

# הסיכונים שבלחץ

מאת: שלמה איציקובסקי

המאמר הינו שני בסדרה של מאמרים שמטפלים בנושאים הנדסיים שונים, ומציגים בפני הממונים על הבטיחות כלים מובנים שיסייעו להם בביצוע תפקידם.

## מבוא

קיימים סיכונים בכל רמות הלחץ. סופת הוריקו במהירות של 180 קמ"ש יוצרת לחץ דינמי רק של 0.017 אטמ' אך בכל זאת יכולה להחדיר קש לתוך גזע עץ, להרים גג מעל מבנה או למוטט בית. לחץ, בכל מוצר, חייב להישמר ברמה המזערית ביותר אשר עדיין יאפשר פעולה תקינה של המכשיר, ציוד, מכונה.

## סיכוני פקיעה

פקיעה היא פריצה של לחץ מכלי-קיבול כשלחץ ההתפשטות של הזורם בתוך הכלי גבוה מחוזק הדפנות. אם הזורם הוא גז, הוא ממשיך בהתפשטותו גם מחוץ למיכל לאחר פקיעתו ויוצר גל הלם. אם הזורם הוא נוזל, הוא יתפשט לממדיו הטבעיים בטמפ' הנתונה, אך לא ייצור גל הלם. על כן מערכת הידראולית היא באופן כללי בטוחה יותר, בנקודת לחץ מסוימת, ממערכת פנאומטית באותם הנתונים. העלאת טמפ' של הגז או הנוזל תגרום לעליה בלחץ, דבר העשוי לגרום לפקיעת המיכל. מסיבות אלו קיימת אזהרה על מיכלי לחץ מפני השלכתם אל תוך האש, וחלקם אף צוידו בשסתומים פורקי לחץ. ולכן, מיכלים בלחץ אין למקם בסמיכות למקורות חום או חשיפה ישירה לשמש, באם יש חשש שהלחץ בהם יגרום לפקיעה. הלחץ הפנימי אינו חייב להיות גבוה על מנת לגרום לפקיעה. לדוגמה, אנשים רבים נפגעו כתוצאה מפקיעת בקבוקי משיקה מפלסטיק.

## סיכוני לחץ דינמי

הכוחות המשתחררים, כאשר שסתום או מחבר תחת לחץ משתחרר גרמו לתאונות מחרידות. מיכלי גז לא מאובטחים, במקרים של פקיעה, עפו כמו טילים. התרוקנות של מיכל בלחץ או כתוצאה מדליפה, גרמו לפיצוץ ולהעפה של חלקים לתוך אנשים ופציעות חמורות. עובדים במערכות תחת לחץ שלא שיחררו את הלחץ לרמת הסביבה נפגעו בצורה קשה ביותר הן מזרם הגז והן מחלקי מתכת. מוצרים תחת לחץ חייבים בשסתומים לפריקת לחץ אם ישנה כוונה להפעילם. פקק פלסטי של בקבוק שמפניה שנורה מהבקבוק, פגע ועיוור אדם שניסה לפתוח אותו.

## סיכוני לחץ סטטי

לחץ סטטי במיכל גבוה, המכיל נוזל, עשוי להיות מספיק על מנת לגרום לפקיעת המיכל. גם לחץ שלילי (תת – לחץ) עשוי לגרום לקריסת דפנות המיכל המתוכנן רק ללחץ פנימי חיובי. לחץ בתוך מיכל סגור המכיל אדים או קיטור מעובה, עשוי לצנוח אל מתחת ללחץ המתוכנן. אם הפרש הלחצים מספיק גדול (בין הלחץ החיצוני לפנימי), הלחץ החיצוני עשוי לגרום למעיכה וקריסה.

### סיכונים מהצלפת זרנוק

זרנוק או קו תחת לחץ שאין לו קצה מאובטח כראוי, או שהקצה נשבר, יש לו נטייה לתנועה לא מבוקרת בכיוון, דבר שעשוי לגרום לפגיעה. גם זרנוק מים, אפילו בלחץ נמוך, יש לו נטייה כזאת כשאינו מוחזק היטב בקצה.

