

שיפור יעילות קו הזרימה על ידי צמצום הפסדי אנרגייה באמצעות שסתומי אוויר

ד"ר שרון ניב*



איור 1



איור 2



איור 3: מפל לתא רטוב

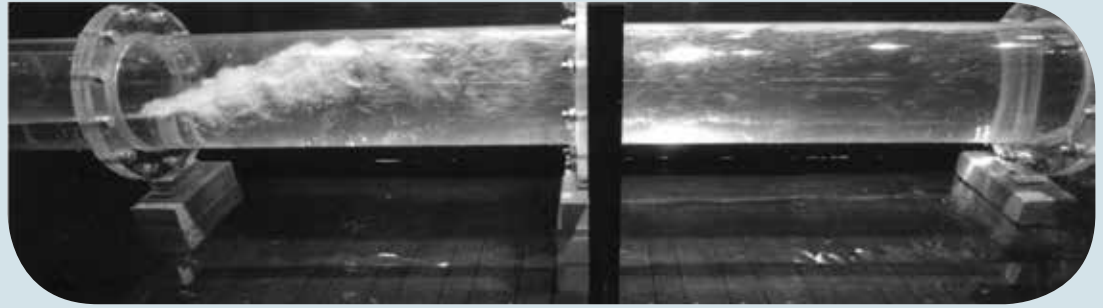
נוכחות אוויר הינה בעיה נפוצה מאוד במערכות הידראוליות להולכת סים ושפכים. לבעיה זו יש השלכות כלכליות (איבודי אנרגיה, נזק למערכת ההולכה, שחיקת אביזרים, היווצרות קורוזיה) ותפעוליות (הפחתה ביכולת העברת הנוזל בצינור כתוצאה מהיצרות שטח חתך הזרימה). שסתומי אוויר הינם הדרך היעילה ביותר להוצאת אוויר ממערכות הולכת סים ושפכים

מקורות האוויר במערכות הידראוליות

- ניקוז או ריקון הקו
- מפל לתא רטוב
- הפרש גבהים בזרימה
- טורבולנציה בשאיבה
- זנק הידראולי
- מערבולות
- יניקת אוויר אל תוך המערכת
- חחדרת אוויר / חמצן / אוזון במכונן
- אוויר מומס בנוזל
- התחממות הנוזל
- ירידת לחץ
- פליטה של גזים תוצרי תהליך ביולוגי

ירידת לחץ - כאשר יש ירידת לחץ, אוויר שנמצא בתמיסה משתחרר ממנה ונפחו עולה ככל שיש ירידה בלחץ לאורך הצינור. וכך כשהלחץ יורד (עפ"י חוק הגזים האידיאליים $[PV = nRT]$) בועות האוויר מתרחבות לכדי כיסי אוויר ומקטינות את נפח המים במערכת, הבועות שגדלות, מגדילות גם את כוח הציפה שלהן והן נמשכות לעבר הנקודות הגבוהות לאורך הצינור. בועות האוויר מתקדמות לאורך חלקו העליון של הצינור בכיוון הזרימה, ועשויות להתמזג עם בועות נוספות אותן הן פוגשות בצינור וליצור כיסי אוויר גדולים עוד יותר.

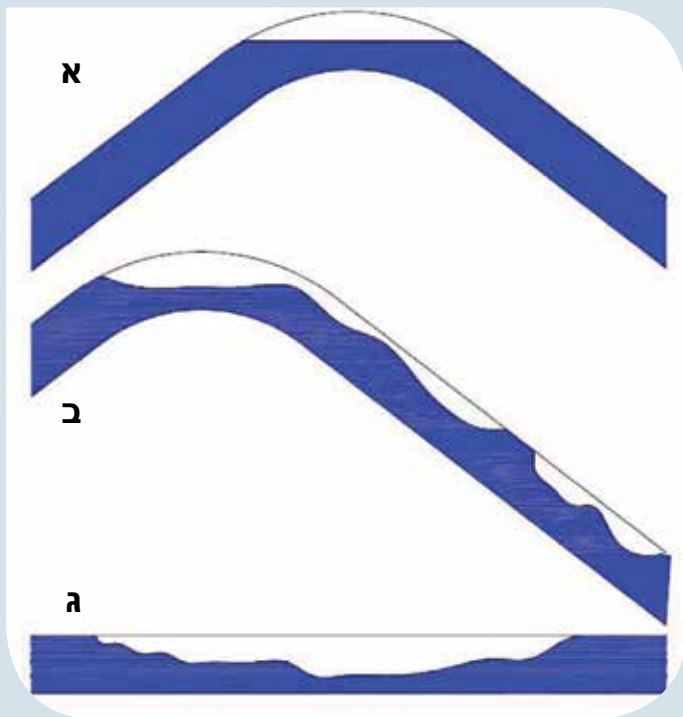
* א.ר. אבזרים להולכת נוזלים בע"מ, sharon@ari.co.il



