

צריכת אנרגיה במערכות המים

- אנרגיה לתחום המים נצרכת בדרכים הבאות:
- אספקת מים ברשת המים הארצית ע"י חברת "מקורות".
 - אספקת מים ברשת המים העירונית ע"י תאגידי המים והביוב שהוקמו בשנים האחרונות.
 - צרכני מים פרטיים לסוגיהם (אגודות מים וכו').
 - התפלת מי ים.
 - טיפול בשפכים ובבוצה.
 - בנוסף נצרכת אנרגיה חשמלית לשאיבה לצורך סחרור מים במערכות סגורות במוסדות, מפעלים, קיבוצים (מתקנים תהליכיים, מתקני אנרגיה, מערכות קרור, מערכות חימום וכו').

משאבות

שיטות מעשיות לחסכון באנרגיה

אלי אברהם



עליית בצריכת האנרגיה

- הסיבות העיקריות לעליית צריכת האנרגיה בתחום המים בעשור האחרון היו:
- המים נשאבים ומועברים ליעדים יותר גבוהים ויותר רחוקים מבעבר.
 - קיים בלאי ציוד (משאבות וקווים) הגורם לירידת יעילות השימוש באנרגיה.
 - צריכת אנרגיה לטיפול במים (טיהור, התפלה, סינון וכו') עם המגמות לשיפור איכות המים והשפכים.

מה היום?

- בדיקת משאבות.
- התאמה לעקום המערכת.
- החלפת משאבות ישנות, שיפוץ משאבות.
- שיפור נצילות אנרגטית.
- חוקי דמיון-שינוי תדר, שינוי קוטר מאיץ.
- שינוי נקודת העבודה.
- נפח אגירה.
- חומרים וציפויים.
- מערכת החשמל.
- הפקת אנרגיה ממים וביוב.

תקנים

- תקן ישראל 50001-מערכות ניהול אנרגיה.
- תקן ישראל 30-משאבות צנטריפוגליות, טורבינה אנכיות, ציריות, טבולות.
- ת.י. 1729 מדצמבר 1998 –דרישות טכניות למשאבות צנטריפוגליות-דרג 2.
- ת.י. 298 למנועי חשמל אנכיים (תקן כרגע בעדכון).
- התקן הבריטי B.S. 2613 (1970) ותקן בריטי 4999 (1972) למנועי חשמל.
- התקן הגרמני DIN 42673 למנועי חשמל.
- תקן ישראל 5289-נצילות אנרגיה מינימלית של מנועי השאבה חשמליים, אסינכרוניים.
- מנועים מעל 66 כ"ס-נצילות מינימלית של 95%.

רקע

- צריכת האנרגיה של משק המים בישראל ובעולם עומדת בממוצע על כ- 10-11% מצריכת האנרגיה הכוללת.
- תחזית צריכת המים לשנת 2030, לפי תכנית האב למשק המים, מצביעה על מגמות דומות למגמות הקיימות: עלייה של כ-40% בצריכת המים ולפיכך עליה בצריכת האנרגיה במגזר זה.
- מרכיב עלות האנרגיה הפך להיות משמעותי ביותר, ומגיע ליותר מ-60% ממחיר המים.
- 1 מכל 4 מנועים בעולם-מותקן על משאבה.

הגדרות

- משאבה - מתקן מכני המיועד להזרמת מים ממפלס נמוך למפלס גבוה יותר, להעברת נוזל ממקום למקום ולהגברת הלחץ.
- תחנת שאיבה - מכלול הציוד ההידראולי, המכני, החשמלי והאנרגטי, הממוקם במבנה אחד, המיועד ליניקה ולסניקת מים או שפכים ממקור או צינור או מאגר.
- קו יניקה - צנרת המחברת בין מקור המים למשאבה.
- קו סניקה - צנרת המחברת בין המשאבה ורשת המים לצרכנים או מאגר המים.

האיתוד האירופאי - תקן EUP

תכנית 20-20-20: עד שנת 2020

- 20% יותר אנרגיה חליפית-שמש, רוח, ים.
- 20% פחות פליטות CO₂.
- 20% פחות צריכת אנרגיה.
- ENERGY EFFICIENCY INDEX-EEI=0.7
- MINIMUM EFFICIENCY INDEX-MEI=0.2
- INDEX OF MOTOR EFFICIENCY INDEX-EEI=0.7

החל מאוגוסט 2015

הגדרות

- ספיקה - כמות נוזל ביחידת זמן [מ"ק לשעה, ליטר לדקה].
- עומד מנומטר - ערך הנמדד במכשיר מד הלחץ [מטר, אטמ']
- הפסדי עומד - איבוד לחץ עקב חיכוך והפסדים מקומיים באביזרים.
- נצילות אנרגטית - יעילות יחידת שאיבה הינו פרמטר הנמדד ונבחן ע"פ היחס בין האנרגיה המתקבלת לאנרגיה הנצרכת ביחידת השאיבה.
- יעילות מקסימלית של משאבות מים מודרניות עומדת על 84%, בממוצע.

חלוקת עלויות

- רכישת הציוד: 5%.
- תחזוקת הציוד: 10%.
- אנרגיה להפעלה: 85%.

הפסדים-צנרת ואביזרים

- הפסדי חיכוך בצנרת מחושבים בשיטות שונות כגון: הייזן - וויליאמס, דיאגרמת מודי, דארסי- וייסברך וכו' המוצגות בטבלאות, דיאגרמות או חישובים, כאשר לכל סוג צינור מקדם חספוס.
- צינור פלדה עם ציפוי מלט פנים: C=140.
- לדוגמה: צינור בקוטר 10", באורך 500 מטר, ספיקה 300 מ"ק/ש. הפסד עומד: 4.87 מטר.
- הפסדים באביזרים-ע"פ סוג האביזר וקוטרו.
- לדוגמה: מגוף הידראולי בקוטר 4", בספיקה של 140 מ"ק/ש, הפסד עומד של כ-5 מטר.

שיטות מעשיות לחסכון באנרגיה

תכנון - תכנון של מתקני שאיבה מתוך חשיבה אנרגטית ועל פי הצרכים האמיתיים לרבות בחירת ציוד השאיבה בגודל ובהספק המתאים באופן מיטבי לביצועים הנדרשים ואינו ב"גודל יתר" (OVERSIZE).

אטם מכאני

- התקן המיועד למנוע דליפת נוזלי או גזים מציר המשאבה.
- בנוי משני משטחים אוטמים- כאשר האחד קבוע והשני מסתובב במגע צמוד אליו. המשטחים מוצבים בצורה אנכית ביחס לציר ולא במקביל אליו.
- המשטחים מותאמים זה לזה בדיוק רב (ההתאמה נמדדת בחלקי המיליון של האינטש) מבטיחים שטחי פנים מדויקים, הנוגעים זה בזה מעל כל פני המשטח וכך נוצר איטום מושלם כמעט לגמרי.

NPSH

.NOT POSITIVE SUCTION HEAD

- עומד יניקה מינימלי.
- כל יצרן קובע את ה-NPSH המינימלי התלוי בטמפ' הנוזל, צמיגותו, לחץ האדים שלו.
- קיימת אפשרות לקוויטציה עקב תת הלחץ המתפתח.
- אין לתכנן לחץ נמוך מידי ע"מ למנוע קוויטציה.

