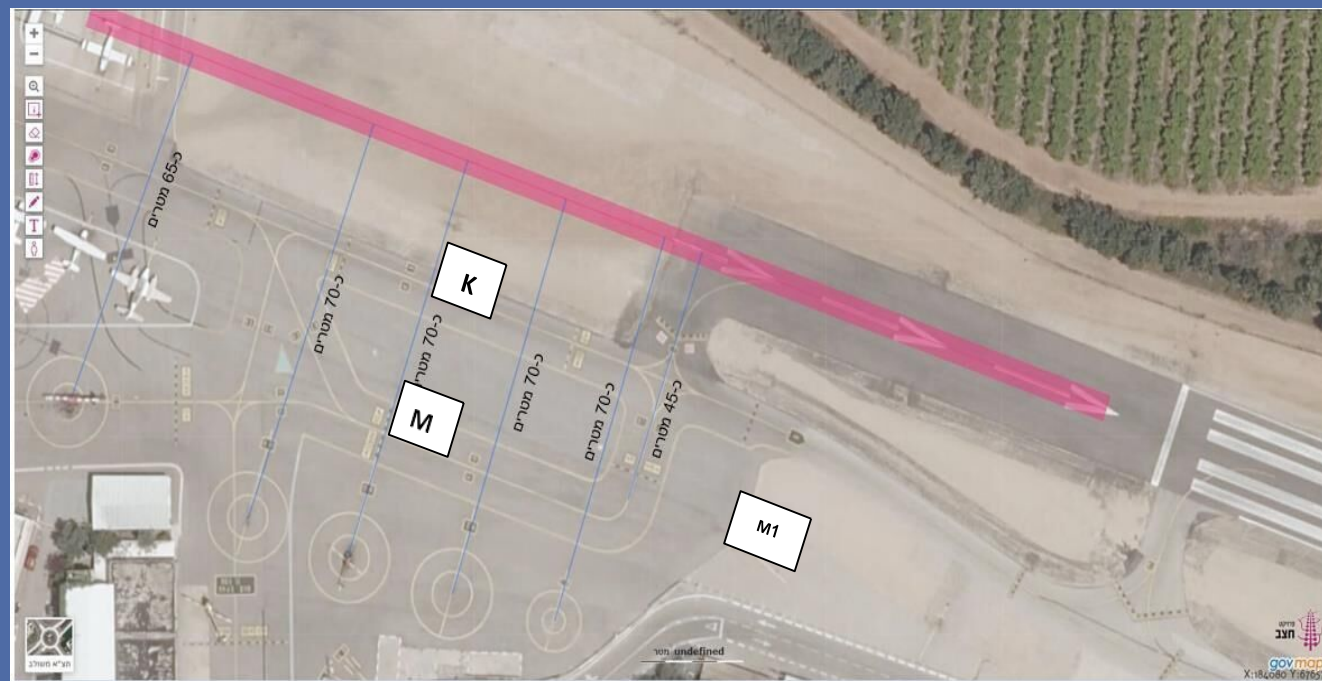
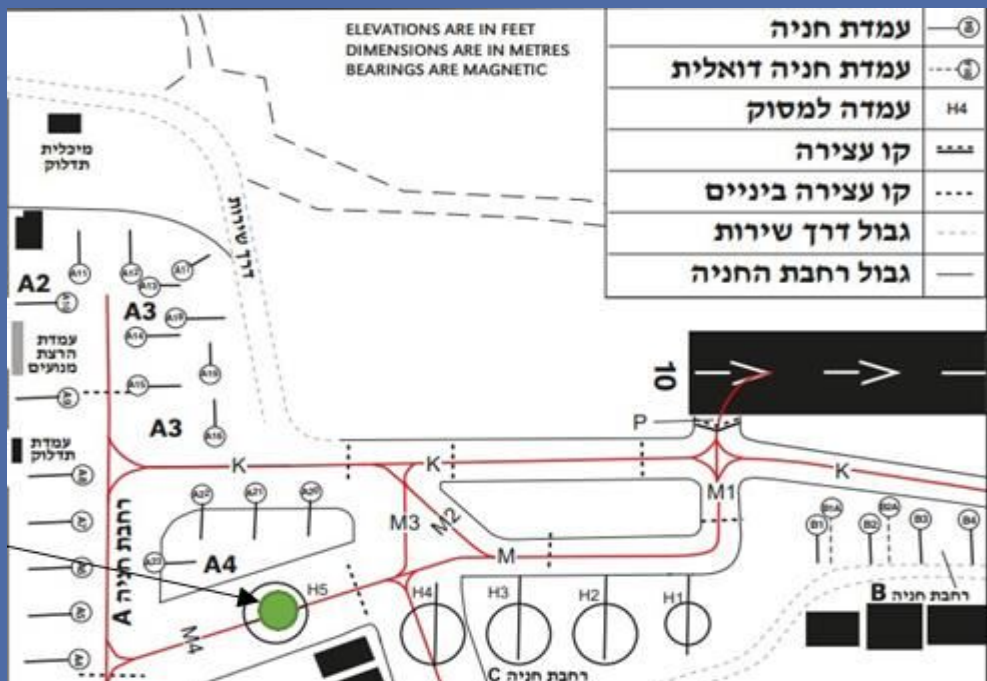