איור 4: זנק הידראולי (Stahl y Hager, 1999)

בשיווי משקל בין כח גרר המים לכיוון מורד הזרימה לבין כח הציפה במעלה הטופוגרפיה. בהנחת קיום אוויר גזי בזרם המים הבועה תלך ותגדל עם הזמן ותתפוס נפח בחלל הצינור אשר מקטין למעשה את חתך זרימת המים. כאשר מהירות הנוזל בצנרת נמוכה יותר מהמהירות הקריטית (המהירות המינימלית הנדרשת על מנת להזיז כיסי אוויר) הנחוצה על מנת להניע את כיסי האוויר, כיסי האוויר יכולים להישאר לאורך הקטע המשופע (איור ב). בועות אוויר מצטברות לכיסי אוויר בחלק העליון של הצינור כאשר לאורך חלקים ארוכים של הצינור אין שינוי בשיפוע הקו ולא נוצרים נק' שיא גובה מקומי (איור ג).

על כן, יש חשיבות רבה במציאת פתרונות להוצאת האוויר מהמערכת. לשם כך קיימים שסתומי אוויר לאורך הצנרת.



איור 5: כיסי אוויר

הפחתת יעילות המשאבה

צריכת האנרגיה הגבוהה ביותר במערכות הולכת נוזלים, שפכים ומי שתייה, נובעת מתפעול של משאבות. מסיבה זו במשאבות יש פוטנציאל גבוה להתייעלות אנרגטית ובכך להביא להפחתה משמעותית בצריכת האנרגיה הכללית של המערכת, במיוחד כאשר בשנים האחרונות עולה המודעות לפגיעה האקולוגית כתוצאה מצריכת אנרגיה והחשיבות בצמצום הזיהום הנוצר כתוצאה מכך.

נוכחות אוויר במערכת מאלצת את המשאבה לעבוד במהירויות גבוהות ע"מ לעמוד בדרישת האספקה ולכן יעילותה ופועולתה התקינה של משאבה

עלייה בטמפרטורה – עלייה בטמפ' מעלה את היכולת של האוויר לעבור מהפאזה הנוזלית – לפאזה הגזית (חוק הנרי) כאשר למעשה ישנה ירידה ברוויה של הנוזל להכיל את האוויר כמומס ועל כן הוא עובר לפאזה הגזית. כאשר אנו מדברים על מערכות הולכה בלחץ אוויר זה נשאר כלאו במערכת ועל כן נק' זו חשובה בתכנון מערכות במקומות חמים.

