

מקומו של הגורם הטכני בסביבת העבודה של עגורן הצריח

מסקנות מניתוח מקובץ של אירועי בטיחות

מאת ד"ר גבריאל רביב, פרופ' אביעד שפירא, פרופ' משנה ברק פישביין

הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, הטכניון, חיפה

כללי

אפשר להגדיר אירוע בטיחות בפשטות כתאונה או כאירוע כמעט ונפגע (ישנן הגדרות "מקצועיות" יותר לאירועי בטיחות, אך בחרנו להישאר כאן עם הגדרה פשוטנית זו). נשאלת השאלה: מה המסוכנות של אירוע בטיחות? האם היא מתבטאת בתוצאתו של האירוע או בתוצאה שיכולה הייתה לנבוע ממנו? לשם דוגמה, נעריך את האירוע "נפילה מגובה": אפשר לומר שפוטנציאל הסיכון של אירוע זה גדל ככל שגדל הגובה, אך איזו מסקנה נוכל להסיק מאירוע שבו אדם נפל מגובה נמוך (שני מטרים, למשל) אל מותו? יוצא מכך, שמסוכנותו של אירוע נובעת מפוטנציאל הסיכון שלו ולא מתוצאתו בפועל. היטיבו לתאר זאת לפני שנים רבות Heinrich ואחרים (1980), שטענו כי הפציעה היא רק תוצאה של התאונה ואינה חלק מתהליך התרחשותה. הגדרה זו שמה בכפיפה אחת את הפציעה יחד עם האפשרות לפציעה. קביעה חשובה זו הובילה את הפילוסופיה העומדת בבסיסו של המחקר: אירועי כמעט ונפגע הם אירועי תאונה במדרג תוצאה נמוך יותר, ולפיכך, יש לנתח את כל מגוון האירועים במדרג בהתאם לכך.

ההתפתחות שחלה בעשרות השנים החולפות בתיעוש הבנייה בכלל ובבנייה לגובה בפרט מדגישה את חשיבותו של העגורן באתר הבנייה. עגורן הצריח הוא נקודה מרכזית באתר הבנייה, נטוע במקומו למשך חודשים ארוכים, וחלק נכבד מתובלת הציוד והחומרים (אם לא כולה) מתבצע באמצעותו.

כיוון שכך, עגורן הצריח הוא צוואר בקבוק, המרכז סביבו אילוצי זמן ומקום, שגוררים בעקבותיהם גורמי סיכון משמעותיים. גובהו של העגורן ומעטפת העבודה הרחבה שלו, אשר לפעמים אף חורגת מגבולות האתר, מהווים סיכון לא רק לנמצאים באתר עצמו, אלא אף לגורמים מחוצה לו, שאינם מעורבים בתהליך הבנייה. לכן, סביבת עגורן הצריח היא כר פורה להתרחשותם של אירועי כמעט ונפגע ותאונות רבים, שניתוחם יכול להעשיר את הידע על אודות גורמי הסיכון המרכיבים אותה. המחקר שלהלן הדגים ניתוח רב-אירועים (אירועי כמעט ונפגע ותאונות), שהוביל לשיפור ההבנה של גורמי הסיכון בסביבת העבודה של עגורני הצריח.



צילום: מוטי סולטני

כפי שיתואר להלן (17 הגדרות, כגון כשל באביזרי הרמה, עקיפת גובלים מכוונת, כשל בעניינות, טעות של אתת). יתרונה הבולט של מערכת זו הוא קיום של מבנה סדור של קטגוריות ומשתנים, המאפשר זיהוי של כל אירוע בטיחות בסביבת העבודה של עגורן הצריח, באמצעות מספר זיהוי המבוסס על אבני הבניין של המאגר. זאת, הן לגבי האירועים שנסקרו ונחקרו, והן לאירועים שירשמו וינתחו בעתיד. הגדרות אלו הן איכותניות בטבען, אך ביטוי כמותי שלהן הוביל את המחקר לאפשרות של ביצוע מניפולציות סטטיסטיות לשם חלוקתו של מאגר המידע לחמש קבוצות הומוגניות. יצוין כאן כי הן ההחלטה על מספר הקבוצות והן החלוקה לקבוצות בוצעו באופן מתמטי לחלוטין, החף מכל שיקולים טכניים כלשהם העלולים להיות סובייקטיביים. השוואה בין כל קבוצה הומוגנית לבין מאגר המידע כולו הוביל לביסוס הגדרת פוטנציאל הסיכון של אירוע. ביצוע חיתוכים בכל קבוצה הוביל ללמידת תכונותיהם של האירועים וגורמי הסיכון המתוארים בהם כתלות בפוטנציאל הסיכון הגלום בהם.

