



## טסלה עם כנפיים

מתוך "נפלאות הבריאה"

עורך ומלקט ש.אייזיקוביץ

[eisikovits1@gmail.com](mailto:eisikovits1@gmail.com)

## טסלה עם כנפיים: מתי יהיו מטוסי נוסעים חשמליים, ומה נרויח מכך?

עם יתרונות כמו טיסות שקטות וזולות ביותר מ-50%, עידן חדש בסחר העולמי, צמצום פראי של זיהום האוויר, שינוי פוליטי גלובלי ואפילו הוזלת נדל"ן יש הרבה למה לחכות; אז למה התעשייה תקועה? "הקברניט" מציג: המהפכה שלא נטענת

### ניצן סדן

שלום, כאן הקברניט; מי רוצה לטוס לחו"ל במטוס שקט לחלוטין, במחיר זול פי שניים מהלואו-קוסט הכי לואו, ובידיעה שהמטוס לא מזהם? זהו רק חלק זעיר מהיתרונות של מטוס נוסעים חשמלי: מטוסים כאלה יוכלו להיות מהפכת התחבורה הכי גדולה מאז מטוס הנוסעים עצמו, מהפכה שתטלטל את כל האנושות, תשנה מאזני כוח בין מדינות, אולי אפילו תניע סדר עולמי חדש - ואני לא מגזים.

אבל בעוד מכוניות חשמליות יש כבר ממש בכל מקום, מטוסי נוסעים חשמליים הם בגדר "יום אחד". מה כל כך נפלא במטוס נוסעים חשמלי, ולמה אין לנו כאלה עדיין?

מטוסים חשמליים הם ממש לא המצאה חדשה: הראשון נבנה והוטס באוסטריה ב-23 באוקטובר 1973; היה זה שדרוג-חובבים לדאון ממונע מדגם HB3, שנשא סוללות שהספיקו לו ל-12 דקות באוויר.

הרעיון היה להוכיח שזה אפשרי, לא להשיק מוצר מסחרי. בתזמון היסטורי נפלא, באותו החודש פרצה מלחמת יום הכיפורים, שהחריפה את משבר הנפט שבין מדינות ערב וארה"ב וייקרה את הזהב השחור עד אימה.

הייתם חושבים שדווקא דבר כזה ידחוף פיתוחי מטוס חשמלי, במטרה לעקוף את התלות בנפט ובגחמותיהם של השולטים בו. אך לצערי, לא ככה עובדת האנושות; כל תשתיות הנפט והכוח הפוליטי שמבעבע בו לא עמדו להיעלם ואיש לא ביקש שייעלמו; גם האמריקאים, במקרה זה, רצו לקבל את הכדור ולא להחליף מגרש.

עם הזמן השתפרו טכנולוגיות הסוללה, בין היתר בזכות המרוץ לחלל, וניסויים שערכו גופים כנאס"א הראו שניתן להניע כלי טיס בחשמל גם לטיסות ארוכות. כיום יכול מטוס חשמלי לטוס הרבה יותר מדקות ספורות, ושילוב עם תאים סולריים אפשר למטוסי ניסוי אפילו להקיף את העולם. אבל יש הבדל בין מטוסי ניסוי ובין מוצר מסחרי מלא; מתי יהיו לנו מטוסי נוסעים גדולים שיעבדו על חשמל במקום דלק נוזלי?

ראשית, בואו נדבר על מה שעושה מטוס כזה לכל כך מהפכני. וחשוב לדבר על העניין כי במבט ראשון, מטוס חשמלי דווקא נראה כמו צעד גדול אחורה: הרי מנוע חשמלי לא יכול לעבוד כמו מנוע סילון, משום שאין בעירה ולפיכך אין חימום של גזים ודחיסה שלהם ונו, אין סילון. מה יש? מנוע חשמלי שמסובב מדחף.

המשמעות היא מטוסים איטיים יותר, ובצורה מאוד מורגשת. למדחפים יש מגבלה בדמות מהירות הסיבוב שלהם; גם הטופולב 95, מטוס המדחף הכי מהיר שטס כיום, משייט במהירות של כ-700 קמ"ש, כ-20% פחות ממטוס נוסעים סילוני כבואינג 787 (שהוא גדול וכבד בהרבה).

אבל גם אם זמן הטיסה יתארך קצת, בפועל זו קפיצת דרך עצומה: דלק הוא ההוצאה הכי גדולה של כל חברת תעופה, וכל ההתעסקות אתו מטריפה אותן - לדאוג שיש מספיק עתודות, שיש נדל"ן למכלים, צוותי תדלוק, בטיחות דלק, וכמובן - איך לחסוך דלק בכל טיסה, כך שהנתיב יהיה גבוה יותר ולכן עם אוויר דליל יותר.

