

שנאד מגזין מבית

הנדסת מים

גיליון מס' 129 | ספטמבר 2021 מגזין המים הישראלי



מבחני ביצועים הידראוליים במשאבות צנטריפוגליות

גלעד דגני - מנהל הנדסה ופיתוח, מדרן טכנולוגיות, קיבוץ מעגן מיכאל

בין אם מדובר במשאבה חדשה, משומשת או משאבה ששופצה לאחרונה, ביצוע מבחן הידראולי להבטחת ביצועי המשאבה טרם מסירתה ללקוח, הינו שלב קריטי להשלמת כל פרויקט

בדיקות ביצועים הידראוליים למשאבה, מאפשרות קבלת תמונה רחבה על מצב המשאבה ועמידתה בביצועי המקור אשר הוגדרו על ידי היצרן. על ידי ביצוע בדיקת ביצועים במבדקה תקנית, מבטיח לעצמו משתמש הקצה, מבעוד מועד, כי לאחר הובלת המשאבה, התקנתה בשטח והפעלתה, תספק המשאבה את הביצועים אותם היא תוכננה לספק.

בדיקה זו מבוצעת על פי רוב במפעל היצרן אך יכולה גם להתבצע במתקן מבדקה מאושר של גורם שלישי המקובל, הן על היצרן והן על הלקוח. נתוני הביצועים של יחידת השאיבה בפועל, מאומתים על ידי ביצוע בדיקת ביצועים הידראולית של יחידת השאיבה במתקן בדיקה תקני, המדמה את פעולתה ביישום הנדרש. בדיקת הביצועים ההידראוליים, מאשרת את נתוני ספיקת המשאבה, העומד המתפתח וכמובן את ההספק החשמלי הנצרך על ידי יחידת השאיבה. יחידת השאיבה, נבדקת בנקודות עבודה שונות על פני עקומת העבודה שלה, ותכלול את נקודת העבודה העיקרית הנדרשת בצירוף נקודות עבודה אופציונליות נוספות, החל מבדיקת עומד במגוף סגור (ספיקה אפס) וכלה בנקודת ספיקה מרבית המתאפשרת במסגרת מגבלות הספק המנוע המוצמד ליחידה.

ביצועי משאבות ביישומי שאיבה שונים, מיוצגים על ידי דרגות סבולת מותרות על פי תקן. דרגות סבולת מותרות אלו מתייחסות לנתוני ספיקה, עומד, הספק הידראולי וכמובן נגזרתם של שלושת אלו, המתוארת ביעילות ההידראולית של מכלול השאיבה עצמו. עומד היניקה החיובי הנדרש (NPSHr) נכלל גם הוא במקרים מסוימים במסגרת בדיקות הביצועים הנדרשות על ידי הלקוח, במיוחד במצבים בהם נדרשת יחידת השאיבה





כפי שניתן לשער, תוצאות בדיקת יחידת השאיבה בפועל, יכלו חריגות מסוימות מהערכים המוצהרים. זאת בעיקר מכיוון שכתוצאה משנויות קלות בהליך הייצור, לא ייתכנו שתי יחידות שאיבה זהות לחלוטין בביצועים שלהן.

לשם כך, קבעו מכוני התקינה הבינלאומיים, דרגות סבולת מותרות, בהתאם ליישום ולשירות הנדרש מיחידת השאיבה. דרגת הסבולת המותרת, עשויה להשתנות בהתאם לייעוד ולחשיבות היישום בו מותקנת יחידת השאיבה. משתמש הקצה או היועץ/ מתכנן מטעמו, צריך לציין את דרגת הסבולת הנדרשת כבר בשלב ההזמנה, כך שיצרן המשאבות ידאג לתכנן מראש את רמת העיבוד/גימור והרכבה של יחידת השאיבה, להתאמתה המושלמת לנקודת העבודה הנדרשת ולקבלת תוצאות בדיקה מתאימות לדרגת הסבולת הנדרשת.

משתמשי קצה ומתכננים רבים, אינם מודעים להשפעות בחירת דרגת הסבולת הנדרשת. בחירה לא נכונה עלולה לגרום לאי התאמתה של יחידת השאיבה ליישום המיועד, ובמקרים רבים אף תגרום לעלייה משמעותית בעלותה הראשונית של היחידה עצמה ולהארכת זמן האספקה שלה, שכן היצרן יידרש להשקיע משאבים רבים יותר בייצורה.