פיקוד ובקרה

בזמן הפעלת המשאבות הבקרה מרחוק מבצעת את הפעולות הבאות:

- בדיקת מצב השסתומים והמגופים. במידה והשסתומים או המגופים לא נמצאים במצב המתוכנן, מערכת הבקרה מתקנת את מצבם או לחילופין אינה מפעילה את המשאבה ומדווחת על תקלה.
- מתניעה את המנוע.
- פותחת את השסתומים או המגופים לאחר זמן נתון ולאחר עליית הלחץ.
- נותנת אות פתיחה למגוף הסניקה.

הציוד הכלול בתחנת השאיבה

- מבנה.
- משאבות.
- קווי יניקה וסניקה, קווי שטיפה.
- אמצעי פיקוד-מפסק מצוף, מיקרוסוויץ'.
- מגופים, שסתומים חד כיווניים, שסתומי אויר, שסתומי בטחון.
- צנרת איורור ומפוח אויר אקטיבי.
- הגנה מפני סתימות : מגוב או מטחנה.
- אמצעי מדידת ספיקות (מדי מים/מדי ספיקה).
- ציוד לבדיקה ומדידה.
- מערך חשמל פיקוד ובקרה.
- יחידות שאיבה "זרבה".
- אספקת חשמל חלופית, דיזלגנרטור.
- מתקני הרמה.
- גידור ושילוט.

בקרה

- מערכת פיקוד ובקרה חוטית או אלחוטית הגורמת לביצוע פעולות בתחנת השאיבה ולא מעבירה מידע על סמך קבלת נתונים ממכשירים ולא חיישנים המותקנים בתחנת השאיבה.

אביזרי צנרת בתחנת השאיבה

- מגופים- מיועדים לפתיחה וסגירה של מעבר המים וליסות הספיקה. למטרה זו משתמשים בעיקר במגופי "טריז" ובמגופי "פרפר".
- שסתומים חד – כיווניים- מיועדים למנוע זרימת מים בכיוון הנגדי.
- שסתומי אוויר- מיועדים לסילוק האוויר, הנמצא במים, בנקודות הגבוהות של הצנרת.
- הצטברות כמות גדולה של אוויר גורמת לקשיים בזרימת המים ולתופעת "הלם מים" המסוגל לגרום נזק לצנרת, לאביזרים ולמשאבה

משאבות ניפחיות/בוכנה

עקרון הפעולה:

- הבוכנה נעה בתוך גליל ויונקת לחוס, באמצעות שסתומי יניקה, כמות נוזל חשויה כמעט לפח שפינה הגליל. כשהבוכנה חוזרת נסגרים שסתומי היניקה ונפתחים שסתומי הסניקה ודרכם נוזף הנוזל החוצה.
- במקרה של סתומה בצינור הסניקה ובהיעדר אמצעי בטחון נגד לחץ יתר, יעלה הלחץ עד לנקודה שבה יהרסו הצינורות או המשאבה.
- כל מחזור של פעולת המשאבה מספק כמות קבועה של נוזל ולכן תלויה הספיקה במהירות הפעולה של המשאבה, זרימת הנוזל אינה רצופה ומותנית בקצב העבודה של הבוכנה.

יתרונות

- תחום רחב של ספיקות ועומדים בעבודה יעילה.
- מתאימות כמשאבות מינון.
- התאמה טובה עבור ספיקות קבועות.
- מתאימות לעבודה בלחצים גבוהים במיוחד (400 אטמ') בספיקות בינוניות.

חסרונות

- משאבה גדולה ויקרה (יחסית למשאבה צנטרפוגלית).
- המשאבה מחייבת השגחה ואחזקה מורכבת יותר.
- חסימת פתח היציאה גורמת להרס המשאבה.
- זרימה רבה עלולה לגרום לסכנה של לחץ יתר.
- אין תלות בין הספיקה לעומד.
- הספיקה תלויה בנפח הבוכנה ובמהירותה.
- מורכבות מחלקים נעים רבים.
- ספיקה לא רציפה (עבודה לפי פעימות)
- עבודה רצופה אפשרית על ידי שינויים בשסתומי הבוכנה.

הגנות מערכת הבקרה

מערכת הבקרה תעצור את המשאבה במידה ו:

- אחרי 5 שניות מזמן ההפעלה לא יגיע הלחץ למינימום לחץ היניקה.
- לחץ הסניקה לא הגיע ללחץ המקסימלי תוך 60 שניות.
- מגוף בקו היניקה לא נסגר אחרי 2 דקות.
- המגופים בקו הסניקה לא נפתחים אחרי 3 דקות.
- לא קיימת בקרת מתח אחרי 1 שניה.
- זרם חשמלי לא תקין (גבוה או נמוך מדי).
- המתח החשמלי לא יעלה על המינימום אחרי 0.3 שניות.
- בגלגל מכוון (סטטור) הטמפרטורה הגיעה למקסימום.
- במנוע הטמפרטורה של המיסבים הגיעה למקסימום.

משאבות מינון

- משמשות לטיפול במים, השבחה וליקוי צנרת.
- מינון החומרים המרככים ע"מ לשמור על איכות המים וניקיון הצנרת.
- בניגוד למשאבות החשמליות המזריקות את הנוזל ע"פ לוחות פיקוד או מוני מים אשר נותנים פיקוד למשאבה ביחס לזרימה.
- קיימות משאבות מינון מופעלות על ידי הנוזלים עצמם ולכן אין צורך בחיבור למערכת החשמל ומערכות פיקוד ובקרה.

רעש ורעידות

- בתחנות שאיבה הממוקמות בקרבת איזורים מיושבים, יש לנקוט באמצעים נגד רעש ורעידות.
- המשאבות יהיו מורכבות על כרית גומי, המקטינות את הרעש והרעידות. צנרת היניקה והיניקה יהיו מחוברים באמצעות קזזים (קומפנסטורים), שמקטינים את העברת הרעש והרעידות. קווים מובילים וצנרת יורכבו על תשתית גומי. יש להקפיד על טיב הבידוד של הגג, החלונות והדלתות בתחנת השאיבה.

משאבה מגנטית

- משאבה צנטרפוגלית בעלת הנעה מגנטית, ע"מ למנוע דליפת חומרים מסוכנים הושמה המשאבה שמחוברת באמצעות מגנט למנוע המסובב אותה בתוך קופסה אטומה לחלוטין, העשויה מחומרים פלסטיים ומתכות עמידות במיוחד.
- ההבדל בין המשאבה המגנטית למשאבה רגילה עם אטם מכני הוא, שבמשאבה הרגילה תוקפים הכימיקלים את האטם ובמשך הזמן נוצרת נזילה, הנוזל דולף החוצה או נכנס למנוע ושורף אותו.
- במשאבה המגנטית לעומת זאת, אין חיכוך בגלל האטימה המוחלטת וגם המנוע יכול להיות קטן יותר כי אין צורך בציר שמצריך הפעלת כוח גדול יותר.
- יתרון נוסף, הכל בתוך המשאבה עשוי פלסטיק, אין אטם בין המנוע למשאבה ובתוך המנוע נמצא מגנט שמפעיל את המשאבה, אין מגע ישיר והמשאבה מאריכה חיים.
- במשאבה מגנטית אסור לעבור "על יבש" כיוון שהיא עלולה להרס. הנוזל משמש כחומר קירור למשאבה.

סוגי משאבות

- משפחת המשאבות מוגדרת ע"פ הדימיון הגיאומטרי תוך שינוי בקוטר המאיץ בתחום מוגבל.
- משאבות ניפחיות/בוכנה.
- משאבות טורבו-מכניות צנטרפוגליות.
- משאבות הרמה באמצעות אוויר.
- משאבות בורגיות.
- משאבות פניאומטיות (ואקום).
- משאבות אחרות (סילון, אלקטרומגנטיות, pulse, air life).

