



התרבות הארגונית בנאס"א כגורם בתאונת
מעבורת החלל קולומביה

אסון ידוע מראש

היה קשה להאמין שתאונה כזאת אפשרית:
סוכנות נאס"א נחשבת לארגון מסודר
ובטיחותי ביותר, שהפנים ולמד את לקחי
תאונת מעבורת החלל צ'אלנג'ר • אז
איך קרה שהמעבורת קולומביה הפכה
למטאור ענק ששבריו התפזרו על אדמת
טקסס, אלבמה ולואיזיאנה? • הפרופסור
יואב יאיר היה שם כשהאסון הנורא הזה
התרחש • בניתוח מעמיק קובע הפרופסור
מהאוניברסיטה הפתוחה: יכול להיות
שאפשר היה למנוע את התאונה הנוראה
הזאת אילו היו מתייחסים בנאס"א למידע
שהיה קיים

« פרופ' יואב יאיר

שבת בבוקר ה-1 בפברואר 2003, מעט לפני השעה
09:00 בבוקר לפי שעון החוף המזרחי, הייתי בחדר
הבקרה במרכז החלל על שם גודרד, במרילנד, יחד עם
עוד ארבעה חברים ישראלים וצוות מהנדסים ואנשי
מבצעים של נאס"א. זה היה היום האחרון בטיסתה
של מעבורת החלל קולומביה במשימתה STS-107,
וכולנו ציפינו במתח ובהתלהבות לנחיתתה, לאחר
16 יממות בחלל, שבמהלכן הקיפה את כדור-הארץ
256 פעמים.

»



החללית קולומביה.
16 יממות בחלל, 256
הקיפות של כדור-הארץ



**כאשר הגשנו
לנאס"א את
רשימת החומרים
המסוכנים
שנמצאים במצלמת
הניסוי - סוללה של
1.5 וולט, שהכילה
את היסוד ליתיום
ושימשה לשמירת
נתוני השעון של
המצלמה, לא
אושרה לטיסה.
נאלצנו לפרק
אותה. לעצמי
חשבתי שזה
מדהים שבנאס"א
מקפידים עד לרמה
של סוללה קטנטנה**

שבעת האסטרונוטים שלה, ובהם אל"מ אילן רמון שלנו, ביצעו כ-80 ניסויים מדעיים, רובם בהצלחה גדולה - כולל ניסוי MEISX של אוניברסיטת ת"א, שנועד לחקור את השפעת האבק על מעבר קרינת השמש באטמוספירה.

באותן דקות נראו על המסכים הגדולים בחדר המבצעים שלנו (Payload Operations - POC - Control Center) נתוני הטיסה, הדמיה ממוחשבת של מסלול המעבורת על גבי מפת העולם, ושידור של חדר הבקרה ביוסטון.

זה אותו Mission Control המכבב בסרטים הוליוודיים על דרמות בחלל (כמובן שזה אינו חדר הבקרה המיתולוגי של עידן מרקורי, ג'מיני ואפולו, שבו נשמע המשפט המפורסם Houston we have a problem בטיסתה של אפולו 13, אלא חדר מבצעים חדש יותר שממנו נשלטות טיסות המעבורות ותחנת החלל הבינלאומית).

מספר דקות לאחר השעה 09:00 בבוקר החלה להתברר לנו אמת מרה וכואבת: הקולומביה אינה עונה לקריאות הבקר ברדיו, הד המכ"ם שלה נעלם מהמסך ונתוני הטיסה קפאו. בחדר הבקרה ביוסטון החלה התרוצצות והבקר הראשי הורה על נעילת הדלתות.

לבחון ולבודד כל רכיב

מהנדסי נאס"א, שעמם עבדנו לכל אורך המשימה, הודיעו לנו בפנים חתומות שיש לעבור מיידית לנוהל חירום ולשמור על כל נתוני הטיסה שלנו, וכן שאיש אינו מורשה לעזוב את חדר הבקרה או ליצור קשר עם העולם החיצון. תאונת חלל קשה ודרמטית התרחשה לנגד עינינו ממש.

חבר טוב ועמו שישה אנשי צוות שהכרנו אבדו בלהבה גדולה מעל שמי טקסס.

היה קשה לנו להאמין שתאונה כזאת אפשרית: נאס"א נחשבת לארגון מסודר ובטיחותי ביותר, שהפנים ולמד את לקחי תאונות מעבורת החלל צ'אלנג'ר, שהתרחשה בעת השיגור ב-28 לינואר 1986. ניסיוני בעבודה של חמש שנים עם מרכזי החלל השונים בנאס"א לימד אותי שארגון זה מקפיד על קלה כחמורה, ואינו עושה פשרות בכל הקשור לבטיחות הצוות והמעבורת.