יש להקדיש מחשבה רבה לבחירת דרגת הסבולת המתאימה ליישום הנדרש. דרגת סבולת מתירנית יותר, תאפשר בחירת משאבה קטנה יותר ואף מנוע

לעבוד בתנאי עומד יניקה שלילי כתוצאה מהפרשי גובה טופוגרפיים או כתוצאה מהיתכנות עבודתה בתנאי תת לחץ (מערכת סגורה לאטמוספירה).

מסיבות אלו, אימצה תעשיית המשאבות, תקני בדיקה המשמשים לפרוט התהליך לבדיקת משאבות צנטריפוגליות ולהגדרה מוסכמת, האם המשאבה עמדה במפרט הביצועים הנדרש על ידי משתמש הקצה ובזה המוצהר על ידי היצרן.

על משתמש הקצה לוודא כי תקן הבדיקה, בשילוב עם דרגת הסבולת הנדרשת, מוגדר כהלכה מההתחלה בחוזה הרכש, בהתבסס על דרישות המערכת בשטח.

תקני בדיקה מקובלים בארץ ובעולם

הטבלה להלן, מפרטת את דרגות הסבולת השונות ואת אחוזי הסטייה המותרים בכל אחד מהמדדים המרכזיים בביצועי יחידת השאיבה (עומד, ספיקה, הספק נצרך על ציר המשאבה וכמובן יעילות הידראולית). כאשר דרגת הסבולת הנמוכה (מתירנית) ביותר, הינה דרגה 3B, ודרגת הסבולת הגבוהה (מחמירה) ביותר, הינה דרגה 1U. טבלה זו, מבוססת בעיקרה על בדיקות המוגדרות על פי תקן ISO 9906 (2012) הבינלאומי, אך תקפה גם לדרישות התקן של המכון ההידראולי האמריקאי HI 14.6-2016. כמו כן, ניתן להשתמש במפרטים של האגודה האמריקנית להנדסת מכונות (ASME) והמכון האמריקאי לנפט (API) עם תוצאות שוות ערך.

Test parameter	Guarantee requirement	Grade	Grade 1			Grade 2		Grade 3
		Δt_Q	10%			16%		18%
		Δt_H	6%			10%		14%
		Symbol	Acceptance grade					
			1B	1E	1U	2B	2U	3B
Rate of flow	Mandatory	t_Q (%)	± 5%	± 5%	0% to + 10%	± 8%	0% to +16%	± 9%
Total head	Mandatory	t_H (%)	± 3%	± 3%	0% to + 6%	± 5%	0% to +10%	± 7%
Power ^a	Optional (either/or)	t_P (%)	+ 4%	+ 4%	+ 10%	+ 8%	+ 16%	+ 9%
Efficiency ^a		t_η (%)	− 3%	− 0%	− 0%	− 5%	− 5%	− 7%

- צורת עקום המשאבה ועקום המערכת, הן כאלה שלכל שינוי קטן באחת, יש השפעה משמעותית על השנייה. זהו מאפיין מערכת שיכול להשפיע באופן משמעותי על ביצועי המשאבה ביישום ויכול להשפיע על ההחלטה על דרגת הסבולת הנדרשת.

- משאבות המיושמות במערכת בעלת עקום פעולה שטוח יחסית, אשר ידרשו שליטה מדויקת יותר בפעולתן ומכאן בעמידתן המדויקת בנקודת העבודה שהוגדרה.

- יישומים בהם נבקש להימנע מלקיחת מקדמי בטחון מוגזמים בנקודת העבודה הנדרשת, ובכך להימנע מתכנון יתר של ציוד השאיבה עצמו. לדוגמה, קביעת עומד משאבה נדרש הגדול משמעותית מעומד המערכת הנדרש בפועל.