משאבות צנטריפוגליות

- משאבה צנטריפוגלית-משאבה שפעולתה מבוססת על יצירת לחץ כתוצאה מסיבוב מהיר של מאיץ או מאיצים בתוך תא. הנוזל הנשאב נכנס למרכז המאיץ ומזרז ע"י כוח צנטרופוגלי בצורה משיקית לתנועת הסיבוב.
- משאבה צנטריפוגלית אופקית- משאבה צנטריפוגלית בה גל המשאבה וגל המנוע אופקיים.
- משאבה צנטריפוגלית אנכית- משאבה צנטריפוגלית בעלת גל אנכי ומאיץ אחד או יותר המורכבים על אותו גל. יחידת השאיבה קרויה "טורבינה" והיא מותקנת בתוך הנוזל הנשאב. הסניקה ממשאבה זו מקבילה לגל המנוע ויחידת השאיבה (הטורבינה) תלויה על מפקים המכילת מערכת של גלים אנכיים להעברת כוח ההנעה למאיצים בוסטר- משאבת עזר להגברת לחץ בקו הסניקה.
- משאבה טבולה (תת-מימית)- משאבה שמנוע החשמל שלה והמשאבה עצמה טבולים בנוזל הנשאב.
- משאבת קידוח- משאבה המורכבת בקידוח כך שהמנוע מותקן מעל הקידוח והמאיצים מותקנים מתחת למפלס המים.

משאבות בורגיות

- במקומות בהם דרושים לחצים גבוהים וספיקות גבוהות, תוספת של מתקן ריסוק למשאבות הטבולות בביוב (טחינת מוצקים)
- משאבות יקרות יחסית (בגלל מערכת הסכינים לחיתוך פסולת), עדינות ופגיעות בזמן העבודה.
- משאבות מסוג PC (PROGRESSIVE CAVITY) המבוססות על עקרון נפחי. עקרון השאיבה הנפחית אפשרי במספר תצורות, השכיחה שבהן היא באמצעות בורג. אלו נקראות גם משאבות חלזוניות

משאבת קידוח



משאבה בורגית



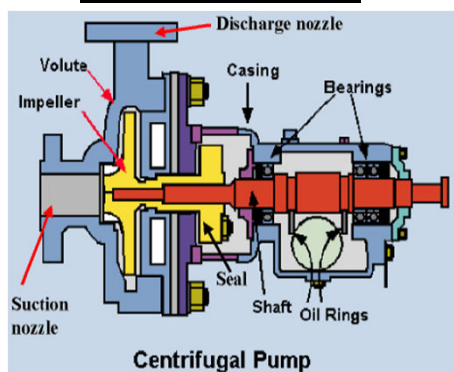
משאבת מים אנכית רב דרגתית



משאבות בורגיות

- החלק הקבוע-גוף המשאבות (שרוול הפלדה) בתוכו מותקן הסטטור.
- החלק הנע-גוף מפותל בצורה גליל-רוטור.
- הרוטור מסתובב בתוך הסטטור.
- הנוזל זורם ומתקדם במרווח.
- חום זה נוצר בשל חיכוך שבין ה"רוטור" לבין ה"הסטטור". הגומי ממנו עשוי הסטטור הוא מוליך חום גרוע מאוד. לכן במקרה של חיכוך ללא נוזל, נוצר חום רגעי גבוה הגורם לסידוק זעיר בגומי. סדקים אלו מתפתחים לכדי סדקים גדולים הגורמים להתפרקות הסטטור ופגיעה בכושר השאיבה.
- שחיקה של סטטורים מהווה את הבעיה המרכזית באחזקת משאבות בורגיות
- תכנון למהירויות נמוכות – בתחום ה- 320 – 380 סל"ד, בחירת מהירות נמוכה מאריכה את חיי המשאבה ומייעלת את עלות התפעול

משאבה צנטריפוגלית

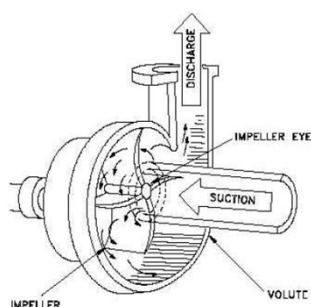


Centrifugal Pump

משאבת מים אופקית



משאבה צנטריפוגלית



משאבות לאספקת מים

- ברשת המים העירונית משאבות שונות למטרות שונות
- משאבה להרמת מים ממי תהום למערכת אספקת המים (מגדלי מים, בריכות מים או ישירות לרשת המים).
- משאבות להגברת לחץ במערכת המים (להבטחת לחץ מים תקין גם בנקודות הגבוהות ברשת).
- משאבות להעברת מים לנקודות רחוקות ברשת המים

משאבות טורבו-מכניות צנטריפוגליות

- משאבה אופקית משמשת בדרך"כ לשאיבת מים עיליים ולהגברת לחץ המים בקווים. משאבה זו דורשת שטח גדול יחסית וניתן להפעילה גם בעזרת מנוע דיזל.
- משאבה אופקית צמודה-מערכת משאבה-מנוע עשויה כיחידה אחת (משמשת בעיקר להגברת לחץ).
- משאבה אנכית משמשת בדרך"כ לשאיבה מקידוחים ובארות.
- משאבת קידוח- משמשת להרמת מים מקידוח עמוק. המנוע מורכב מעל הקידוח ומתקשר למאיצי המשאבה באמצעות גל התמסורת. המשאבה יונקת את המים מהקידוח ומעבירה אותם לבריכות המים ולא לרשת המים.
- משאבות טבולות-משמשות להרמת המים מקידוחים ומאגרים. במשאבות אלו המנוע והמאיצים מותקנים בקידוח כיחידה אחת מתחת לפני הקרקע ביחד עם הכבלים החשמליים המספקים את האנרגיה למשאבה.
- המשאבות מורכבות ממספר מאיצים כאשר אחד מהמאיצים או יותר (בהתאם לנתוני המשאבה) חייבים המצא מתחת לפני המים.

משאבות טורבו-מכניות צנטריפוגליות

- משאבה צנטריפוגלית בנויה ממאיץ (אימפלר) בעל צד יניקה וצד סניקה.
- בזמן שהמאיץ מסתובב, מופעלים על המים כוחות צנטריפוגליים אשר סונקים את המים לגוף המשאבה סביב המאיץ, גוף המשאבה מאיט את זרם המים ומפיק מאנרגיית המהירות של המים את אנרגיית הלחץ.
- בנוסף, מכון גוף המשאבה את תנועת המים לתוך המאיץ על גל הנתמך בידי מיסבים המונע ישירות או באמצעות תמסורת מהמנוע. למשאבה צנטריפוגלית ספיקות גבוהות, מימדים מצומצמים, מחיר זול יחסית, מהירות סיבוב המתאימה להינע ישר ע"י טורבינות או מנועים חשמליים, זרימה רצופה ושקטה בלחץ בלתי משתנה, יכולת עבודה גבוהה נגד מגוון סגור, למשך זמן מוגבל, עקומת הספק בעלת מומנט התחלתי נמוך.

אופיין משאבות

- במשאבה צנטרפוגלית : עקום העומד – ספיקה: שטוח.
- במשאבה מעורבת: עקום העומד-ספיקה: בינוני.
- במשאבה צירית: עקום העומד-ספיקה: תלול.
- מהירות סגולית גבוהה – עומד נמוך, ספיקה גבוהה.
- מהירות סגולית נמוכה – עומד גבוה, ספיקה נמוכה.
- ככל שהמהירות הסגולית עולה, עוברים ממשאבה צנטרפוגלית למשאבה צירית.