<https://www.youtube.com/watch?v=tZLXMKMgnS8>

- בתאריך 09.01.2024 מטוס ססנה ובו טייס פרטי ומדריך טיס יצא בשעות הבוקר לטיסת ריענון וביצוע הקפות בשדה התעופה הרצליה.
- מסוק AS350 שעמד לצאת לטיסה מסחרית קיבל אישור להסיע על מסלול הסעה M ולהמתין לפני מסלול הסעה K וזאת, בטרם תאושר עזיבתו דרומה ממסלול ההמראה 10 שהיה באותה העת בשימוש.



- במהלך הגישה הסופית לנחיתה, בגובה מוערך של כ - 50 רגל, נכנס מטוס הססנה, ככל הנראה, להשפעת מערבולות רוטור של המסוק, שהסיע זמן קצר לפני כן על מסלול הסעה M .
- בעקבות כך, המטוס גלגל לימין, לאחר מכן התיישר רגעית והפיל בחדות את הכנף השמאלית כלפי מטה כשכלי הטיס מטרים בודדים מעל לקרקע.
- הטייס ביצעה הליכה סביב.



מטרת המצגת:

להפיץ בקרב בעלי העניין מידע בטיחותי העוסק במערבולות רוטור והסיכונים הבטיחותיים שהם מהווים לכלי טיס קטנים, במסגרת קידום הבטיחות המדינתית.