כל ההכנות בשנים שקדמו לשיגור כללו דגש נרחב על Safety Reviews בשלבים שונים, שנועדו לבחון ולבודד כל רכיב במערכת הניסוי שאותה תכננו להעלות על סיפון המעבורת. זכרתי היטב את הלקח שלמדנו בשנת 2001, כאשר הגשנו לנאס"א את רשימת החומרים המסוכנים שנמצאים במצלמת הניסוי: סוללה של 1.5 וולט, שהכילה את היסוד

ליתיום ושימשה לשמירת נתוני השעון של המצלמה, לא אושרה לטיסה, ונאלצנו לפרק אותה. לעצמי חשבתי שזה מדהים שבנאס"א מקפידים עד לרמה של סוללה קטנטנה, וזה חיזק את התחושה שמדובר בחבורה מקצוענית המתורגלת היטב ושאמונה על נוהלי בטיחות מחמירים.

בבוקר התאונה היכו בנו התמונות של מעבורת שהופכת למטאור ענק ומתפזרת על אדמתן של טקסס, אלבמה ולואיזיאנה, כשרבבות חלקיה צונחים אל הקרקע. הצוות נספה וכל הציוד אבד. נתוני הניסוי שלנו נשמרו ברובם, משום שהקפדנו לבצע גיבוי כל יום, והם משמשים את חוקרי MEISX עד היום - יבול של 13 מאמרים מדעיים, עבודות מוסמך ודוקטורט ומחקרי המשך.

ועדת החקירה, שמונתה עוד באותו בוקר שבת אישרה לנו לעזוב את ארה"ב, ויומיים אחר כך שבנו לישראל כואבים והמומים, מתקשים להבין כיצד יתכן שהמעבורת אבדה והתפרקה בעת כניסתה לאטמוספירה, רק 16 דקות לפני נחיתתה בקייפ-קנברל בפלורידה.

באוגוסט 2003 פורסם דו"ח ועדת החקירה לתאונת הקולומביה (CAIB: Columbia Accident Investigation Board) ובו התבררה לי לפתע אמת מכאיבה: טעויות אנוש וכשלים ניהוליים היו בין הגורמים לתאונה.

אמנם, הסיבה המרכזית והקטלנית הייתה טכנית, ונבעה מכשל במערכת ההגנה הטרמית על כנפי גחון המעבורת. היה זה חור בכנף, שנוצר כתוצאה מפגיעה של רסיס קצף בידוד, שניתק ממיכל הדלק החיצוני כבר בשיגור. רסיס זה, שגודלו כמזוודת טרולי קטנה, פגע בשפת-ההתקפה של הכנף השמאלית ועשה בה חור. בעת השהות בחלל, לא הייתה כל אינדיקציה לכך, אולם בעת החזרה לאטמוספירה והתלהטות המעבורת, עקב החיכוך הגובר עם האוויר, חדר אוויר לוהט דרך החור והתין את הכנף, שהתנתקה ונפלה. המעבורת איבדה את יציבותה, הסתחררה והתפרקה - תוך פחות מדקה - כשהיא עטופה בשובל אוויר לוהט. כיצד זה יתכן?

המצלמות תיעדו פגיעה של רסיס קצף כבר בשיגור

ועדת החקירה הראתה שנושא נפילת רסיסי הקצף מן המיכל הענק, שעליו "רוכבת" המעבורת בדרכה לחלל, היה ידוע לכל הדרגים בנאס"א. זו הייתה תקלה חוזרת, שלא נפתרה מעולם ואשר יוחסה לה חומרה נמוכה. הרישומים הראו שהתקלה אירעה בדרגות חומרה משתנה ב-60 טיסות קודמות, ומעולם לא היוותה סכנה למעבורות והן כולן שבו בשלום.