משאבות צנטריפוגליות-יתרונות וחסרונות

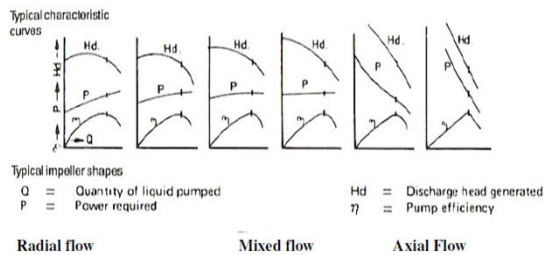
היתרונות:

- תחום רחב של ספיקות ולחצים.
- תלות הדדית ספיקה-עומד (עם עומד מקסימלי).
- עומד מקסימלי תלוי במבנה המאיץ בלבד ולא בתכונות המנוע.
- הנעה באמצעות מנועים חשמליים ומנועים מכניים (בנזין, דיזל).
- פיקוד ובקרה נוחים.
- התקנה נוחה תחזוקה מינימלית.
- מעט חלקים נעים-בלאי נמוך יחסית.

החסרונות:

- בעיית איטום המשאבה.
- נפילת הספיקה עם העלייה בעומד.
- שאיבה לעומד גבוה דורשת מספר רב של דרגות.
- בעיות באיזון כוחות ציריים.

אופיין משאבות-עקומים



סיווג משאבות צנטריפוגליות ע"פ תכונותיהן

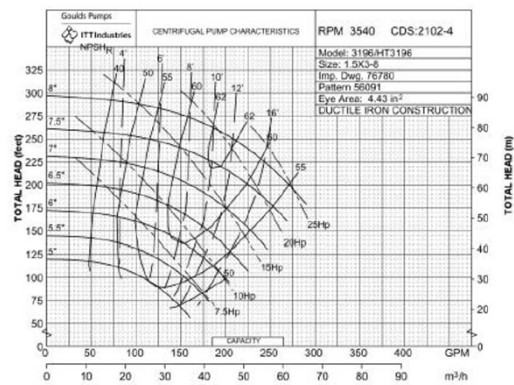
- לפי גובה עומד המים (לחץ נמוך-עד 20 מטר, לחץ בינוני-עד 60 מטר, לחץ גבוה-יותר מ-60 מטר).
- לפי מספר המאיצים.
- לפי מצב הציר (אנכי / אופקי).
- לפי מספר הסיבובים של המאיץ: איטי, ממוצע, מהיר.
- לפי מטרת השאיבה-שאיבה ממאגר מים, קידוח, הגברת לחץ וכו'.

תחנת שאיבה לשפכים

הצורך:

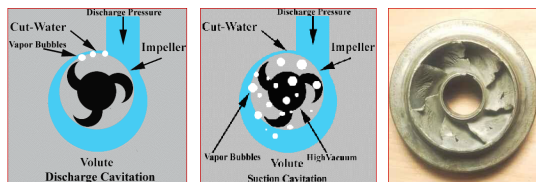
- חיבור נקודות נמוכות ברשת הביוב.
- חיבור שכונות לרשת הביוב.
- חיבור רשת של יישוב לרשת ראשית.
- הגבהת עומק הנחת קווים ראשיים.
- הרמת שפכים אל פני השטח ומעליו במתקני טיפול בשפכים.
- סילוק מסודר של שפכים לים.

עקומי משאבה-יצרן



מיעור – (קויטציה)

במקרים מסוימים כאשר הנזל עובר דרך מעבר צר, העומד המהירתי גדל בצורה משמעותית ובהתאם למשוואת ברנולי, עומד הלחץ קטן בצורה משמעותית. במידה שהלחץ המוחלט יהיה שווה או קטן מלחץ האדים של הנזל, תיווצר רתיחה מקומית שתתרחם להתפתחות של בועות אדים. בועות אלו כאשר הן עוברות למקום רחב יותר בצינור, העומד המהירתי קטן ועומד הלחץ גדל. הבועות מתעבות בצורה פתאומית תוך כדי יצירת לחצים גבוהים על דפנות הצינור או במשאבה וגורמות להרס המתכת. תופעה זו נקראת – מיעור.



בתכנון מערכות זרימה קיים צורך לזרז שהלחץ לא ירד ללחץ האדים של הנזל ובכך תמנע תופעת המיעור. לחץ האדים של הנזלים השונים נתון בטבלאות והוא מושפע ממטמפרטורת הנזל. (ראה נושא – לחץ אדים).

נקודות אופייניות לשאיבת שפכים

- ספיקת כניסת שפכים לעומת ספיקת השאיבה.
- איסוף נפח מסוים-שאיבה עם הרבה הפסקות.
- פרקי זמן העבודה קצרים עם הרבה הפסקות.
- בעיות עומס על רשת אספקת החשמל לתחנה.
- בעיות הידרוליות-שיקוע, סתימות.
- בעיות כימיות-הרכב שפכים משתנה, שפכים קורוזיביים.
- סוגי המשאבות מבחינת אפשרויות, התקנה, הרכב שפכים.
- סידורי ניקוז מי גשם והצפות.
- סידורי אספקת חשמל ממקור חלופי אחר (דיזלגנרטור).
- סידורי אירור.
- סידורי העבודה במקום: תחזוקה ותיקונים.
- משאבות רזרביות-מינימום 2 משאבות לכל מתקן.
- ספיקת תכנון גדולה ב- 10% מהספיקה המקסימלית.
- עקב בעיית סתימת המשאבה-יש פחות כנפיים באימפלר של משאבת הביוב ולכן העומד המקסימלי של משאבת ביוב נמוך יחסית למשאבות (30-40 מטר).

מניעת קויטציה

- תכנון גוף המגוף, כך שקריסת הבועות תהיה רחוק מדופן המגוף (הרחבת מורד המגוף).
- הקטנת יחס הלחצים בין מעלה המגוף למורדו – מניעת ירידת הלחץ בשסתום אל לחץ האדים עד ליחס של 1:3 לא מופיעים נזקי קויטציה במגופי ברזל.
- חומרים וציפויים עמידים לתופעת ההדף (נירוסטה, ברונזה 1:5, וכו').
- מעבר ליחס הקטנה 1:3 תעשה ההקטנה במספר דרגות ע"י התקנת מגופים בטור אשר כל אחד מהם מקטין חלק מההקטנה הדרושה.

תופעות במשאבות.

נזקי קויטציה למאיץ



קויטציה (מיעור)

- היצרות גוף הזרימה (צינור, מאיץ, מגוף) ועליית מהירות הזרימה.
- ירידת לחץ המים אל לחץ האדים (לחץ האדים = הלחץ בו רותחים המים בטמפ' הסביבה).
- היווצרות בועות.
- יציאה מאזור ההיצרות וירידת מהירות הזרימה לערכה הקודם.
- עליית לחץ ללחץ הכניסה פחות הפסדים הנובעים ממערבולות ומחירכוך (לחץ גבוה מלחץ האדים).
- קריסת בועות האדים אל תוך עצמן ויצירת גלי הדף הנעים במהירות הקול ומכים בדפנות.
- התפוררות ובלאי באזור קריסת הבועות. (חללים קטנים, הגדלים עם הזמן, בדפנות האביזר).