### סיכוני הלם הידראולי

הלם הידראולי היא תופעת זעזוע הנוצר מתנועת נוזל הנעצר לפתע, ההלם יכול להיות מספיק חזק לבקיעת צנרת, שסתום או מיכל. הלם נוזל יוצר גם רעש, רעידות וזעזועים המגדירות את הבעייתיות.

ניתן בדרך כלל להימנע מכך על ידי מניעת סגירות פתח של שסתומים או פתיחתם המהירה או באמצעות שימוש באקומולטורים (מצברים הידראוליים) מתאימים. תופעה נוספת ודומה מופיעה בהזרמת קיטור בצינורת בהם נתפסו מים בכיסים. כאשר מזרימים אדים בצנרת כזאת נדחפים המים בכוח אל פינות, כיפופים, שסתומים ומחברים אחרים העשויים להיפגע ולהינזק.

### סיכוני דליפות

דליפות הן מקור לתקלות וסיכונים רבים. דליפת גז יכולה לגרום לפגיעה בעיניים ואם הלחץ גבוה גם לקטיעת אצבעות.

דליפת נוזל או גז יכולה לגרום לדליקה, הרעלה, עיכול חומרים, הפצת צחנה, פיזור שומנים והחלקה ו/או מקור לזיהום לציוד ולעובדים. אובדן לחץ כתוצאה מדליפה יכול לגרום לעצירת תהליך או ציוד. דליפות זה גם פליטות גזי דלק לא שרוף מספיק, זרימת מי קירור אל מחוץ למערכת, חוסר שימון או הספקות אחרות בציוד וחומרים.

### סיכוני לחץ – רשימת תיוג

סיבות אפשריות	השפעות אפשריות
<p><b>לחץ גבוה</b></p> <p><u>לחץ יתר:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- בקיעת מיכל או מערכת כתוצאה מלחץ יתר לא מתוכנן.</li> <li>- כשל בפורקי לחץ יתר.</li> <li>- חימום יתר של גז במיכל סגור.</li> <li>- חימום נוזל בעל לחץ אדים גבוה.</li> <li>- הלם מים (הלם הידראולי).</li> <li>- שקיעה עמוקה.</li> <li>- תאוצות גבוהות של מערכת הידראולית.</li> <li>- חימום של נוזלים קריאוגניים (נוזלי קירור בטמפ' נמוכות מאד) בחללים סגורים או לא מאווררים מספיק.</li> <li>- תהליך דחיסה וחימום מאד מהיר של נוזלים, אדים או מיכלים בלחץ.</li> </ul> <p><u>כשל בשסתומי פריקת לחץ:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- אין שסתום פריקת לחץ או פתח מוצא.</li> <li>- שסתום פריקת לחץ או פתח מוצא שגוי.</li> <li>- שסתום לא מתאים.</li> </ul> <p><u>כשל בלחץ רגיל</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- החמרה בלחץ של המיכל או הקו.</li> <li>- חיבורים לא מתאימים ולקויים.</li> <li>- כשל או שיחרור לא מתאים של מחברים.</li> <li>- מתקני ריסון לא מתאימים או לקויים.</li> </ul>	<p><b>לחץ גבוה</b></p> <p><u>פציעות:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- נזקים לעין או לעור כתוצאה מדליפה, פגיעה, או חלקים עפים.</li> <li>- פגיעה בעובד כתוצאה מצלילת זרנוק.</li> <li>- נזקים לריאות, אוזניים ואיברים נוספים בגוף כתוצאה מלחץ יתר.</li> <li>- חתכים כתוצאה מזרם דק ובעל לחץ גבוה של גז או נוזל.</li> </ul> <p><u>בקיעת מיכלים (מלחץ פנימי) או קריסה (מלחץ חיצוני)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- השפעת התפוצצות.</li> <li>- חלקים שנקרעו ממיכלים מתפזרים בסביבה.</li> </ul>