אילן רמון. טיסה היסטורית של אסטרונאוט ישראלי ראשון לחלל

ההנהלה הבכירה אישרה למעבורות להמשיך לטוס גם מבלי שהתקלה תוקנה, אף כי נקבעו נהלים ברורים לבדיקת החומרה ומשמעותה, בכל מקרה ומקרה, בזמן אמת. גם בטיסה שלנו היה ברור כבר בשיגור שישנה תקלה וששוב פגע רסיס. מונה צוות בדיקה להעריך את החומרה ולדווח למנהלי המשימה (MMT - Mission Management Team), והוא אכן ביצע אנליזה מדוקדקת על סמך הנתונים שהיו בידיו. מסתבר שהמצלמות שתיעדו את השיגור אכן הראו פגיעה של רסיס קצף, אולם נקודת הפגיעה המדויקת וחומרת התקלה לא היו מספיק ברורות. זאת, בין היתר כיוון שאחת המצלמות, שאמורה לכסות את הכנף השמאלית, לא הייתה תקינה. בהעדר מידע צילומי ברור, המהנדסים וראש צוות הבטיחות התקשו לתת למנהלים תמונה חד-משמעית, ושגרת הטיסה נמשכה.

בישיבות היומיות על סטאטוס הטיסה, לא דווח על כך שאין מידע מספיק. ניסיונות אנשי בטיחות זוטרים

לקבל מידע צילומי נוסף (למשל, מלווייני ריגול אמריקניים, הידועים בכושר ההפרדה הגבוה מאד שלהם) הוכשלו ונבלמו על ידי מנהלים בכירים, שלא השתכנעו בצורך והעמידו שיקולים של רציפות המשימה ותקציב לפני בטיחות הטיסה. הלחץ לספק תשובה שתספק את ההנהלה הבכירה היה כבד מנשוא עד כדי כך שראש הצוות הסתפק במצגת פאואר-פוינט תמציתית, שבה היה דיווח שאין סכנה ושחזרה בטוחה מובטחת אפילו במתאר חמור (Safe return indicated). טעות נוראית זו נבעה, בין היתר, מתוך גישה שהתקלה אינה יכולה להיות חמורה, והתבססות על תוצאות תוכנה בה משתמשים להעריך את חומרת הפגיעה.

מה שלא היה ידוע למנהלים באותו זמן היה שהתוכנה הזו לא התאימה כלל לפגיעה מסדר הגודל שהתרחש בשיגור של הקולומביה; אי-שימור ידע בארגון נוצר כתוצאה מהעובדה שמהנדסי בואינג הוותיקים שכתבו את הקוד פרשו, והמפעילים

**ניסיוני בעבודה
של חמש שנים
עם מרכזי החלל
השונים בנאס"א
לימד אותי שארגון
זה מקפיד על קלה
כחמורה ואינו
עושה פשרות בכל
הקשור לבטיחות
הצוות והמעבורת**



»

בניגוד לכל הכללים שקבע הארגון, מהנדסי הבטיחות התיישרו לפי רצון המנהלים ולא שמו את בטיחות הצוות בעדיפות העליונה. אין זה אומר שלו היו מאתרים את התקלה היה ניתן להציל את המעבורת. אני סבור שיתכן שהתשובה חיובית, אולם אין על כך הסכמה אצל חוקרי טיסות החלל

הנוכחיים שלה בנאס"א לא ידעו את מגבלותיה. לכן, הפירוש של הפגיעה היה שגוי, והמנהלים הסתפקו באנליזה ולא דרשו בירור מעמיק יותר. רק מהנדס בודד הבין את חומרת התקלה, אולם כל ניסיונותיו להעביר מסר ברור להנהלת המשימה הוכשלו ונבלמו על ידי מנהלו הישיר.

איתור התקלה והבנת משמעותה

אי-זרימת המידע בארגון הייתה חולי שנבע, כך פסקה ועדת החקירה, מההיררכיה הנוקשה בנאס"א ומחוסר רצון של עובדים רבים "לעשות גלים" וללכת נגד הקונסנזוס הארגוני. בניגוד לכל הכללים שקבע הארגון, מהנדסי הבטיחות התיישרו לפי רצון המנהלים ולא שמו את בטיחות הצוות בעדיפות העליונה. אין זה אומר שלו היו מאתרים את התקלה היה ניתן להציל את המעבורת. אני סבור שיתכן שהתשובה חיובית, אולם אין על כך הסכמה אצל חוקרי טיסות החלל. ברור מכאן שהמנהלים כשלו בדבר האלמנטארי: איתור התקלה והבנת משמעותה. "עץ קבלת ההחלטות" נגדע עוד בתחילתו!