חלוקת מאגר המידע לקבוצות וקבלת פוטנציאל הסיכון

היות שהמאגר הכיל כמות עצומה של מידע, ניהול ישיר של סיפורי האירועים או ניתוחים כמותיים ישירים אחרים לא היו ישימים, ולכן נבחר יישום שיטות סטטיסטיות מתקדמות לשם ניתוח פוטנציאל הסיכון של האירועים. שיטת "ניתוח אשכולות" (cluster analysis) נבחרה לשם חלוקת מאגר המידע לקבוצות נוחות יותר להתייחסות ולהסקת מסקנות מקובצות. החלוקה יצרה חמש קבוצות הומוגניות בעלות פוטנציאל סיכון, שהוגדר, חשוב, ונחת עבור כל אחת מהקבוצות. קביעת פוטנציאל סיכון "גבוה" או "נמוך" לאירוע בודד או לצבר של אירועים בוצעה יחסית לרמת הסיכון הכללית, המיוצגת על ידי מאגר המידע, ששימש אוכלוסיית בסיס להתייחסות. ולכן, היות שההתייחסות בניתוח היא תמיד כלפי הממוצע של מאגר המידע, ממוצע זה יהיה באופן טבעי אפס (כאשר ערכים חיוביים מייצגים פוטנציאל סיכון גדול מממוצע מאגר המידע, ושליליים - פוטנציאל סיכון נמוך ממנו). פוטנציאל הסיכון תואר בהתחשב בשני היבטי נזק, ההיבט החומרי (Monetary) וההיבט של הפגיעה של אירועי הבטיחות במוניטין



ציור 1 פוטנציאל הסיכון הכולל על פי קבוצות והיבטי הנזק

בשלב הראשון של המחקר נאספו אירועי בטיחות (כמעט ונפגע ותאונות) על ידי ביסוס קשרים עם חברות בנייה מהמובילות במשק, וכן מקורות נוספים. האירועים שנאספו כללו, בסיכומם של דבר, 162 אירועי כמעט ונפגע ו-79 אירועי תאונה בסדר גודל מלא. לאחר מכן, הוקמה מערכת הגדרות של אירוע הכוללת קטגוריות, ומשתנים במסגרת אותן הקטגוריות. כל זאת, לשם פיתוח מודל לתיאור אירוע בטיחות במעורבות העגורן, בצורה מובנית. לצורך כך, יושמו הגדרות מהספרות וכן, נקבעו הגדרות חדשות, תוך ניתוח סיפורי האירועים. כמו כן, הוגדרו שש דרגות חומרה של אירוע, החל מ-(1) אירוע כמעט ונפגע טהור, ועד ל-(6) תאונה קטלנית - דרגות ששימשו את הניתוחים הכמותיים בשלבים העוקבים. בסימום של שלב זה נוצר מאגר מידע של אירועים רבים, ערוך על פי אותה מערכת הגדרות. מאגר המידע שימש בתחילה כבסיס לניתוח רב-אירועים ראשוני. ניתוח זה שימושי במיוחד לשם בחינת אירועי כמעט ונפגע, שהתקבלו ממסגרת מסוימת, כגון חברת בנייה, לצורך הסקת מסקנות ראשוניות. ניתוח כמותי של מאגר המידע הניב חלוקה שלו לחמש קבוצות הומוגניות, שהשוואה בינן לבין מאגר המידע כולו תרמה להבנת המושג "פוטנציאל הסיכון של אירוע". ניתוח פוטנציאל הסיכון של אירועי הבטיחות בסביבת העגורן הוביל למסקנה בולטת בדבר פוטנציאל הסיכון הגבוה של הגורמים הטכניים, לעומת פוטנציאל הסיכון הנמוך, יחסית, של גורמי האנוש בסביבת העבודה של עגורני הצריח. מטבע הדברים, לא אוכל להביא כאן פירוט מלא של הדרך שעשה המחקר, אלא להאיר תחומים נבחרים בדרך המחקר ובמסקנותיו.