הבעיות והכשלים הנגרמים מנוכחות אוויר במערכות ההידראוליות

- חסימה חלקית או מלאה של חתך הזרימה המפחית את יכולת ההולכה של המערכת עד לעצירה מוחלטת ולהגדלת הפסדי עומד והפסדי אנרגיה.
- מקשה על ניקוז יעיל ואף במקרים קיצוניים יכול לגרום לוואקום ולקריסת הצנרת.
- פגיעה ביעילות המשאבות והטורבינות בכך שביציאה יש ירידה חזקה של הלחץ שיצרה המשאבה/הטורבינה ובכך נוצרים תנאי תת לחץ (ואקום) הרסניים שיכולים לגרום להלם מים ולקוויטציה.
- פגיעה ביעילות תהליכים כגון סינון, החלפת חום וכו'. בועות האוויר הנכלאות בין חלקיקי החול מורידות את יעילותו.
- הגברת היווצרות קורוזיה.
- שינויים בכמות האוויר שבנוזל יכולים לגרום לטורבולנציה ולכוחות גזירה.
- ההתנגדות הכוללת של הקו עולה כתוצאה מחיכוך של תנועת בועות אוויר כנגד כיוון זרימת המים. בועות האוויר בעלות כח ציפה ביחס למים ועל כן ינועו כנגד כיוון הכובד. בזרם מים יורד יופעל כח גרר על בועות האוויר ועל כן הן יפעילו כח נגדי על המים שיתבטא בהגדלת ההתנגדות.
- בשינויים הידראוליים נוכחותם של כיסי אוויר גדולים יכולה לגרום לעיוותים ודפורמציות בצנרת ההולכה, ובנוסף במקרה של הצטברות נמוכה של אוויר ישנה השפעה שלילית על מעבר הלחץ בכך שהם מגדילים את גל הלחץ המורגש.
- הצטברות אוויר במערכת גורמת להפרעות בזרימה כתוצאה מתנועת הנוזל הלוך ושוב, הנוזל נפגש בכיס אוויר שגורם לחזרתו של הנוזל, דבר זה גורם לרעידות ונזק לצנרת. כך נוצר לחצי הלם מים גבוהים מאוד.
- במקרה של אוויר דחוס ייתכן פיצוץ.
- במערכות קירור בהם מוספים למים תוספים למניעת קורוזיה בנוכחות אוויר יכול להיווצר קצף רב במערכת.
- אוויר גורם לשגיאה במדידה במערכות השונות (ספיקה, לחץ).
- שחיקה מוגברת של אביזרים שונים בקו וחלקים נעים במדי מים.

מיקום וגודל כיסי האוויר

כיסי האוויר נכלאים בנק' שיא גובה מקומי (איור א). בועת האוויר נלכדת

לבין יעילות המשאבה כאשר אין אוויר במערכת (קו אדום). במצב בו ישנו אוויר במערכת הדבר מתבטא לא רק בעלייה בלחץ הדרוש ובירידה בספיקה (קו שחור), אלא גם בירידה בנצילות עקב הימצאות אוויר במערכת מכיוון שהספיקה יורדת אנו למעשה יוצאים מנק' העבודה האופטימלית (עיגול אדום), שמתקבלת מחיתוך אופיין העבודה ואופיין המשאבה ומכאן מתקבל מצב בו המערכת תעבוד בנק' עבודה רחוקה מה-BEP (עיגול שחור).

שסתומי אוויר

שסתום אוויר הינו האביזר היעיל ביותר לשליטה באוויר בעת מילוי וריקון הקו ובעת זרימת הנוזל בלחץ. הם מייעלים את המערכת מבחינה אנרגטית. ישנם שלושה סוגים של שסתומי אוויר:

שסתום אוויר קינטי

שסתום אוויר המשחרר אוויר בקצב מבוקר בעת מילוי המערכת ומכניס אוויר למערכת כאשר היא מתרוקנת ומונע מצב של תת לחץ (ואקום).

שסתום אוויר אוטומטי

שסתום אוויר המשחרר את האוויר הכלוא במערכת כאשר היא תחת לחץ.



שסתום אוויר משולב

שסתום אוויר המשלב שסתום אוויר קינטי ואוטומטי כיחידה אחת בגוף אחד.

שסתום אוויר משולב - משכך הלם

שסתום אוויר משולב, משכך הלם, מונע טריקות, משלב בתוכו שסתום אוויר קינטי, שסתום אוויר אוטומטי ומנגנון לשחרור מבוקר של האוויר. השסתום המשולב משחרר אוויר בעת מילוי המערכת, מאפשר כניסת אוויר כשהמערכת מתרוקנת מהנוזל ומשחרר אוויר כלוא כאשר המערכת תחת לחץ. שסתום זה מגן על מרכיבי המערכת מפני הלם מים בצורת במצבים של הפרדת עמוד המים או מילוי מהיר של הקו במים.