<p><b>דליפות</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- איבוד מאגרים:</li> <li>• כתוצאה מכמות עודפת במיכל.</li> <li>• כתוצאה מפריצת מחבר או ברז.</li> <li>- חלקים לא מותאמים מספיק או מהודקים יתר על המידה.</li> <li>- חלקים או מחברים בלויים או שחוקים.</li> <li>- חלקים משוחררים כתוצאה מרעידות.</li> <li>- סדקים כתוצאה מתכנון מבני לקוי.</li> <li>- נקבוביות או כשלים בריתוך.</li> <li>- שטחי מגע ללא גימור מתאים או מלוכלכים.</li> <li>- דגמים לא מתאימים של אטמים ומחברים.</li> <li>- חתכים ופגמים באטמים, מחברים או בתי-אטמים.</li> <li>- בתי-אטמים פגומים כתוצאה מבלאי, פיתול או החמרה בתנאי העבודה.</li> <li>- התהוות נקב כתוצאה מפגיעה מכנית.</li> </ul> <p><b>לחץ נמוך</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- כשל במדחס או במשאבה.</li> <li>- ניזול או קירור גז במערכת סגורה.</li> <li>- ירידה/נפילה בנפח הגז כתוצאה מבעירה בנפח סגור.</li> <li>- תכנון לא מתאים כנגד כוחות קריסה.</li> <li>- שינויים בגובה.</li> </ul> <p><b>שינויים בלחץ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- לחץ גזים גבוה.</li> <li>- התרחבות מהירה של גז.</li> <li>- שינוי מהיר בגובה.</li> <li>- תנועה מהירה מתחת למים אל פני המים.</li> <li>- הפחתת לחץ כתוצאה מפיצוץ.</li> </ul>	<p><b>דליפות</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- דליפות בקווי הספקה וציוד, המתוכנן ללחצים נמוכים יותר.</li> <li>- פריצה של אטמים.</li> <li>- שיחרור חומרים רעילים, מעכלים, בעירים, צחנה, נוזל בטמפ' גבוהות.</li> <li>- איבוד של זרימה במערכת.</li> <li>- פליטה מוקדמת של דלק.</li> <li>- איבוד לחץ במערכת.</li> <li>- איבוד שימון.</li> <li>- זיהום ופגיעה בחומרים.</li> <li>- היווצרות אזורים חלקלקים.</li> <li>- פגיעה במעגלים ובציוד אלקטרוני.</li> <li>- החלפת אוויר או גזים בנוזלים.</li> <li>- רעש ורעידות.</li> </ul> <p><b>לחץ נמוך</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- מערכת לא מתפקדת.</li> <li>- קריסה פנימה של מיכלים.</li> <li>- חוסר אוויר לנשימה או אורור.</li> <li>- נזק גופני (קריסת ריאות).</li> </ul> <p><b>שינויים בלחץ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- חימום נפחים בלחץ.</li> <li>- קירור בשיטת ג'אול – טומפסון.</li> <li>- הפרעות מבניות (כיפופים, מחברים, מעברים צרים).</li> <li>- עיבוי הלחות.</li> </ul> <p><b>שונות</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- פריצה של אטם או חותם.</li> <li>- עיוות קבוע במתכות המיכל.</li> <li>- פעילות הידראולית או פנאומטית בהפעלת הציוד בצורה מוגזמת ומהירה.</li> <li>- אי אטימה מיטבית ומושלמת של מיכלים המכילים גזים.</li> </ul>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### רשימת תיוג לבדיקה וטרם תכנון – סיכוני לחץ

1. האם מיכל הלחץ מתוכנן ומיוצר בהתאם לתקנים נדרשים ומקובלים?
2. האם לחץ העבודה של המיכל תוכנן בהתאם לתקנים או כללי בטיחות נדרשים ומקובלים?
3. האם המיכל נבדק ללחץ עבודה וללחץ פקיעה והדבר סומן עליו?
4. האם כל הקווים והמחברים מתאימים ללחצי עבודה בהם הם נדרשים לעמוד? האם הם נבחנו, נבדקו ונמצאו מתאימים ללחצים השונים?
5. האם צנרת גמישה, המחברים והחיבורים בה, מאובטחים מפני צליפה במקרה של תקלה?