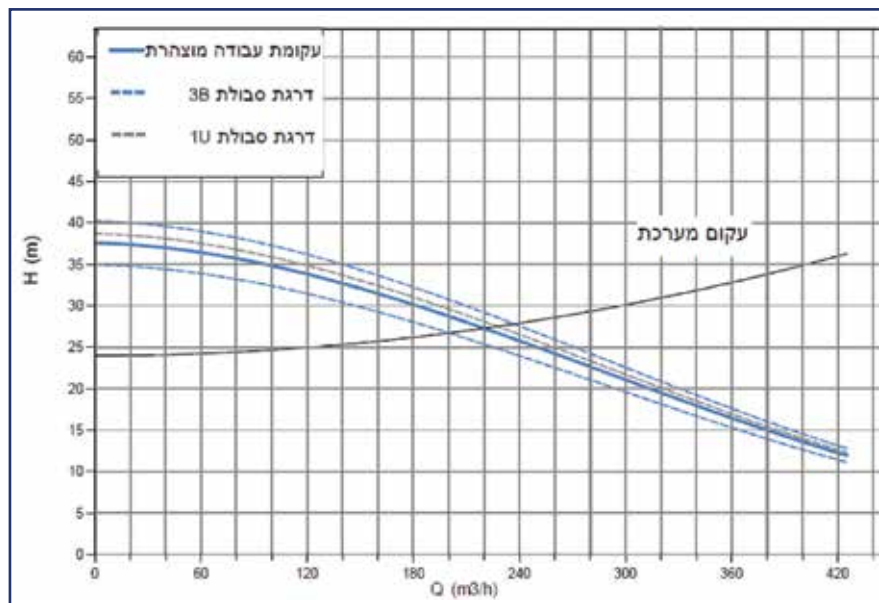
- יחידות שאיבה גדולות, הצורכות הספק חשמלי גבוה יחסית. ביחידות כאלו, בין אם בהתקנה אופקית, אנכית, טבולה או חצי טבולה, כל עשירית אחוז ביעילות ההידראולית של מכלול השאיבה, יתורגם לעלויות אנרגיה עצומות לאורך שנות חיי יחידת השאיבה.

בדיקת ביצועים בנוכחות עד

על משתמשי הקצה לציין בחוזה הרכישה, אם הינם מעוניינים לקחת חלק ולהיות נוכחים במבחן הקבלה או שלא יהיו עדים לו. לבדיקה בנוכחות עד, תיתוסף על פי רוב, עלות נוספת בשל ההכנות המיוחדות הנדרשות, ובשל הגדרת חלון הזמן הספציפי לביצוע המבחן. עם זאת, נוהג זה מאפשר לרוכש להיות נוכח במהלך הבדיקה ואיסוף הנתונים. דבר המבטיח את תקינות הבדיקה, אימות הנתונים המתקבלים והכנה טובה יותר לקראת הפעלתה ובדיקתה של יחידת השאיבה מאוחר יותר בשטח. מתקני בדיקה מתקדמים, מציעים אפשרות נוספת של ביצוע מבחנים בנוכחות עד, אך מרחוק, באמצעות מצלמות אינטרנט ושיתוף מסך בזמן אמת. אפשרות זו, הופכת פופולרית יותר ויותר בימנו בשל מגבלות המרחק הגיאוגרפי והריחוק החברתי הנדרש.

מבדקת מדן טכנולוגיות שבקיבוץ מעגן מיכאל

חברת מדן טכנולוגיות, מחזיקה במבדקת ביצועים הידראוליים מהמתקדמות מסוגן בישראל. מבדקה זו מספקת שירותי בדיקות ביצועים לכלל סוגי המשאבות: משאבות טורבינה אנכיות, משאבות באר טבולות, משאבות טבולות לביוב וניקוז, משאבות יניקת קצה אופקיות במבנה מונבולוק ובמבנה ציר חשוף, משאבות יניקה עצמית, משאבות וואקום טבעת מים ועוד סוגים רבים אחרים. המבדקה מספקת שירותים אלו עבור משאבות מכלל היצרנים בעולם ומוכרת על ידי מקורות - חברת המים הלאומית, כלל המפעלים ותאגידים מים בישראל, בתי זיקוק לנפט, חברת החשמל, מפעלי



גרף עבודה להמחשת הסטייה המותרת על פי דרגת סבולת 1U, לעומת דרגת סבולת 3B

קטן יותר. יחידת שאיבה זו, תעלה פחות ברכישה הראשונית, ובנוסף תפחית את צריכת האנרגיה הנדרשת ולמרות כל זאת, עדיין תתאים לטווח העבודה הנדרש.

בגרף זה, אשר מציג את סטיית העומד האפשרית מעקום העבודה המוצהר לזה המאושר בפועל על פי דרגת סבולת 3B לעומת זה המאושר בפועל על פי דרגת סבולת 1U. ניתן לראות כי בעת בחירת דרגת סבולת 3B, אנו מאפשרים ליצרן, לספק יחידת שאיבה אשר הסטייה המותרת בעומד אותו תפתח המשאבה, עשויה לנוע בטווח של -7% עד $+7\%$ מהערך המוצהר בפועל. כלומר, אם ניקח לדוגמה, נקודת עבודה של 240 מ"ק"ש, בה העומד המוצהר הינו כ-26 מטר. בנקודה זו, העומד שיתקבל בפועל יכול לרדת עד כ-24 מטר.

לעומת זאת, בעת בחירת דרגת סבולת 1U, אנו מאלצים את היצרן, לספק יחידת שאיבה אשר הסבולת המותרת לעומד אותו תפתח המשאבה, תנוע כלפי מעלה בלבד עד כדי $+10\%$ מהערך המוצהר. ברמת סבולת זו, לא תתאפשר כל סטייה כלפי מטה מהערך המוצהר.