הלם מים: (גל הלם/גל תת לחץ)

- נוצר בעקבות דימום משאבות/סגירת מגוף, עמוד המים נופל ומתנגש בשסתום אל חוזר ונוצר הלם מים, המים עולים ויורדים בצינור עד לריסון (בגלל חיכוך).
- שינוי מהיר במהירות הזרימה – דימום משאבה/פתיחה וסגירת מגוף/פריצה בקו.

ת"י 30: בדיקת משאבות

- משאבה, ככל מכונה אחרת, מתבלה במשך הזמן ויעילותה יורדת, הדבר מתבטא בתופעות הבאות:
- המשאבה מספקת פחות מים מן הרצוי לעומד המתוכנן או הדרוש, או המשאבה אינה מסוגלת לספק את העומד הרצוי.
- צריכת החשמל עולה לכל מ"ק של מים נשאבים.
- עלולה להיגרם העמסת – יתר על המנוע ועוד תופעות לוואי שונות:
- ירידת היעילות והספיקה הן תוצאה של גידול בהפסדים המכאניים וההידראוליים, בגלל שחיקת המאיצים, הכפות המכוונות וטבעות האטימה, וכן בגלל משקעים שונים ופגמים במיסיבי המשאבה והמנוע.
- היעילות יכולה לרדת לדרגה כזו שבה יהיה כלכלי יותר להתקין משאבה חדשה – מאשר להמשיך להפעיל את הקיימת או לתקנה, באם ניתן.
- מטרת הבדיקה היא לקבוע את נתוני העבודה של המשאבה: עומד, ספיקה ובעיקר – יעילות. (נדון כאן רק על משאבות המונעות ע"י מנוע חשמלי).
- בדיקה מדויקת היא מסובכת וצריכה להיעשות ע"י מומחה. במסגרת זו תינתנה הוראות לבדיקה, שדיוקה מספק את הצרכים הרגילים.

מניעת הלם מים

- בהפעלה ודימום משאבות – מגוף בקרת משאבה הנפתח באטיות עם ההפעלה ונסגר באטיות לפני דימומה.
- בדימום לא מתוכנן (הפסקת חשמל) – מגוף צופה הלם – נפתח עם ירידת הלם בקו יפורק את גל הבלם החוזר, סגירה איטית (חשוב לבחור מגוף בגודל מתאים).
- פתיחה וסגירה איטית של מגופים במדרגות ספיקה ולא לפי זמן ומתקבלת סגירה מהירה יחסית ללא הלם.
- מגוף משאבה – אל חוזר אקטיבי – מגוף המותקן במורד המשאבה, נפתח לאיטו עם הפעלת המשאבה עד לפתיחה מלאה ונסגר בצורה מרוסנת לפני עצירת המשאבה.
- מונע הלמי מים הנגרמים משינויים חדים במהירות הזרימה בסניקת משאבות.
- ניתן להתקין מפסק גבול על מכסה המגוף ומחובר ללוח הפיקוד של המשאבה, מפסק גבול שולח אות בסיום מהלך סגירת המגוף לכיבוי מנוע המשאבה, במקרה של נפילת מתח או כשל של משאבה, המגוף נסגר מידיית ומתפקד כאל – חוזר מהיר תגובה.

בדיקת משאבות

- לכל משאבה יש עקומות $P-Q$, $Q-H$, המסופקות ע"י היצרן, עקומות אלה נכונות עבור משאבה חדשה (ולגבי מהירות סיבובית נתונה).
- במשך הזמן, עקב הבלאי, משתנות העקומות, ואנו רוצים – להשוות את העקומות שקיבלנו בבדיקה לעקומות המקוריות ולהסיק מסקנות מתוך ההשוואה.
- כדי שנוכל לשרטט את העקומות, עלינו לבדוק לפחות 3 נקודות (מהן אחת בסביבת נקודת הפעולה). (לעיתים אפשר להסתפק ב-2 נקודות).
- אין לשכוח שעקומות היצרן מתייחסות לעומד ולספיקה המיוצרים ע"י הטורבינה, במקרה של משאבה אנכית, ואין היצרן לוקח בחשבון כל הפסדים במפוקים, במיסיבי המשאבה או המנוע.
- על כן יש לחשב את כל ההפסדים השונים ולקחתם בחשבון מאחר וכל האנרגיה האבודה, הכרוכה בהפסדים אלו, נוצרה ע"י הטורבינה.

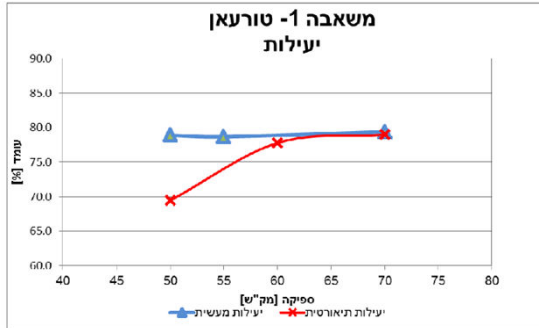
תקנות מקורות אנרגיה (בדיקת נצילות אנרגטית

במתקני שאיבה), התשס"ד – 2004.

- מכלול המורכב ממנוע חשמלי ומשאבת מים אשר צריכת החשמל שלו 150,000 קוט"ש בשנה או יותר.
- כ- 10 שעות עבודה יומיות של משאבה בהספק כ- 50KW.
- בדיקה אחת ל- 30 חודשים או לאחר 7,500 שעות עבודה, לפי המאוחר.
- הנצילות המזערית של מיתקן שאיבה היא:
- במיתקן שאיבה עילי ובבוסטר - 65 אחוזים או יותר
- במיתקן שאיבה מבארות - 55 אחוזים או יותר

בדיקת משאבות.

מבחן שאיבה-עקום יעילות



תקנות מקורות אנרגיה (בדיקת נצילות אנרגטית

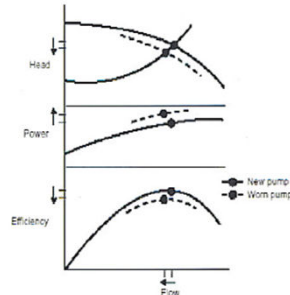
במתקני שאיבה), התשס"ד – 2004.

- תקן הבדיקה: תקן ישראלי ת"י 30 חלק 2 - "משאבות צנטריפוגליות: משאבות טורבינה אנכיות - משאבות ציריות ומשאבות טבולות - בדיקות באתר".
- הגשת תסקיר על בדיקת נצילות אנרגטית במתקן שאיבה
- במידה ותוצאות הבדיקה-נצילות מיתקן שאיבה קטנה מהקבוע בתקנה, ינקוט בעל המיתקן אמצעים לשיפור הנצילות במיתקן זה וידווח על אמצעים אלה לממונה.
- הממונה יהיה רשאי לדרוש, לא יאוחר מ- 6 חודשים מתאריך הבדיקה האחרונה, כי תיערך בדיקה חוזרת במיתקן האמור.
- השוואה לעקום היצרן.
- עורך הבדיקה: בוחן משאבות מוסמך.