שסתום אוויר משולב - דינאמי

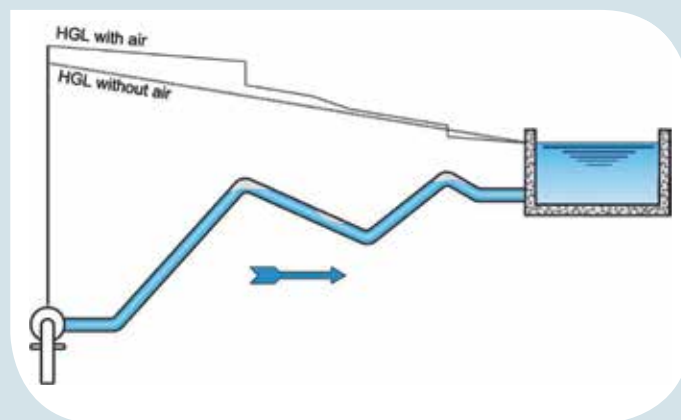
שסתום אוויר משולב דינאמי, הנו שסתום ייחודי הפועל ללא מצוף ומבוסס על עקרון הדיאפרגמה המתגלגלת



מושפעת בצורה משמעותית מנוכחות אוויר במערכת. כאשר אוויר נמצא במערכת הוא מצטבר בנק' גבוהות לאורך הצינור עם כיוון הזרימה ויוצר כיסי אוויר כחלק מש"מ של גז נוזל. כל כיס אוויר כזה הוא כמו מגוף שלא פתוח במלואו שיוצר הפסדי עומד מקומיים מיותרים במערכת.

כפי שניתן לראות באיור מס' 6, העומד ההידראולי HGL עם כיסי אוויר, ממחיש את ההפסדים עליהם המשאבה צריכה להתגבר בשל היווצרות כיסי אוויר היוצרים הפסדים מקומיים. בהשוואה לעומד ההידראולי ללא כיסי אוויר (הקו המקווקו).

ערכם של ההפסדים המקומיים האלו יכול להגיע לערכים משמעותיים עד לרמה בו תתקשה המשאבה לעבוד מולו בזמן הפעלה או ע"פ עומד כיבוי המחייב את המשאבה להיכבות כהגנה במקרה של עומס גבוה מזה שהיא מתוכננת לעבוד בו.

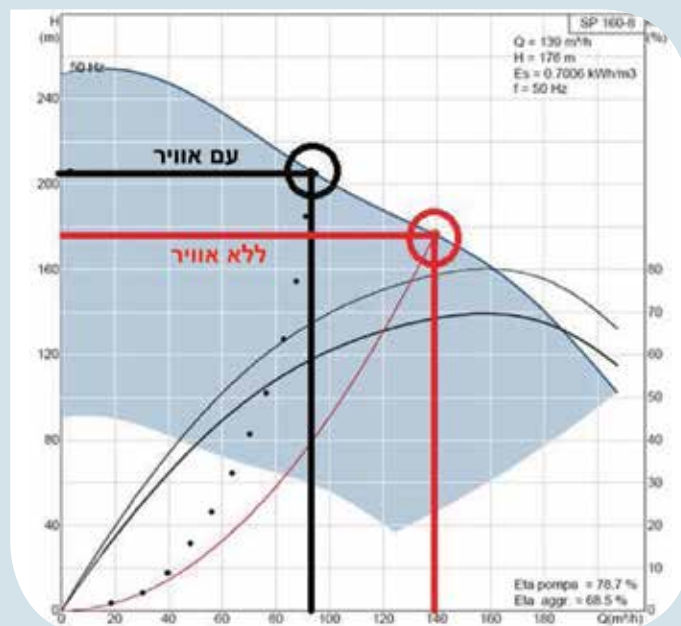


איור 6 - העומד ההידראולי עם וללא נוכחות אוויר

משאבות צנטריפוגליות מגיעות במגוון גדלים וסוגים ועם עקומי מערכת שונים. ישנן סיבות רבות

להפעלת המשאבה בנקודת העבודה שלה (BEP - Best Efficiency Point). לא רק מטעמים של מניעת בלאי במשאבה, אלא גם על מנת להעביר את כמות המים הגדולה ביותר בהשקעת האנרגיה הקטנה ביותר.