מבנה מאגר המידע - דרך מובנית לתיאור אירועי בטיחות בסביבת העגורן

מערכת ההגדרות, כפי שנאספה בסיכומו של התהליך המפורט לעיל, מורכבת מכמה נושאים מרכזיים (קטגוריות) ומשתנים במסגרת אותן קטגוריות. מערך נתונים זה הוקם תוך יישום הגדרות המופיעות בספרות וכן, הוספת הגדרות שעלו מעיון בסיפורי האירועים שהצטברו, תוך כדי קריאתם וניתוחם. להלן, תיאור סכמטי של מערכת הנתונים, כפי שהתהוותה בסיכומו של דבר:

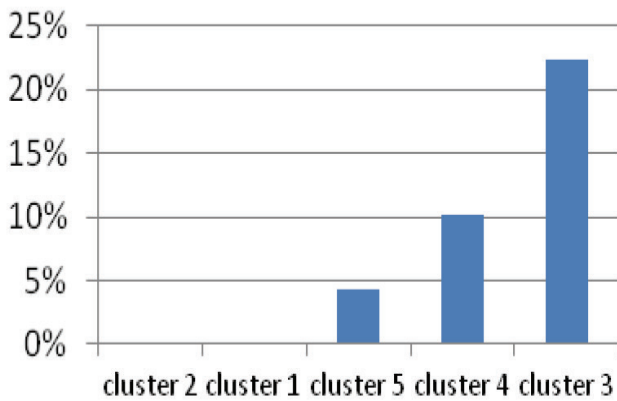
1. נתונים יבשים של האירוע: (1) תאריך, (2) שעה, (3) יום בשבוע, (4) שם הקבלן הראשי באתר העבודה.
2. הגדרת חומרת האירוע בסולם בן שישה שלבים, החל מ-(1) אירוע ללא פגיעה או נזק חומרי כלשהוא; (2) אירוע עם נזק מתחת לסף הנזק הנסבל; (3) אירוע עם נזק מעל לסף הנזק הנסבל; (4) פגיעה קלה; (5) פגיעה קשה; ו-(6) תאונה קטלנית.
3. הגדרת סטטוס העגורן בעת האירוע (עבודה שגרתית, זמנים "מתים" במהלך יום העבודה, ועוד).
4. קביעה אם העגורן נושא מטען (כן, לא, לא רלבנטי).
5. מענה על השאלות היסודיות המרכיבות את האירוע:

מתי? סוג הפעילות שהעגורן ביצע בשעת התרחשות האירוע (11 הגדרות, כגון העמסה, הרמה, תנועה אופקית, הורדה).

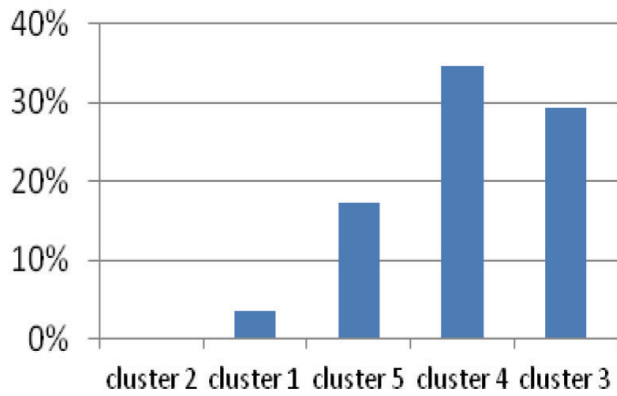
מה? תיאור סוג המקרה על ידי הגורם המשמעותי ביותר, היכול להגדיר את האירוע (למשל, אם אדם נפגע על ידי מטען, וכתוצאה מכך נפל מגובה, יוגדר המקרה כנפילה מגובה), ולכן לכל אירוע תהיה הגדרה אחת בלבד (15 הגדרות, כגון נפילת מטען, נפילת חלקי מטען, נפילה מגובה, לכידה).