תוצאות מבחן שאיבה

תוצאות מבחן שאיבה				מס' מבחן		
3	2	1				
50	55	70	[מק"ש]	Q-Capacity (M³/Hr)	ספיקה	
112	110	103	[מטר]	Hc-Manometric pressure (METER)	עומד ספיקה	
41	41	41	[מטר]	Hd-Dynamic level (METER)	עומד יקרה	
71	69	62	[מטר]	Ht-Total Pumping Head (METER)	עומד סולל	
14	15	17	[ס"ס]	N-Hp Consumption	הספק	
17	18	20	[ס"ס]	Nt-Turbine HP	הספק טורבינה	
78.9	78.7	79.4	[%]	Eft-Turbine Efficiency %	יעילות הטורבינה	
76.8	76.7	77.4	[%]	Efp-Pump Efficiency %	יעילות המשאבה	
69.2	69.0	69.6	[%]	Efm-Pumping station Efficiency %	יעילות התחנה	
280	273	243		W-kw consumption (wh/M³)	צריכת אנרגיה	
3.9	3.9	3.9	[מ"מ/מטר]	r-Energy consumption (wh/M³)	צריכת אנרגיה סגולית	

הבדל בין משאבה ישנה לחדשה



- Effect of wear on pump characteristics

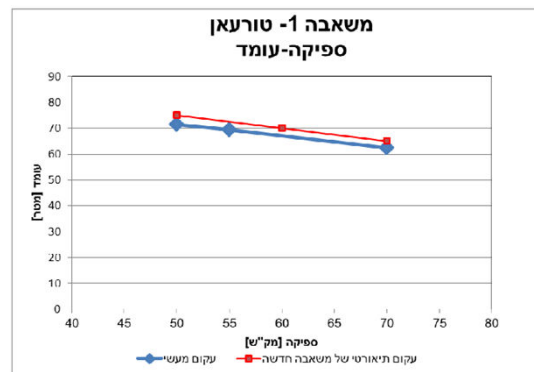
תקן ישראל 30-משאבות צנטריפוגליות,

טורבינה אנכיות, ציריות, טבולות.

תקן משנת 1950, 1993, 1998 ונמצא כרגע בעדכון.
מכיל הגדרות ושיטות לבדיקת משאבות.
הגדרות:

- ספיקה-שיטות מדידה.
- עומד-חישוב עומד כולל, מישור ייחוס.
- סבל"ד.
- חישוב הספק בגל המשאבה.
- חישוב נצילות.
- אי דיוקים וסטיות מותרות.

מבחן שאיבה-עקום משאבה



נצילות אנרגטית

$$N = \frac{Q \times H \times \gamma}{\eta}$$

- H [מטר] – גובה הרמת המים ע"י המשאבה, גובה מנומטרי כללי במטרים (נמדד ע"י מדי לחץ ביציאה מהמשאבה)
- Q [מק"ש] – ספיקת המשאבה (נמדד ע"י קריאת מונה המים המותקן לכל יחידה)
- η – יעילות יחידת השאיבה [%]
- משקל סגולי של מים (בד"כ 1.0 מ"ק/טון)
- N [כ"ס] – הספק המנוע והמשאבה (ע"פ נתוני יצרני המשאבה והמנוע).

ציוד בדיקה



נצילות אנרגטית

- 1000 = משקל סגולי של מים [ק"ג/מ]
- 3600 = יש הכרח להפוך את הספיקה ממ"ק/שעה למ"ק/שניה מאחר ו- 75 מק"ג/שניה הינו כ"ס אחד ויש להקפיד על מימדים אחידים.
- במקרה של שימוש במים בעלי משקל סגולי אחד, וכאשר הסניקה מוצגת בנוסחה הינה במ"ק לשעה – הנוסחה מקבלת צורה כדלקמן:

$$P = \frac{Q \times H}{270 \times \eta P \times \eta M}$$

ציוד בדיקת משאבות (המשך)

- שעון עצר ("סטופר").
- מנומטרים מכוילים ומתאימים ללחצים הנבדקים.
- קליבר, ברז עם 3 כוונים, אביזרי צינורות, כלי עבודה וכו'.
- זכוכית מגדלת.

עומד - H [מטרים]

- עומד הסניקה: מודדים במנומטר את עומד הסניקה ואת התוצאה רושמים בטבלה.
- את המנומטר יש להרכיב בין ראש המשאבה לבין האביזרים על הקו. במידה ואי אפשר – יש לקחת בחשבון את ההפסדים באביזרים.
- עומד הניקה: מודדים במנומטר את עומד הסניקה ואת התוצאה רושמים בטבלה.
- עומק פני המים (במשאבות קידוח) מודדים במכשיר מדויק (חשמלי או פס פלדה).
- תיקון בגובה: זהו ההפרש בין גובה מרכז מנומטר הסניקה וגובה הנקודה שממנה מדדנו את עומק פני המים.

בדיקת משאבות

- במהלך הבדיקה עלינו לקבוע 5 גדלים:
 - עומד השאיבה.
 - הספיקה.
 - מהירות סיבובית.
 - ההספק החשמלי.
 - ההספק בגל הטורבינה (במשאבת קידוח).

הפסדים

- הפסדי חיכוך במפוק (קולמנות) במשאבות קידוח: גם אנרגיה זו מיוצרת ע"י הטורבינה ויש לקחתה בחשבון לצורך חישוב העומד שהמשאבה מייצרת, ההפסד תלוי בספיקה, בקוטר המפוק וכן ביצרון (במידה ומחברי המיסבים – Spiders או מחברי צינורות השמן שונים זה מזה).
- הפסד מיסב לחץ (ע"פ מקדם המיסב כפול הספק על גל המשאבה).
- הפסד גל מנוע (מספר גלים, מקדם גל(כ"ס/גל))

עומד מהירות

- הפרש עומד המהירויות: זהו ההפרש בין האנרגיה המהירותית של המים בסניקה וביניקה. הוא אינו ניתן למדידה במנומטר. אפשר לחשבו אם יודעים את הספיקה ואת קוטר הצינורות.
- מחשבים את העומד המהירותי בסניקה וביניקה ואת ההפרש רושמים במקום המיועד בטבלה.
- גודל זה הוא קטן יחסית ואפשר להעריכו (בין 0.1 – 0.2 מטר), או אף להזניחו.
- במקרה של משאבת קדוח קיים עומד מהירות בסניקה בלבד.

מפוקים בקידוח



ספיקה-Q [מ"ק לשעה, ליטר לדקה].

- ספיקה-כמות נוזל ביחידת זמן
- את הספיקה יש למדוד בעזרת מד – מים מכויל, המורכב בהתאם לתקן (במרחק הגודל מ – 10 פעמים בקוטר לאחר כל אביזר או הפרעה בקו, וגודל מ – 5 פעמים הקוטר לפני כל אביזר או הפרעה). במידה והקריאה נעשית ע"י מד – מים ושעון, יש לקרוא מספר מ"ק גדול, ולא פחות מ – 10 מ"ק. את המדידה יש לעשות פעמיים, בראשית הבדיקה ובסופה, כדי לוודא שלא חל שנוי במשטר הזרימה.
- את הספיקה אפשר לקרוא גם בשיטות אחרות, כגון: מד – מים מטיפוס ונטורי, אוריפס וכו'. לגביהם יש חישובים שונים, אך לא נזכרים כאן כי שמושם קטן אצל בעלי בארות בספיקות נמוכות ובינוניות.

מהירות סיבובית

- כאמור לעיל, עקומות הפעולה שמספק היצרן הן עבור מספר סיבובים מסוים. בארץ מקובל מספר סיבובים של 1460 – משום שזהו מספר הסיבובים הנורמאלי לדקה של מנוע חשמלי אסינכרוני ברשת החשמל הישראלית (שתדירותה 50 הרץ).
- במידה ומסיבה כלשהי, משתנה המהירות הסיבובית – משתנים גם הספיקה והעומד.
- כדי לעשות השוואה עם עקומות היצרן יש לתקן את קריאות העומד והספיקה לפי נוסחאות אנליזה מימדית וחוקי דמיות.