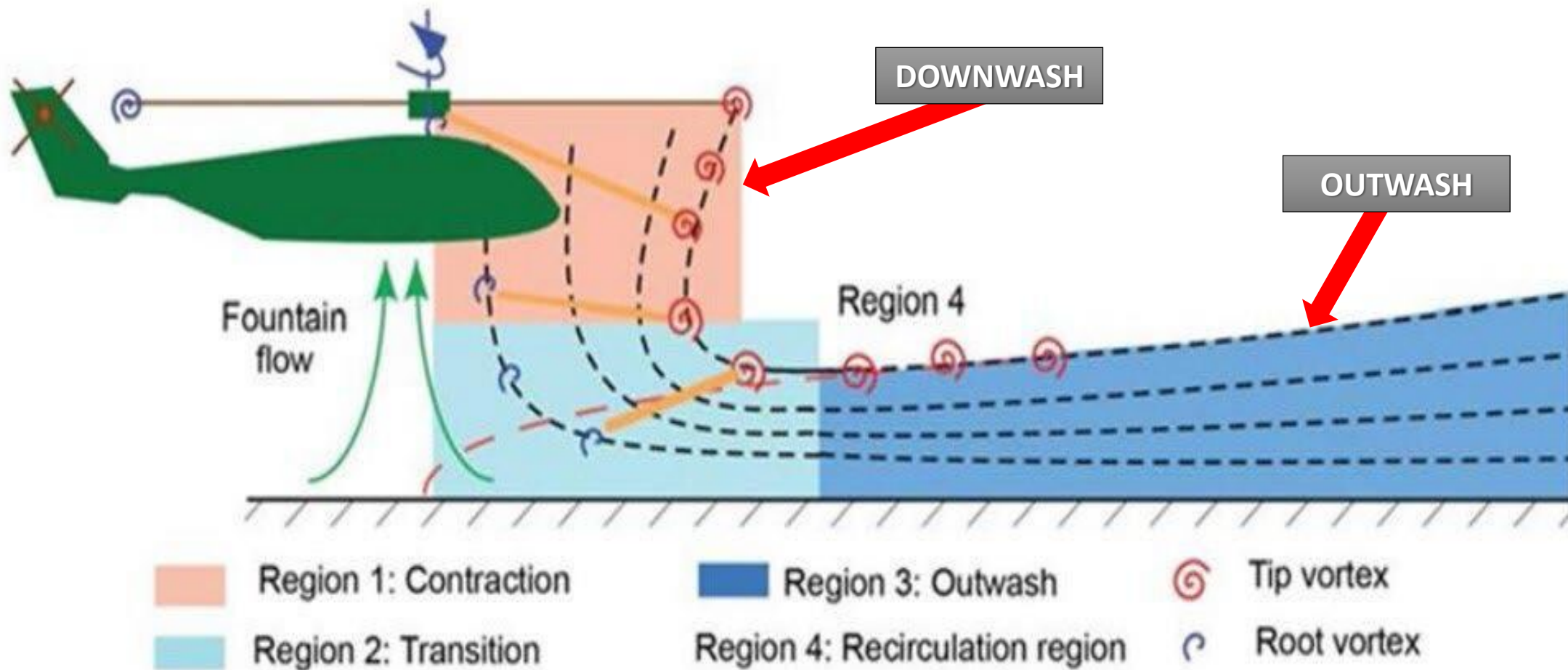
רקע כללי

- בזמן טיסה, כאשר כלי טיס בעל כנף סובבת מתקדם, הוא מייצר מאחוריו מערבולות הדומות בעוצמתן ובמאפייניהן למערבולות קצה כנף הנוצרות על ידי מטוסים בעלי כנף קבועה.



- בעת ריחוף בסמיכות לקרקע, בין אם הריחוף הוא סטטי או בתנועה (בהסעה – (Air Taxi) מייצרים הלהבים הראשיים של המסוק מערבולות אנכיות יורדות (Downwash) הפוגעות בקרקע ומתפשטות בצורה אופקית (Outwash).

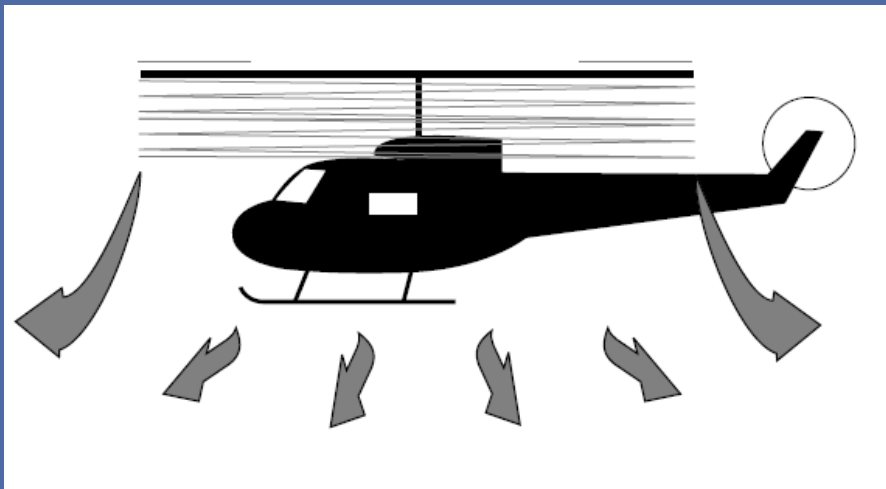




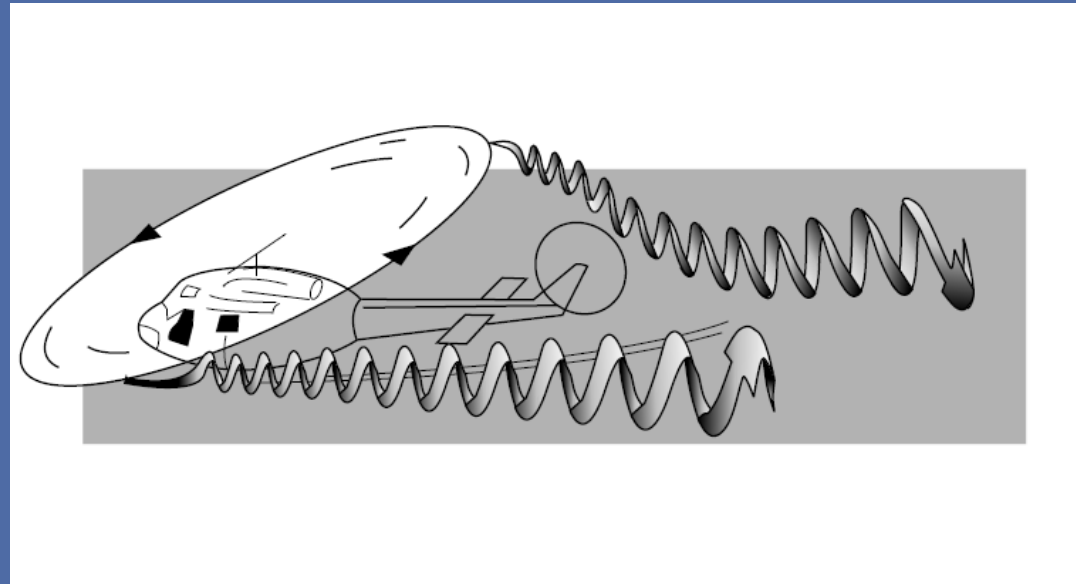
- יכולות להיות השפעות משמעותיות בעת תמרונים של מסוקים במהירויות איטיות במיוחד במהלך ההמראה והנחיתה ל-DOWNWASH ו-OUTWASH הניתנות להשוואה במקרים הקיצוניים ביותר לסופה עזה שעלולה לגרום לנזקים לכלי טיס, רכוש ולמעוף חפצים אחרים העלולים לגרום פגיעה באנשים הסמוכים למשטח הנחיתה.