6. האם מערכת הלחץ ממוקמת בסמיכות או עשויה להיות מוצבת במקום בו הטמפרטורות גבוהות מאד ועשויות להשפיע על עלית לחץ פנימית במערכת?
7. האם קיימת אפשרות מקרית לחיבור המערכת אל מקור לחץ הגבוה מהמותג במערכת הקיימת או חלקים ממנה?
8. האם המיכל, הצנרת ואביזרים אחרים שעשויים להיות בלחץ מעל המותר, מצוידים בשסתומי פריקת לחץ יתר, או פתחי אוורור או דסקיות פריצה?
9. האם שסתום פריקת הלחץ, פתחי האוורור או דסקית הפריצה מכוונים ללחץ הנמוך יותר מהלחץ העשוי לגרום לנזק במערכת?
10. האם כיוון הפליטות משסתומי פריקת הלחץ השונים מכוונים כך שלא יגרמו לפגיעה או ייצרו בעיה בטיחותית?
11. האם קיים חלק או מיכלול במערכת שתחת לחץ, שאם יורכב הפוך או בצורה לא מתאימה, עשוי לגרום לתאונה?
12. האם ננקטו אמצעים מתאימים למניעת הרכבת חלקים או מיכלולים בצורה שגויה או לא בטיחותית?
13. האם כל מיכל או צנרת, המכילים חומרים דליקים, רעילים, מעכלים או כל חומר מסוכן אחר, מסומנים בצורה ברורה ומזהים היטב?
14. האם המוצר, המיכלול, חלק או צנרת מסומנים כראוי עם אזהרה המחייבת שלפני כל טיפול בהם יוסדר תחילה הלחץ ללחץ האטמוספרי הלא מסוכן?
15. האם קיימים אמצעים בטיחותיים לשיחרור הלחצים העודפים במערכת כך שתימנע פגיעה בעובד המתחזק?
16. האם קיימת במערכת הידראולית בטיחותית קריטית, בה כשל עשוי לגרום לפגיעה, מערכת התראה אור קולית המתריעה מפני פעולה שגויה של המפעיל והעשויה לגרום לפגיעתו, אלא אם ננקטו צעדי מנע מתאימים, והאם מערכת ההתראה ממוקמת במקום הנראה והנשמע למפעיל?
17. האם קיימת אפשרות לדחיסת נוזל במערכת סגורה?
18. האם המוצר מכיל או משתמש בנוזלים קריאוגניים (גזים מונזלים בטמפ' מאד נמוכות) או בעלי לחץ אדים גבוה בתוך מיכלים סגורים ואשר עשויים בשוגג להיחשף לחום?
19. האם הצנרת להולכת נוזלים מכילה שסתום סגירה מהיר או שיטות ניתוק אחרות ואשר יכולות להשפיע במקרה של הלם הידראולי ו/או גל הלם?
20. האם קיימת אפשרות במיכלים סגורים לקריסה בגלל עיבוי אדים או גזים אחרים, שינוי בגובה או פעולה מוגזמת של משאבת תת-לחץ? האם מוצר כזה או מערכת בלחץ מכילה שסתום שיחרור תת-לחץ?
21. האם במכווני מדידת לחץ ישיר קיימת זכוכית בטחון או פלסטיק וגם דסקית פריצת לחץ יתר?
22. האם בקווי צנרת העשויים להיחשף להפרשי חום מותקנים התקנים לאפשר התארכות או התכווצות?
23. האם צנרת גמישה מוגנת מפני פגיעה מכנית, שפשוף, פיתול או פגיעות אחרות?
24. אם קיים מצבור (אקומולטור), האם מותקן בו מתקן התראה ללחץ עבודה מרבי?
25. האם קווים הידראוליים ממוקמים מתחת לקווים חשמליים, קווים חמים או קווים אחרים שדליפה עליהם עשויה לגרום לנזק או לשריפה?