מד ספיקה, מתמר לחץ



מד ספיקה אלקטרומגנטי

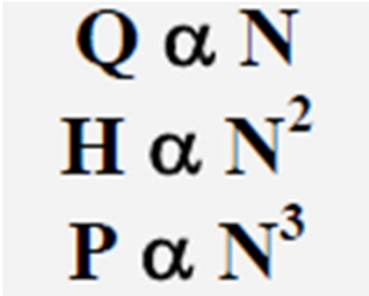
מתמר לחץ

בקרי אנרגיה ותפעול



POWERMETERS - בקר למדידת פרמטרים אנרגטיים וחשמליים.

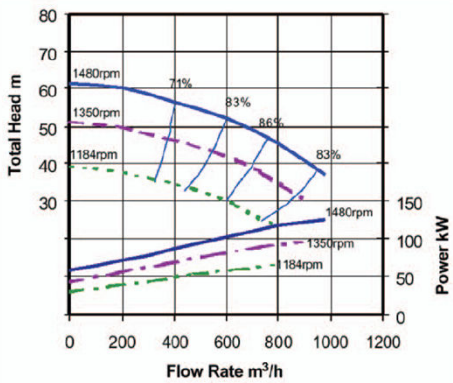
חוקי דמיות-שינוי תדר/מהירות סיבוב



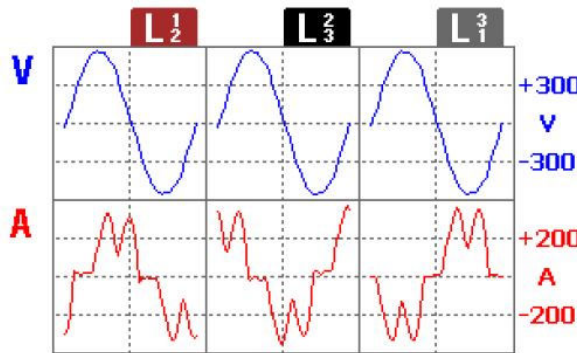
הספק

		min	max
P_{tot}	144.0 kW_{tot}	143.0	144.8
S_{tot}	158.7 kVA_{tot}	157.4	159.4
PF_{tot}	0.906_{tot}	0.903	0.913

עקום משאבה עם משנה תדר



סקופ



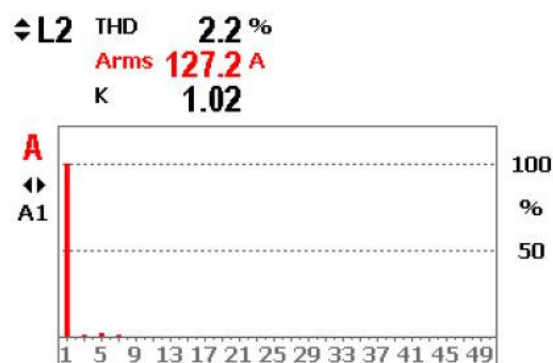
ההספק החשמלי

- ההספק נמדד לפי מוני חברת החשמל או לפי מכשירים מיוחדים שיש לחברם לצידוד החשמל בתחנה.
- לרוב, נעשית המדידה בעזרת מוני חברת החשמל.

העומס על המנוע

- בהזדמנות זו אפשר לבדוק את מידת העומס המנוע החשמלי. ההספק שנמדד לפי השיטה הוא ההספק שנכנס למנוע.
- מקדם ההספק היוצא הוא ע"פ היעילות החשמלית של המנוע.
- כלומר, נכפול את נצילות המנוע בהספק הנכנס ונקבל את ההספק היוצא.
- רצוי לעבוד במנוע המעמס בקרבת 90% מהנומינלי. אמנם, מבחינה תאורטית לא ייגרם כל נזק למנוע אם יעבוד גם ב - 99%.

הרמוניות



התאמה למערכת

התאמה לעקום

מילה על הרמוניות

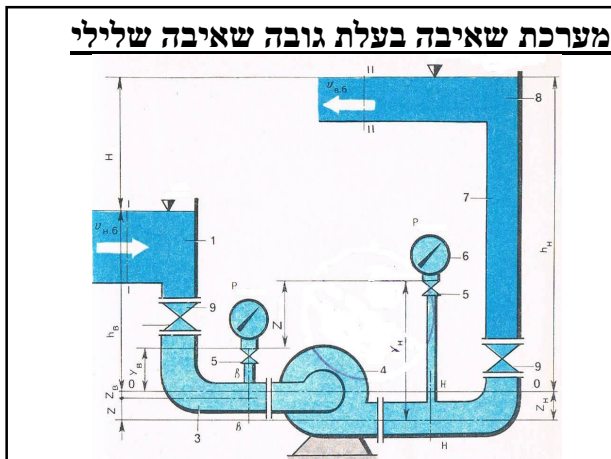
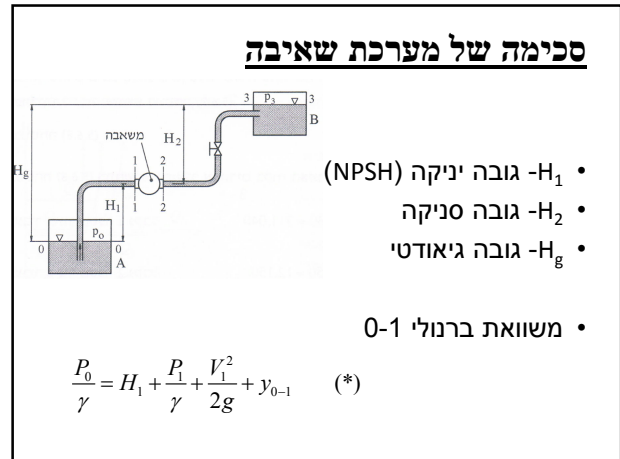
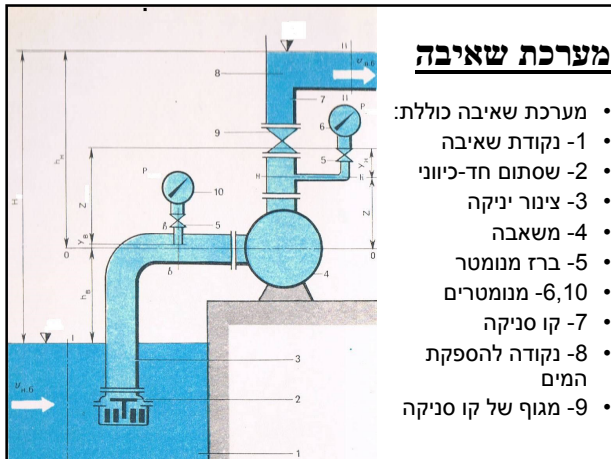
- העלייה בשימוש בציד חשמל ברשת כגון: ווסתי מתח, מצתים אלקטרוניים, אלקטרוניקת הספק, גורמת להופעות של הפרעות תלויות תדר, הרמוניות מתח וזרם. וזאת בשל צריכת הספק עם מאפיינים בלתי לינאריים.
- הרמוניות אלו גורמות נזקים, כגון: ירידה בנצילות מנועי חשמל, עודף הספק ב-קוו האפס, שריפת קבלים, פגיעה במכלולי אלקטרוניקה, שריפת כרטיסי הספק, התחממות חריגה של ציוד מיתוג חשמל, ריצוד במסכי שפופרת, ועוד.

נקודת עבודה

חישוב נקודת העבודה המיטבית של יחידת השאיבה היא חשובה ביותר כיוון ששמירה על פעילות המשאבה בנקודת עבודה זו אמורה להבטיח נצילות אנרגטית גבוהה הקרובה ביותר לתכנון.