- השפעות מערבולות הרוטור עשויות להיות בלתי צפויות בהתחשב בכך שהיא מושפעת מתנאי הרוח והטמפרטורה בסביבה בזמן הפעולה.

- השפעות המערבולות הולכת ומחמירה ככל שהמסוק יותר כבד.



- מערבולת הקשורות למסוקים נגרמות מאוויר בלחץ גבוה הזורם על משטח התחתון של להבי הרוטור הראשי וזורמים מסביב לקצות הלהבים לאזור הלחץ הנמוך מעל להבי הרוטור בדומה לכנף של מטוס כנף קבוע.
- מסוק מרחף מייצר DOWNWASH מהרוטור הראשי ובנוסף בטיסה קדימה זוג מערבולות ספירליות כלפי מטה נשפכות מקצה הלהבי הרוטור אזור זה של אוויר מסתובב מתחת למסוק הוא המקום בו מתרחשת מערבולת ערות.



- המערבולות שנוצרות כשהמסוק על הקרקע הינם מפוחתות (כח וסל"ד נמוך) גם אם להבי הרוטור הראשי של המסוק מסתובבים.



- המודל הנפוץ ביותר לבחינת השפעת מערבולות רוטור, הוא המודל המתמטי שהוצע על ידי ג'ון פרסטון (2014).
- מודל זה קבע שהמהירות הגבוהה ביותר של מערבולות רוטור היא פונקציה של מרחק האובייקט מציר הרוטור של המסוק המרחף.
- כמו כן, מהירות האוויר שמתחת לדיסקת הרוטור V_1 (המבוטאת במטרים לשנייה) מצויה ביחס ישר למשקל המסוק M (M) וכן, תלויה בשטח דיסקת הרוטור (A) הנגזר מקוטר להבי הרוטור (הראשי). מהירות זו ניתנת לחישוב בהתאם לנוסחה

g (gravitational constant) = 9.81
 ρ (rho) = air density

$$V_1 = \sqrt{\frac{Mg}{2\rho A}}$$

M-HELICOPTER MASS

A- ROTOR DISK AREA

- ההשפעה המרבית של מערבולות רוטור מורגשת מציר הרוטור הראשי ועד שלוש פעמים קוטר להבי הרוטור הראשי, כאשר במרחק זה, יחס לחץ למרחק האוויר הוא הנמוך ביותר ומהירות זרימת האוויר המהירה ביותר ועוצמתה משתנה בהתאם לזרימת האוויר האופקי אך יכולה להגיע לפעמיים מהירות האוויר שמתחת לדיסקת הרוטור.
- למרות האמור, אופן ועוצמת התנועה האופקית של מערבולות הרוטור לאחר שהן פוגעות בקרקע, תלויות בפרמטרים שונים והן קשות לניבוי וחיזוי.



מהם הסכנות של מערבולת הרוטור?



מה צריך לקחת בחשבון?