סיבות עיקריות להגדרת דרגת סבולת מחמירה יותר

- יישומים קריטיים הדורשים ביצועי משאבה מדויקים.
- כאשר פעולה תקינה של המערכת דורשת התאמה לביצועים של מספר משאבות. לדוגמה, מספר משאבות הנדרשות לעבודה במקביל, משאבות אלו, נשלטות ביתר קלות אם עקומות העבודה שלהן דומות.

יש להקדיש מחשבה רבה לבחירת דרגת הסבולת

המתאימה ליישום הנדרש. דרגת סבולת מתירנית יותר, תאפשר בחירת משאבה קטנה יותר ואף מנוע קטן יותר. יחידת שאיבה זו, תעלה פחות ברכישה הראשונית, ובנוסף תפחית את צריכת האנרגיה הנדרשת ולמרות כל זאת, עדיין תתאים לטווח העבודה הנדרש



**הדרך היחידה בה יכול מתכנן
או משתמש קצה להבטיח כי
ביצועי יחידת השאיבה הנרכשת,
יתאימו לאלו הנדרשים על
ידי היישום, היא על ידי ביצוע
מבחן ביצועים במבדקה תקנית,
טרם מסירת יחידת השאיבה
והתקנתה בשטח**

ים המלח וחברות מובילות רבות נוספות. וכן על ידי משרדי התכנון המובילים בארץ העוסקים בתכנון תחנות שאיבה ובאפיון ציוד שאיבה ככלל.

מבדקת מדן טכנולוגיות, מאפשרת ביצוע בדיקות ביצועים מלאות למשאבות בספיקה מרבית של 2,500 מ"ק/ש, לעומד מרבי של 400 מטרים ובהספק מרבי של 550 כ"ס. מדידת ההספק הנצרך על ידי יחידת השאיבה והמנוע, מתבצעת באמצעות מד מומנט מתקדם אשר ממוקם בין ציר המשאבה לציר המנוע ומאפשר בכך הפרדה מוחלטת ומדויקת בין היעילות ההידראולית של המשאבה, לבין היעילות האנרגטית של המנוע. כמו כן, נושאת מדן טכנולוגיות בפיתוח בלעדי וראשון מסוגו בעולם של מתקן אלחוטי, למדידת כוחות ציריים המתפתחים בעבודת משאבות טורבינה אנכיות המיוצרות לקידוחים עמוקים. מתקן זה מספק מדידה מדויקת בזמן אמת של כוחות אלו, ובכך מאפשר חישוב ותכנון נכון ומדויק של מערך המפוקים הנדרש להתקנת ציוד השאיבה בקידוח. יכולת מדידת NPSHr (עומד ניקה חיובי נטו נדרש) במשאבה, הינה פרמטר נוסף הניתן לבחינה מדויקת במבדקת מדן טכנולוגיות מבדקת מדן טכנולוגיות, הינה המבדקה היחידה בישראל לביצוע בדיקה זו.

בתום כל מבדק ביצועים במבדקה, מופק דוח ביצועים בתקן בינלאומי המפרט בתוכו את פרטי המשאבה והמנוע שנבדקו, כלל נקודות העבודה שנמדדו וכמובן את הפרמטרים שנמדדו בכל אחת מהן. בנוסף בדוח, מצורפת תצוגה גרפית מלאה של הפרמטרים העיקריים הנדרשים על פי התקן - גרף ספיקה כנגד עומד, גרף הספק הידראולי וגרף נצילות הידראולית. במבדק ביצועים הכולל בדיקת NPSHr, יצורף גם גרף מדד זה.

לסיכום

ישנה חשיבות רבה להגדרת רמת הסבולת הנדרשת לביצועים ההידראוליים של יחידת השאיבה עוד בשלב האפיון, וכתובת מפרט הדרישה על ידי המתכנן או משתמש הקצה. בנוסף נציין כי הדרך היחידה בה יכול אותו מתכנן או משתמש קצה להבטיח כי ביצועי יחידת השאיבה הנרכשת, יתאימו לאלו הנדרשים על ידי היישום, היא על ידי ביצוע מבחן ביצועים במבדקה תקנית, טרם מסירת יחידת השאיבה והתקנתה בשטח. ביצוע מבחן זה בנוכחות המתכנן או משתמש הקצה, ימנע חילוקי דעות והשגות עתידיות של שני הצדדים, בכל הנוגע לביצועיה ותקינותה של יחידת השאיבה המסופקת. 