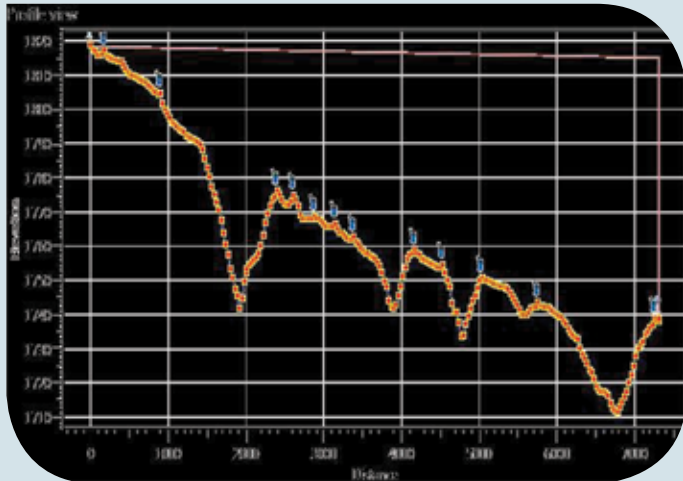
על פי איור מס' 7 ניתן לראות בבירור את ההבדל והמשמעות שיש לאוויר במערכת על ביצועי המשאבה ויעילותה כאשר יש אוויר במערכת (קו שחור),



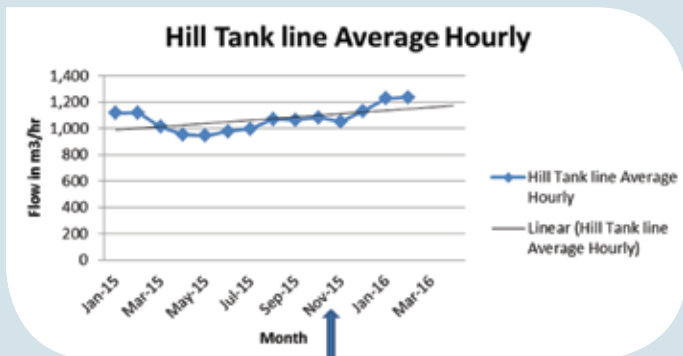
איור 7 - עקום המשאבה עם וללא נוכחות אוויר

CASE STUDY

ניירובי קניה-עליה של 19% בקצב הספיקה



איור 9: פרופיל הצינור KABETE HILL TANK



איור 10: ספיקה שעתית ממוצעת בקו הגרביטציוני KABETE HILL TANK

הביקוש הנוכחי למים בניירובי הוא 740,000 מ"ק ליום כנגד אספקה של 550,000 מ"ק ליום

קו צינור KABETE HILL TANK

- צינור גרביטציוני
- DN 450
- אורך כ-7 ק"מ

מצב נוכחי:

- מותקנים שסתומי אוויר ישנים באיכות ירודה
- תחילת החלפת שסתומי האוויר הישנים בשסתומי אוויר חדשים של א.ר.י. D-060 HF 4", D-060 HF 2", D-060 HF 3". בנובמבר 2015
- עד פברואר 2016 הוחלפו 6 מתוך 12 שסתומי האוויר

תוצאות

- הספיקה עולה בהדרגה מאז התקנת שסתומי האוויר של א.ר.י. על אף הרמות המשתנות במאגרי Kabet. זה לאחר התקנת רק 50% של שסתומי האוויר המיועדים!
- קצב הספיקה גדל מ-26,000 מ"ק ליום ל-31,000 מ"ק ליום - עלייה של 19%!
- שסתומי האוויר של א.ר.י. אינם נוטים לדליפות מים, כמו אלה המשמשים כיום בצינורות הולכה אחרים



איור 8 - פריסת הצינור KABETE HILL TANK

CASE STUDY

אוגנדה - 11.1% גדילה בקצב הספיקה

NATIONAL WATER AND SEWERAGE CORPORATION – KABALA AREA

מקורות מים ותשתית

האזור מקבל את המים שלו מאגם Bunyonyi, ביכולת ייצור ממוצעת של 1900 מ"ק ליום.