למה? תיאור הסיבות לאירוע על ידי שימוש בממד סוגי הכשל,

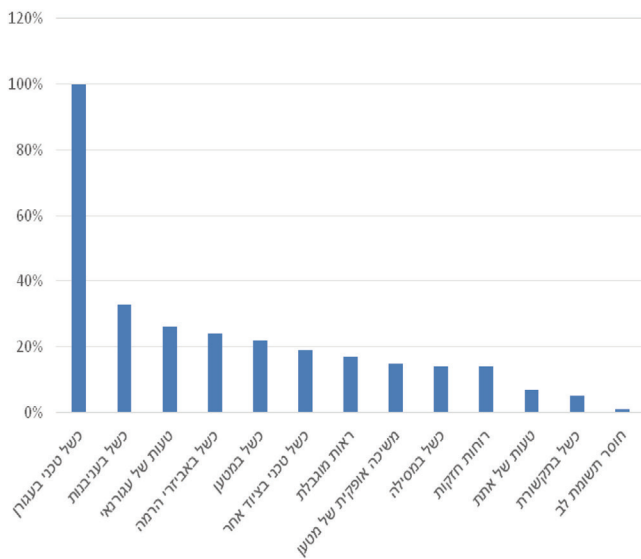
(06) Failure in communication



(07) Inattention



ציור 3 התפלגות המשתנים "כשל בתקשורת" ו"חוסר תשומת לב" בין חמש הקבוצות



ציור 4 מדד פוטנציאל הסיכון של גורמי כשל בסביבת עגורני הצריח

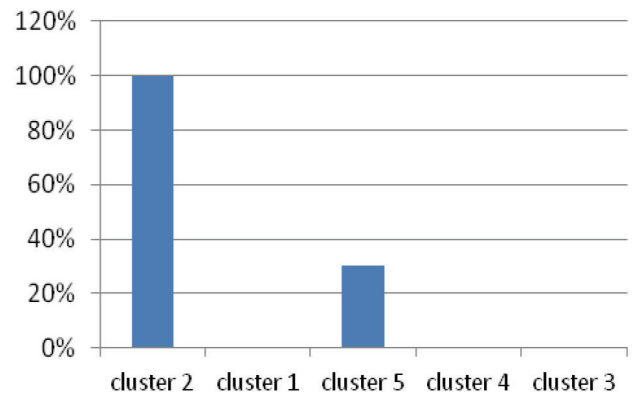
חברת הבנייה אשר במסגרתה התרחש (Reputation). בציר 1 מפורטים ערכי פוטנציאל הסיכון של כל אחת מהקבוצות, בהתייחס לכל אחד משני ההיבטים ובהתייחסות כוללת. יש לשים לב לכך שהקבוצות סודרו על פי ערכים יורדים של פוטנציאל הסיכון.

ניתוח גורמי כשל על פי ערכי פוטנציאל הסיכון

סקירה ראשונית של גורמי הכשל המופיעים באירועים המרכיבים את כל אחת מהקבוצות הראתה ריכוז של גורם הכשל "כשל טכני בעגורן" בקבוצה מספר 2, שזוהתה כבעלת פוטנציאל הסיכון הגבוה ביותר (למעשה כל האירועים המרכיבים קבוצה זו מכילים את גורם כשל זה). יש לציין כי גורם כשל זה מופיע, אם כי באחוזים נמוכים, גם בקבוצה מספר 5, שפוטנציאל הסיכון שלה קרוב למומצע של מאגר המידע. לעומת זאת, נראה כי גורמי הכשל "חוסר תשומת לב" ו-"כשל בתקשורת" מופיעים במסגרת האירועים המרכיבים את הקבוצות בעלות פוטנציאל הסיכון הנמוך. יתרה מזו, נראה כי תאחוז ההתרחשות של גורמי סיכון אלו גדול יותר ככל שפוטנציאל הסיכון של הקבוצה פוחת. ממצא זה מומחש בציורים 2 ו-3, המראים את תאחוז ההתרחשות של גורמים אלו בכל אחת מחמש הקבוצות, המסודרות בסדר יורד של פוטנציאל הסיכון.

(11)