אולם הוועדה לא הסתפקה בתיאור כשלי הניהול של צוות ה-MMT וציינה שלא פחות חשובות מהסירות הטכניות – הן הסיבות הארגוניות הנטועות עמוק בהיסטוריה של תכנית מעבורת-החלל. בין היתר היא מנתה את העובדות הבאות:

- העדרו של חזון לאומי עם תום עידן "אפולו".
- פשרות ראשוניות שנעשו על מנת שהתכנית תאושר כבר בסוף שנות ה-70.
- שנים ארוכות של אילוצים תקציביים, שגררו פשרות בעיצוב ובבטיחות.
- שינויים בסדרי העדיפויות בתוך נאס"א.
- לחצים של לוח"שיגורים (גם פוליטיים)!
- הגדרה שגויה של המעבורת ככלי מבצעי בשעה שהייתה עדיין רכב ניסויי.

זאת ועוד, הוועדה קבעה שמהשווה בתרבות הארגונית של נאס"א הכיל כבר את ניצני הכשל. ברמת ההצהרות יש בנאס"א מחויבות מלאה לבטיחות, וניתן לראות כמעט בכל מקום שלטים המצהירים:

- Safety is our motto
- If its not safe, say so. Call 1-800...
אולם, במהלך השנים התרבות הזאת הפכה להיות שאננה ונשלטה במידה רבה על ידי אופטימיזם ותחושה של הצלחה. תהליכי שחיקה איטיים ובלתי-מכוונים גרמו לכך שבלמים ואיזונים עצמאיים הוחלפו בתהליכים מנהליים פרטניים ונוצר קונסנזוס בלתי-מוצדק בהקשר לבטיחות, מלווה בתקשורת פנים-ארגונית לא-אפקטיבית.

תחת ערמות של נהלים וישיבות, צצה ביורוקרטיה

אדירה ומסובכת (עד היום, בחדר שלי באו"פ, יש עשרות תיקים עם תדפיסים ותזכירים, שבהם מוגדרים הנהלים). הוועדה קבעה שביורוקרטיה זו הינה אינדיקציה לתרבות ארגונית לא-בריאה. היא קבעה גם שמנהלי תכנית המעבורת הניחו הנחות מוטעות לגבי עוצמת מערכת הבטיחות שלהם בהתבסס על הצלחות העבר, ולא דווקא על סמך מידע הנדסי מוצק ובדיקות קפדניות.

חברי ההנהלה התפסרו בזה אחר זה

ואכן, למרות שינוי רדיקלי בתהליכי הבטיחות בנאס"א אחרי התאונה של המעבורת צ'אלנג'ר ב-1986 נוצרה עם הזמן שחיקה איטית ומתמשכת – תרבות הבטיחות בארגון חדלה לשאול את עצמה שאלות קשות בנוגע לסיכוני טיסה, ונתנה פטור (waiver) לבעיות רבות (יותר מ-3000!). במקום לעבוד לפי "תראו לנו למה זה כן בטוח" השתרשה תרבות של "תוכיחו לנו שזה לא בטוח".

יתרה מזו, קבעה ועדת החקירה, התרבות הארגונית גרמה לכך שלא היה מצב שבו משהו הודה באי-יכולת לבצע או אפילו טען שאסור לבצע בשל חוסר משאבים, פשרות על בטיחות והעדר זמן מספיק. האתוס של נאס"א אמר Failure is not an option – ואתוס כזה היה מושרש עמוק גם בתפיסה של המנהלים, עד כדי כך שהם לא פקפקו ביכולותיהם לתת מענה לכל תקלה אפשרית, בלי שכלל וידאו את חומרתה.

יותר ועדת החקירה ניתח את התנהגות נאס"א בשתי התאונות הקטלניות של הצ'אלנג'ר והקולומביה, וקבע: ...בשתי התאונות היו רגעים שבהם הגדרות המנהלים לרמת הסיכון הקיימת היו ניתנות לשינוי (כלומר, לכיוון החמרה, שאולי הייתה מובילה למניעת התאונה), אולם לא כך קרה, בגלל העדר מידע צילומי, דאגות שלא בוטאו, חששות שהושמטו מתדריכים ואותות חסרים.