המקור העיקרי של אנרגיה הוא חשמל.

הצרת הבעיה

הגדלת עלויות האנרגיה

לאזור היה אתגר של עלויות גבוהות של חשמל וחשבון החשמל הממוצע היה \$ 18,400 במהלך ששת החודשים האחרונים מינואר 2015.

רמות נמוכות במאגר המרכזי

בעבר במאגר Makanga מפלס המים היה בממוצע 0.5 מ' ביום. מתחת ל 1.0- מ', רוב האזורים לא יכלו לקבל מים בגרביטציה, ואזורים גבוהים עדיין קיבלו את המים על ידי משאבות, כאשר מפלס המים היה לפחות 1.2 מ'.

כיסוי אוויר לאורך המאגרים הראשיים Makanga-I Kiyooro

ברוב המקרים במיוחד בהפסקות חשמל, אשר היו קבוע בסדר היום, התמודדו עם אתגרים של כיסוי אוויר לאורך קווי ההולכה. מים מטופלים יכולים לזרום בחזרה למאגר הטיפול של Kiyooro כאשר הם חסומים על ידי כיסוי אוויר. זה גרם לאי הבנות בין מפעילי המתקן של Makanga-I Kiyooro, שהאשימו אחד את השני.

פתרונות טכניים

הנהלת האזור באה עם אמצעים מתקנים עבור הפחתת עלויות האנרגיה.

עלויות אנרגיה

הנהלת האזור הקימה ועדת הפחתת אנרגיה באזור עם מספר משימות. אחת המשימות היתה:

התקנת שסתומי אוויר על צינורות שאיבה / הולכה

כיסוי אוויר

הנהלת האזור הטילה על הצוות הטכני לבצע תסקיר נוסף ולגלות את כל השסתומים הקבורים, לבדוק את מצבם ולנקוט בצעדים המתאימים להחלפתם בשסתומים חדשים של א.ר.י.

המתודולוגיה במהלך הביצוע

שסתומי אוויר

נעשה תסקיר נוסף לפרופיל צינור מהכניסה (אגם Bunyonyi) למאגר הראשי (Makanga) כדי למצוא את המקומות המתאימים להתקנת שסתומי האוויר. הנתונים הגולמיים נותחו באמצעות תוכנת ARlAvCAD, שממנה היו אמורים להתקין 21 שסתומי אוויר. במהלך התסקיר התגלו שלושה ברזי ניקוז וארבע שסתומי אוויר קבורים ופגומים. ארבעה שסתומים הנראים לעין נמצאו פגומים. הוחלט בשלב הראשון לצמצם את מספר השסתומים מ-21, לפי ניתוח ARlAvCAD, ולהחליף את ה-11 השסתומים הפגומים עם שסתומי אוויר של א.ר.י. מדגמים "D040" ו-"D070".

תוצאות עיקריות

הגדלת הספיקה

קצב הספיקה עלה מ 135 מ"ק לשעה ל 150 מ"ק לשעה - גידול של 11.1%

הפחתה באנרגיה הסגולית

האנרגיה הסגולית ירדה מ 0.75 ל 0.62 (קילוואט / ק"ג).

הצריכה המקסימלית ירדה מ 97 ל 93 קילוואט.

הפחתת עלויות האנרגיה.

מפלסי מים יציבים במאגר העיקרי Makanga

מפלס המים במאגר מנוטר שלוש פעמים ביום. מתחת למטר אחד, רוב הלקוחות אינם מקבלים מים. ההשפעה של מפלס המים מסוכם בטבלה 1 שלהלן:

	Morning (7.00am) (m)	Mid day (12.00) (m)	Evening (7.00pm) (m)	Average (M)
Before new valves	1.0	0.6	0.4	0.7
After Installing valves	2.2	1.5	1.0	1.7

סיכום

- שסתומי אוויר הם הכלי היעיל ביותר להוצאת האוויר במערכת הולכה
- שסתומי אוויר משפרים את יעילות קו הזרימה על ידי צמצום הפסדי אנרגיה.



איור 11: שסתומי אוויר ישנים באיכות ירודה המותקנים על הקו