המלצות

- להלן המלצות לטייסים במטוסים ומסוקים להתנהלות זהירה ולהימנעות מלהיכנס למערבולות DOWNWASH של מסוקים, כפי שמומלץ על ידי רגולטורים ואתרי תעופה רשמיים בעולם:
- הימנעו מלהתקרב למרחק פחות משלוש קוטר הרוטור של מסוק שעומד, מניע או ממריא - זוהי ההמלצה של סוכנויות תעופה כמו ה-FAA, ה-CAA וה-EASA-המוגדרת כמינימום מרחק בטיחותי שבו מהירות זרימת האוויר של ה"דאון-ווש" חזקה ומסוכנת.
- הקפידו לשמור מרחק בטוח סביב אזורי נחיתה והמראות של מסוקים. לדוגמה, מסוקים קלים דורשים מרחק בטיחות של כ-30 מטרים מסביב למקום הנחיתה, ומסוקים כבדים יותר דורשים מרחק של 50-65 מטרים או יותר. חשוב שהשטח הזה יהיה נקי מאנשים, רכבים ופריטים שניתן להזיז מהאזור כדי למנוע פגיעה כתוצאה מזרמי האוויר החזקים.
- מסוקים בזמן המתנה יש לבצע זאת על הקרע תוך הקפדה להיות בסל"ד וכח נמוכים ועיקר ליד אזורי נחיתה כלי טיס אחרים.

המלצות - המשך

- היו מודעים למאפייני ה-DOWNWASH של המסוק הספציפי שאתם מטילים לידו: משקל המסוק, גודל דיסק הרוטור, שלב הפעולה (המראה לעומת גישה) ומצב הרוח. כל אלה משפיעים על עוצמת ושטח ההשפעה של מערבולות האוויר. לדוגמה, בהמראה ה"דאון-ווש" חזק יותר מאשר בגישה לנחיתה, ולכן יש לשקול גישה תלולה יותר או לשנות כיוון בהתאם לכיוון הרוח.
- הימנעו מלהתמקם מתחת למסוק בנחיתה או המראה, שכן שם זרימת האוויר הפוגעת בקרקע היא העזה ביותר ויוצרת מערבולות מסוכנות. יש לשקול להסתכל על מפת הנחיתה ולקיים תדרכים מקדימים שיבטיחו שכל הצוות והמטוסים מודעים לאזורים המסוכנים.
- בעת נסיעה/הסעה סמוך למסוקים על הקרקע, שמרו מרחק מינימלי של שלוש קוטר רוטור על מנת להימנע מהחשיפה לזרמי האוויר. מומלץ לתאם עם צוותי הקרקע או המשטרה המקומית בעת פעילות מסוקים באזורים שילוביים כדי לאבטח את האזור.

המלצות - המשך

- שימו לב כי DOWNWASH עשוי לגרום לראות לקויה) כגון "Whiteout" בשל שלג ו-"Brownout" בשל אבק, (ולכן בעת חוסר וודאות בראות יש לבצע הליכה סביב (Go-around) ולא להמשיך בנחיתה במידה ויש ספקות.
- על שדות התעופה לקבוע מרחקים בטיחותיים וזמני המתנה נדרשים סביב אזורי נחיתה, וטייסים חייבים למלא אחר הנחיות אלו כדי להבטיח בטיחות המראה ונחיתה.
- לסיכום, מפתח ההתנהלות הבטוחה הוא שמירת מרחק בטוח מינימלי (כ-3 קוטר רוטור ומעלה לפי גודל המשקל), מרחח זמן מתאים לשמירת מרחק בין כלי טיס, מודעות לתנאי הסביבה ובהתאם תכנון הטיסה כולל גישה למניעת חשיפה לזרמים המערבוליים החזקים שמסוקים יוצרים בזמן המראה, נחיתה ונסיעה על הקרקע.

- הכנו את המדריך הזה כדי לעזור להתמודד עם הסכנות הכרוכות של מערבולות רוטור עבור טייסים, תוך כדי הכללת התיאוריות והעקרונות המדעיים העיקריים שמסבירים מדוע הדברים הם כפי שהם.
- בהיותנו מודעים לדינמיקה של ה- downwash, מהירותו והשפעתם של גורמים סביבתיים, אנו יכולים לקבל החלטות מושכלות לניהול איומי ה- downwash ביעילות ובעיקר להימנע מחיכוך מיותר עם התופעה.
- זיהוי סיכונים פוטנציאליים וטיפול מראש תוך הפחתת סיכונים היא מרכיב חיוני בהטסת כלי טיס בבטחה.
- הדרך היעילה ביותר שיש היום לטייסים ובקרים ופקחים לצמצם תאונות ותקריות הנובעות מטיסה במערבולות ערות הוא מודעות וחינוך.
- יש להתייחס לתופעה ולסכנות בכבוד הראוי.

- מפעיל המנחת - נדרש לוודא את המרחקים הנדרשים במנחת וסביבתו ולפעול למניעת נזקים העלולים להגרם כתוצאה של זרמי האוויר הנוצרים ע"י המסוק.