המשמעות של הדו"ח הייתה ברורה וכל צוות הניהול הבכיר, החל ממנהלי המשימה וקציני הבטיחות וכלה בהנהלה הבכירה התפסרו בזה אחר זה תוך מספר חודשים, תוך לקיחת אחריות. צי המעבורות קורקע לשנתיים וחזר לטוס רק בשנת 2005, כאשר נקבע שהוא יקורקע עד סוף שנת 2010. רכב החלל המאויש הבא יחזור לטוס במתכונת שיגורי אפולו: חללית על חרטום הטיל ולא בצמוד לו, על מנת למנוע הישנות תקלות מהסוג שהרג את מעבורת החלל וצוותה. תאונת הקולומביה ואובדן הצוות לימדו לקח כואב, שכל ארגון יכול להפיק ממנו תובנות לאופן שבו הוא מתנהל בשגרה ובמצבי חירום ומטפל בבעיות, קטנות כגדולות. &

100 שנים לעיר תל-אביב - כמעט 75 שנים לבורסה

אן זי - פון אינן

הקריאות "אליך", "ממך", בשפה הגרמנית, שביטאו רצון למכור ולקנות מניות ואגרות־חוב - נשמעו ממשרד צנוע בתל-אביב הקטנה של ארץ־ישראל והיוו את ימיה הראשונים של "לשכת החליפין לניירות ערך" ב-1935 • רק 18 שנים מאוחר יותר הוקמה הבורסה לניירות ערך של תל-אביב - חמש שנים לאחר הקמתה של מדינת ישראל • ימיה הראשונים של "לשכת החליפין" היו סיפור ראשית גיבושו של משק יהודי-ישראלי איתן, מלווה בהשקעות שהלכו וגדלו עם השנים • משפחות הבנקאים שהיגרו מגרמניה - הקימו בתל-אביב בורסה לתפארת • **גד ליאור** ליקט מידע ומסמכים נדירים לכבודו של שיעור בהיסטוריה על פרק מתולדות עיר החוגגת בימים אלה את שנתה המאה

« גד ליאור

כוסות גזוז אדמדם היו פזורים על שולחן העץ החום במשרדו של מרדכי פנחס חסון. היו אלה ימי הקיץ האחרונים בחודש ספטמבר 1935. שמונה הגברים שהיו ישובים סביב השולחן חשו שהמדובר ברגע היסטורי. זה עתה הוחלט להקים בארץ-ישראל את לשכת החליפין לניירות ערך, לימים הבורסה של תל-אביב.

היה זה מחזה סוריאליסטי למדי. במשרד הקטן והדחוס, כאשר בחוץ שורר שרב כבד וממושך, עם 35 מעלות חום, סמוך לשדרות רוטשילד, בתל-אביב הקטנה של אותם הימים, שוחחו כל הנוכחים בשפה הגרמנית. גם מר חסון, עיראקי במוצאו, נאלץ ללמוד את השפה, שכן כל המסחר בניירות ערך בשנים הראשונות לבורסה התל-אביבית העתידית התנהלו בשפה הגרמנית.

כמה אירוני: הייקים שהקימו בשלהי שנת 1935 את הבורסה של תל-אביב ניהלו את המסחר בשפה, שבאותם הימים ממש מנהיגיה של המדינה הגרמנית השתמשו בה כדי לרדות ביהודים, לעוצרם, במקרה הטוב לגרשם ובמקרים אחרים גם להביא לסוף חייהם, כבר באותן השנים.

מי שהקימו את הבורסה של תל-אביב היו יהודים חכמים, שהבינו שבגרמניה עתידם נראה שחור מאד, אולם את העסקים שהחלו שם עליהם להמשיך. אז מדוע שלא יעשו כן בארץ-ישראל?

"הלקוחות מקבלים את כספם במאה האחוזים"

שנה קודם לכן הוקם בתל-אביב בנק קולנאשאר-לאואנברג ושות' ובראשו עמדו ד"ר מקס קולנאשאר ואחיו ליאו. כבר ב-1933 קבעו האחים, כי ללא בורסה בתל-אביב יהיה קשה לקיים את עסקי העיר הזאת והארץ היהודית. 19 שנים לאחר מכן, כאשר ליאו קולנאשאר הודיע כי מפאת גילו המתקדם ייאלץ לפרוש מהבורסה המוקמת ממש עכשיו, ב-1953, בתל-אביב, מצאו לנכון ראשי בנק לאומי להודות לו על היוזמה להקמת לשכת החליפין לניירות ערך, במכתב מיום ה-26 בנובמבר 1953 (ראו פרסום ראשון של צילום מסמך זה).

אגב, בהקשר מעט סוריאליסטי לימינו אלה ממש, עם המשבר הגדול בבנקים ברחבי העולם, הגיע לידיו גם פרסום על אודות הסיבה לסגירתו של בנק קולנאשאר-לאואנברג ושותפיהם, שהוקם לצורך ביצוע פיקדונות ומתן הלוואות באמצע שנות

»