כשמבטלים את שרשרת המיגרנות הזאת, חברת התעופה נפטרת מהוצאות עצומות: כן, עדיין יהיו עלויות חשמל תעשייתיות, אך הן נמוכות להדהים ביחס לדלק. בגדול, יוכלו חברות תעופה לחתוך בחצי מחיר כרטיס טיסה, אפילו יותר - ועדיין לצאת ברווח גדול בהרבה משיש להן כיום.

קל לשכוח, אבל כבר כיום מחיר הטיסות זול מאוד וכיסוח עלויות הטסה יכסח גם עלויות הטסת מטענים. דמיינו לכם עולם בו כל כך זול להוציא משלוחים אוויריים, שכל ספק קטן יוכל להגיע ללקוחות רחוקים במחיר שולי.

כך, יוכלו לגדל קהלי יעד בכל מקום בעולם ולהתחרות גם בענקי קמעונאות. דמוקרטיזציה עולמית של סחר, אם תרצו. ולא רק: כשכל כך קל להעביר מטענים למרחקים גדולים, יוכלו יותר גופים פרטיים להתארגן בזריזות ולספק סיוע חירום לאזורי אסון בעולם,

וחכו, אני רק מתחמם עם ההשפעות הבינלאומיות: תחבורה אווירית חשמלית פירושה צריכת פחות דלק סטנדרטי, הרבה-הרבה פחות דלק. ודבר כזה יכול לחתוך ברווחי מדינות שנשענות על ייצוא נפט, ויחליש אותן בזירה העולמית; מדינות שכל הכלכלה שלהן תלויה בזהב השחור ייאלצו לשנות את מחירו, וכל שוק האנרגיה יקבל צורה חדשה.

במקביל, תקפוץ הדרישה לאנרגיה מרשת החשמל להזנת המטוסים, וזו תהיה דרישה שתחייב ייעול של התשתית - קרי, הרחבת השימוש באנרגיה מתחדשת (סולארית, רוח, מים וכו').

זו עוגה גדולה מאוד של יתרונות, אותה נקשט מלמעלה בעובדה שמטוסים חשמליים הם שקטים בהרבה ממטוסי סילון או טורבו-פרופ (מנוע סילון שמניע מדחף), עד כדי כך שנמל תעופה שיתבסס עליהם יוכל לשבת ממש באמצע עיר, מבלי שמגורים בשכונות תיחשב להתעללות. אימוץ נרחב של מטוסים חשמליים פירושו שכל הנדל"ן סביב נמלי התעופה, שכיום משמש לאזורי תעשייה, מחסנים ושכונות עוני, יוכל להבשיל לפיתוח עירוני. אנשים שיעבדו בשדה יוכלו לגור צמוד אליו ולצמצם נסיעות - מה שגם יחתוך עלויות למעסיקים שלהם וגם יתרום לאיכות הסביבה.

ואם כבר הזכרתי אקולוגיה, זה הדובדבן בקצה: מטוס חשמלי כמעט שאינו מזהם כשלעצמו, וכשבעולם טסים עשרות אלפי מטוסים כל הזמן, זה מאוד משמעותי. אגב, שימו לב ל"כשלעצמו" הזה: לא ברור מאילו חומרים יופקו הסוללות של המטוסים הללו, ויתכן שכרייתם אף תגביר נזק אקולוגי וזיהום; למשל, כל מכונת טסלה חשמלית אולי לא פולטת מזהמים, אך ייצורה גורם לפליטת הרבה יותר מזהמים מלמשל, ייצור סוזוקי.

בנוסף, יכול להיות שהזינוק בצריכת החשמל יעודד שימוש בפחם ומזהמים אחרים - הרי לא לכל מדינה יש כסף לתחנת כוח גרעינית או שדה סולארי עצום. אז מה מונע מאתנו מלהנות ממטוסי נוסעים חשמליים?

הבעיה היא לא המנוע: יש מנועים חשמליים חזקים וקלים דיים כדי להניע מטוסים, אפילו מטוסים גדולים. העיצוב נע בין מדחף סטנדרטי, ובין מטריצה של מדחפים רבים בתוך התקן מחופה שמסייע בהאצת זרימת אוויר. אבל כל מנוע חשמלי צריך סוללה, ופה אנחנו נכנסים לביצה טובענית.

הסוללות של היום מספקות בערך 200 ואט-שעה לקילו סוללה, שזה פי חמישים עד שישים פחות מקילו דלק מטוסים רגיל. כל מצבר צריך יותר תאים שיאגרו וישמרו חשמל, וזה מחייב מצברים מאוד דחוסים, והרבה מהם.

כמה? ובכן, מטוס נוסעים כמו הבואינג 737 מקס 7 שוקל 80 טון, וכדי להרים אותו באוויר צריך סוללות במשקל 30 טון. וכדי לאפשר לו לטוס חמש שעות מתל אביב ללונדון צריך יותר אנרגיה: בערך 200 טון סוללות.