Technical failure in crane



ציור 2 התפלגות המשתנה "כשל טכני בעגורן" בין חמש הקבוצות

ההתרשמות הראשונית המתקבלת מכך היא כי ישנו קשר ישיר בין הגורמים הטכניים לבין פוטנציאל הסיכון, ולעומת זאת, ישנו קשר הפוך בינו לבין הגורמים האנושיים (דהיינו, ככל שפוטנציאל הסיכון פוחת, אפשר למצוא ריכוז גדול יותר של התרחשות מקרים המכילים כשל בגורמי אנוש). הבחנה חשובה זו הובילה ליצירת דירוג מסוכנות של גורמי כשל בסביבת העגורן (ראה ציור 4). מדד המסוכנות של גורם סיכון נקבע באופן השוואתי בין כל גורמי הסיכון המופיעים ברשימה, כאשר הגורם בעל פוטנציאל הסיכון הגבוה ביותר קיבל את הערך 100%, ואילו יתר הגורמים קיבלו ערכים בהתאם, על פי מדד הסיכון שהתקבל בחישוב. יש להדגיש כאן כי הניתוח בוצע לא רק על פי מספר המופעים של גורמי הכשל, אלא גם על פי פוטנציאל הסיכון שלהם. בפסקאות הבאות יפורטו הערכים שהתקבלו עבור גורמי הכשל השונים ותוצע חלוקתם בין הגורמים הטכניים לבין גורמי האנוש.

כשל טכני בעגורן

תאונה היא על ידי מסלולי הגורמים הסמויים (latent conditions) pathways), שהשפעתם נעשית יותר משמעותית ככל שנעסוק במערכות מורכבות יותר. הגורמים הסמויים יכולים להיות בין היתר טכנולוגיים, והשפעתם של המערכת היא כשל נגיף תושב (resident pathogen) בגוף האדם. ההתייחסות המודגמת כאן מתמקדת בגורם הקרוב ביותר לאירוע שעל פי המתואר לעיל יכול להיות ה"מעשה הלא בטוח" (המייצג את הגורם האנושי) או ה"נגיף התושב" (המייצג את הגורם הטכני). יודגש כאן כי האפשרות לקשור את הגורם האנושי בגורם הטכני במעלה הדרך (כדוגמת טכנאי שהתרשל בעבודת אחזקה) לא נחקרה כאן, היות שאינה נמצאת בחוד החנית של האירוע.

סיכום

ההתייחסות לגורם הכשל האנושי על פי מספר המופעים של אירועים הכוללים גורם זה, יחסית לכלל אירועי התאונות בסדר גודל מלא, הובילה להכרה הרווחת בספרות כי לגורם האנושי עדיפות כגורם עיקרי לתאונות עבודה, בייחוד בענף הבנייה. הממצא הבולט ביותר של שיטת ההשוואה המוצעת במחקר זה הוא יצירת מדרג עדיפויות בין הגורמים הטכניים ובין הגורם האנושי. בראש המדרג מופיעים הגורמים הטכניים הטהורים, לאחריהם גורמים מעורבים, ובתחתית המדרג נמצא הגורם האנושי הטהור. אפשר להסביר ממצא זה, היכול להיחשב יוצא דופן בהתייחס למחקרים קודמים, על ידי המתודולוגיה שפותחה במחקר הנוכחי: חישוב הסיכון של אירוע כלשהו (המתבטא במחקר הנוכחי על ידי המושג "פוטנציאל הסיכון") נובע לא רק מספירת אירועים, אלא גם מהתייחסות כמותית לחומרתם של אירועים אלו, דבר שלא בוצע במחקרים קודמים. נראה כי ההסתמכות על ספירה בלבד הובילה להכרה הנפוצה בדבר ראשוניותו של הגורם האנושי במדרג גורמי הסיכון בכלל, ובענף הבנייה בפרט. חשיבותו של ממצא זה מתבטאת בהכרה בדבר עליונותו של הגורם הטכני בסביבת העבודה של עגורן הצריח, שעליה להיות קריאת השכמה לחברות הבנייה בנוגע לבקרת מצבם הטכני של העגורנים, והתוויית תוכנית לשיפור בקרת אחזקתם.

חדשנותו היישומית של המחקר היא בפיתוח מתודולוגיה לחקירה כמותית של אירועי בטיחות רבים וניתוח רמת הסיכון המשתמעת מהם. כתוצאה מכך, ההבנה המשופרת של האירועים הביאה לקריאת תגר על ההנחה הרווחת בדבר ראשוניותו של הגורם האנושי במדרג הסיכון. הכלים שפותחו במהלך המחקר מציעים ניתוח צבר של אירועי כמעט ונפגע, אשר יסופק על ידי מסגרת מוגדרת (כדוגמת אתר בנייה, אזור ביצוע, או חברת בנייה) וניתוח על בסיס הגדרות מאגר המידע ועל פי נתוני פוטנציאל הסיכון, כפי שהוגדר במחקר זה. המחקר עסק בסביבת העבודה של עגורן הצריח, אך השיטה שפותחה ישימה גם להקשרים אחרים, הן בענף הבנייה והן מחוצה לו.

מקורות

- Heinrich, H. W., Petersen, D., and Roos, N. (1980). Industrial accident prevention. McGraw-Hill, New York.
- Reason, J. (1997). Managing the risk of organizational accidents. Ashgate Publishing Company, Burlington, Vt. ■

צירוף 2 מתאר את התפלגות תאוחו מופעי הגורם "כשל טכני בעגורן" בין חמש הקבוצות. ניתן להבחין בכך שמדד הסיכון הגבוה של הכשל הטכני הוא ממצא בולט בגרף זה. כל האירועים המרכיבים את קבוצה 2, שהיא בעלת פוטנציאל הסיכון הגבוה ביותר, מכילים את הגורם "כשל טכני בעגורן". בנוסף לכך, אף כ-30% מהאירועים בקבוצה 5 (המייצגת ערכי פוטנציאל סיכון הדומים לממוצע מאגר המידע) מכילים גורם זה. יתר הקבוצות אינן מכילות גורם כשל זה כלל. מדד הסיכון של משתנה זה התקבל, אם כן, בערך המקסימלי (100%) מכל גורמי הכשל, ובהפרש ניכר מהבא אחריו ("כשל בעניבות", 33%). ממצא זה מדגיש כי הכשלים הטכניים הם גורם סיכון ראשון במעלה בסביבת העבודה של עגורני הצריח.

הגורם האנושי

ערכי מדד הסיכון של משתנים המרכיבים יחדיו את הגורם האנושי בסביבת העבודה של עגורני הצריח ממחישים כמותית את חלוקת המשנה בתוך קבוצה זו: בעוד ערכי מדד הסיכון עבור המשתנים "כשל בתקשורת", "חוסר תשומת לב", ו"טעות של אתר" נמצאים בתחתית הסולם (5%, 0%, ו-7%, בהתאמה), התקבל מדד הסיכון של "טעות של עגורנאי" בערך של 26%, שהוא הערך הגבוה ביותר שנקבע למשתנה כלשהו, המייצג גורם אנושי כלשהו. ממצא זה ממחיש את מרכזיותו של העגורנאי ואת חשיבות מיומנותו למניעתם של אירועי בטיחות חמורים באתרי הבנייה. עם זאת, נדגיש כאן בשנית את משניותו של גורם זה (טעות של עגורנאי, 26%), לעומת הכשל הטכני בעגורן (מדד סיכון 100%). המדגיש את יחסי הגומלין בין הגורם הטכני לגורם האנושי בסביבת העבודה של עגורני הצריח.

תקלות במטענים - שילוב גורמי אנוש וגורמים טכניים

התפלגויות האירועים הגורמים לנפילת מטען מראות דפוס משותף עבור שלושה גורמי כשל: "כשל בעניבות" (מדד סיכון 33%); "כשל באביזרי הרמה" (מדד סיכון 24%); ו"כשל במטען" (מדד סיכון 22%). אירועים הכוללים משתנים אלו מופיעים בעיקר בקבוצה 1 ומיעוטם בקבוצות 3, 4, ו-5. באומדן שמרני אפשר לייחס שלושה גורמים אלו לשילוב במידה שווה של גורמים טכניים ושל הגורם האנושי ולמקם אותם, מבחינת פוטנציאל הסיכון שלהם, בין הכשל הטכני בעגורן ובין גורמי האנוש שתוארו בסעיף הקודם. הגורם האנושי מול הגורם הטכני - רקע תיאורטי להבהרה תיאור התאונה כנובעת משילוב של מסלולים שונים הוצע על ידי Reason (1997). המחקר מבחין בין שני סוגי מסלולים להתרחשות של תאונה: הראשון הוא הכשל הפעיל (active failure), הנובע בראשיתו מגורמים הנטועים בתרבותו של הארגון, ובהמשך בגורמי סביבת העבודה, ובכוחם לעורר מעשה לא בטוח. גורמי סביבת העבודה כוללים, בין היתר, לחץ זמנים, מכשור וציוד שאינם מתאימים, או ממשק אדם-מכונה שאינו ראוי. כל זאת, נקשר בסיכומו של דבר בגורם האנושי ומוביל לשגיאות או להפרות של הכללים המבוצעים על ידי הנמצאים ב"חוד החנית" ("the sharp end"), המקום הקרוב ביותר להתרחשות האירוע. האפשרות השנייה ליצירת