גם אם מקזזים מהמטוס המקורי את משקל הדלק (בערך 20% ממשקל המטוס), מגיעים למצב בלתי אפשרי: הסוללות עדיין כבדות מדי. ולא רק: נניח שניקה 737 ונמלא אותו בסוללות מהפכניות שאין כיום ושוקלות רק 20% ממשקלו - כמו דלק רגיל. הסוללה אינה נוזלית ומצריכה הרבה מאוד נדל"ן-מטוס. למעשה, רק בקבינה יש די מקום; אפשר להטיס או סוללות, או נוסעים.

ופה נכנסים לפרדוקס ותיק: כדי להכניס ל-737 חשמלי את אותם 170 נוסעים שמחזיק 737 רגיל, צריך יותר מקום והמטוס נהיה ארוך יותר. ולכן כבד יותר ומצריך יותר עילוי, ולכן יצטרך כנפיים גדולות יותר שמוסיפות למשקל, ומנועים חזקים יותר שיצטרכו עוד סוללות.

אין אפס, מטוס שנהיה כבד יותר ב-10% צריך גם 10% יותר עילוי, אחרת לא יטוס. בכלי רכב זה עובד אחרת: הגדלת המסה של מכונית ממוצעת בכ-35% תצריך רק כ-20%-15% תוספת בצריכת האנרגיה של המנוע הממוצע. אבל מכונית לא צריכה להביס את הכבידה של הפלנטה שלנו.

ואולם, אפשר למצוא איזון בין גודל המטוס, המקום הפנוי בו לסוללות וצריכת האנרגיה של המנוע בקטגוריית מטוסים אחרת: התעופה הקלה.

ססנה 172 ששוקל פחות מטון ומכיל 150 ק"ג דלק יאבד הרבה מיכולותיו אם יקבל מנוע חשמלי: למשל, זמן הטיסה המקסימלי יעמוד על סביב שעתיים (בעוד ססנה סטנדרטי יכול לטוס גם ארבע שעות ויותר, תלוי בפרופיל הטיסה). אבל המטוס עדיין יהיה שימושי, ויחסוך לבעליו המון כסף.

מתי תוכלו ליהנות ממטוסים קלים כאלה בתור נוסעים? בקרוב מאוד. אחד האפיקים המסחריים המבטיחים ביותר עבורם הוא הנתיבים הקצרים. ישנן הרבה מאוד חברות תעופה קטנות שחיות על נתיבים בין שדות תעופה אזוריים ומנחתים קרובים, במרחק של פחות מ-300 ק"מ.

רבות מהן מפעילות מטוסי מדחף גם ככה, ונהנות מתזרים הכנסות קבוע - בין אם מדובר בתיירים שרוצים להגיע מהעיר לכפר, ובין אם מדובר בעובדים שרוצים להגיע ממגוריהם בעיירות שקטות אל מרכזים עסקיים אזוריים. אז כדי לקלוע לצורכי החברות הללו, בוצעו הרבה ניסויים שמתמקדים בהסבת מטוס קיים להנעה חשמלית. התוצאות הראו, ברוב המקרים, שלמרות היתרונות יש עדיין צורך במטוס ייעודי שיתוכנן מראשיתו לטיסה אופטימלית במהירות שמאפשרת ההנעה החשמלית, תוך פיזור הסוללות באופן שישאיר מקום לנוסעים. וכאן נכנסו לתמונה שחקניות חדשות ויצירתיות - למשל, חברת Eviation הישראלית, שמטוס האליס החשמלי שפיתחה קיבל כבר הזמנות.

אפיק פיתוח משמעותי אחר הוא התעופה העירונית - מוניות מעופפות שיעבירו נוסעים בין נמלי תעופה ומרכזי ערים, או בין מרכזים עירוניים סמוכים, כשגובה הטיסה נמוך מאוד, המהירות איטית והטווח קצר.

כאן התחרות הרבה יותר גדולה, ומשתתפות בה חברות רבות ומגוונות - איירבוס, ליליום, אובר, קיטי הוק ורבות אחרות מנסות להשיק מטוס ולתת את הטון בשוק שאך נולד.

אז כנראה שכבר בעשור הקרוב כבר נוכל ליהנות מטיסה חשמלית שקטה, זולה וחסכונית -  
בינתיים רק ברמה העירונית והאזורית. טיסה חשמלית לחו"ל לא נראה לפני שיחולו מהפכות  
גדולות ביותר: פיתוח סוללות חזקות פי כמה מהמצוי כיום, חומרים קלים ביותר לבניית  
מטוסים, או פריצת דרך אווירודינמית שתצריך פחות כוח כדי לטוס. בינתיים, מתקדמות  
היצרניות באפיקי פיתוח כמטוסים היברידיים - בהם ההנעה משלבת דלק רגיל עם מנוע חשמלי  
ומימן - אך עליהם נדבר בפעם אחרת. טיסה נעימה!