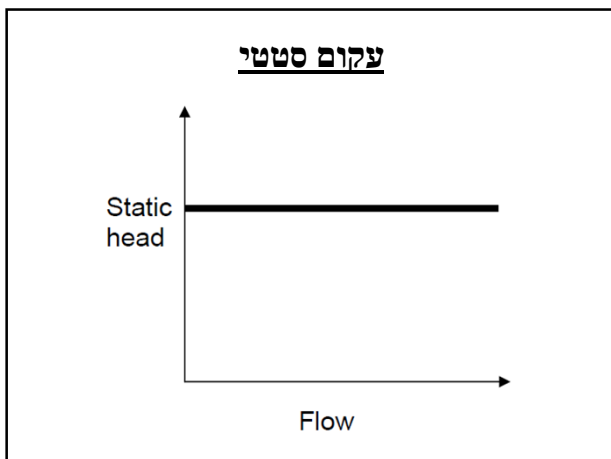
הספק המשאבה

- הספק של משאבה תלוי במספר משתנים:
- ספיקת המים.
 - עומד ההידראולי של המשאבה.
 - נצילות אנרגטית של המשאבה.
 - נצילות חשמלית של המנוע.



ברנולי

- משוואת ברנולי היא משוואה בהידרודינמיקה ובאווירודינמיקה המתארת את צורת הזרימה של נוזל או גז ניוטוניים. המשוואה פותחה על ידי המתמטיקאי השווייצרי דניאל ברנולי.
- בפשטות, העיקרון מאחורי הנוסחה, הידוע בשם עיקרון ברנולי, קובע כי ככל שמהירות זרימתו של זורם (נוזל או גז) על גבי משטח גבוה יותר, הזורם יפעיל פחות לחץ על המשטח. העיקרון נובע למעשה מחוק שימור האנרגיה, מאחר שסכום האנרגיה הקינטית (שהיא פונקציה של מהירות הזרימה) והאנרגיה הפוטנציאלית הינו קבוע.

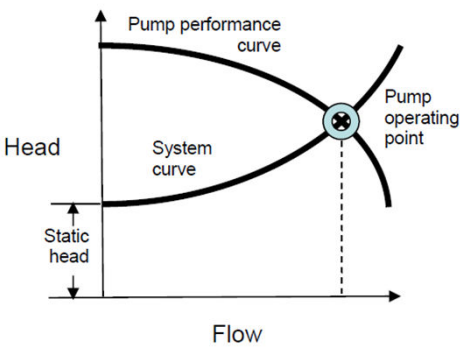


ברנולי

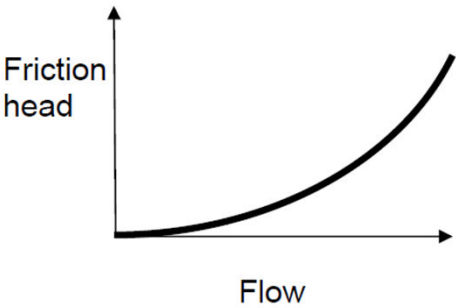
- משוואת ברנולי קובעת כי
- כאשר: $P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constant}$
- P- הלחץ בנקודה
- ρ - צפיפות הזורם בנקודה.
- g- תאוצת הכובד, ערכו בכדור הארץ הוא כ-9.81 מטר לשנייה בריבוע.
- v- מהירות הזורם בנקודה,
- h- גובה הזורם בנקודה (ביחס למישור ייחוס שנקבע מראש).
- משמעותה של המשוואה היא כי בכל נקודה בזורם, סכום ערכי הפרמטרים הוא קבוע. לצורך העניין, לו נבצע שתי מדידות בין הנקודות שהאינדקסים שלהן "1" ו-"2", אזי יתקבל:

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

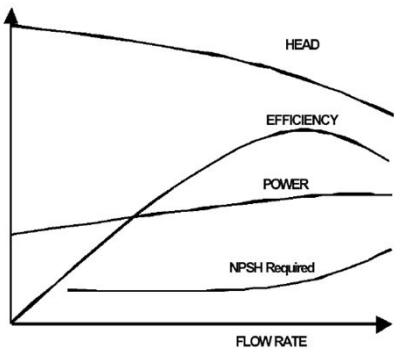
עקום מערכת: קו משאבה



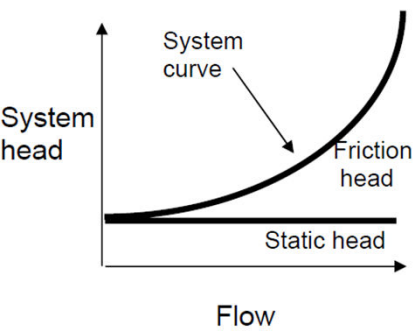
עקום דינמי



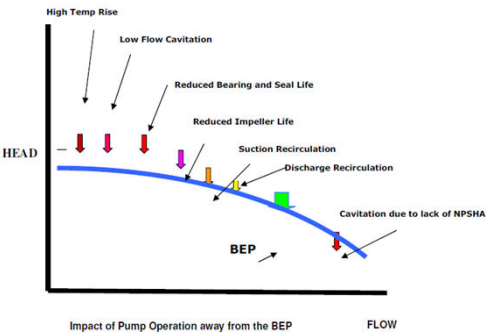
עקום משאבה מלא



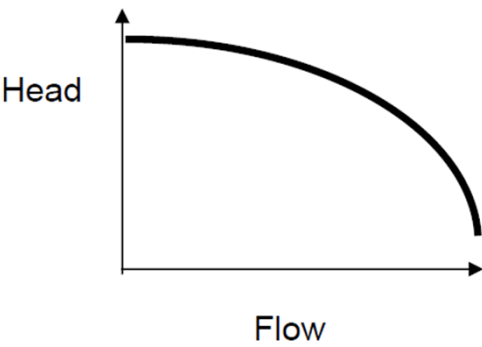
עקום מערכת-סטטי+דינמי



השפעות על המשאבה כתוצאה מהתרחקות מנקודת העבודה



עקום משאבה



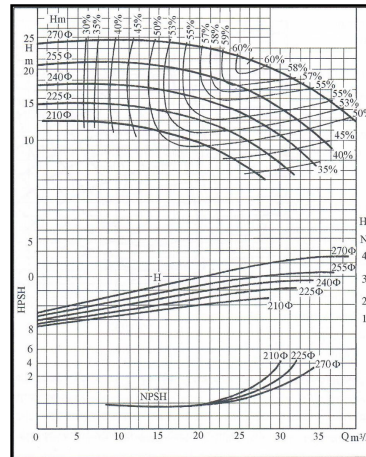
נצילות והפסדים

נצילות המשאבה η כוללת את כל ההפסדים המכניים וההידרוליים שנוצרים במשאבה:

- הפסדים מכניים שהם הפסדי חיכוך מכניים בין פני המאיץ המסתובב לנוזל שמסביבו.
- הפסדי מרווח שגורמת בריחת נוזל מאזור של לחץ גבוה לאזור של לחץ נמוך (הנצילות הנפחית).
- הפסדים הידרוליים שנוצרים מזרימה ברמת טורבולנטיות גבוהה מאוד של הנוזל במשאבה (הנצילות ההידרולית).
- הפסדי הנגיפה הנוצרים כשהנוזל זורם בין כפות המאיץ או בכניסה לגוף הספירלי. אם הספיקה במשאבה שווה לספיקה הנומילית Q_0 שבעבורה תוכננה המשאבה, לא יהיו הפסדי הנגיפה האלה.

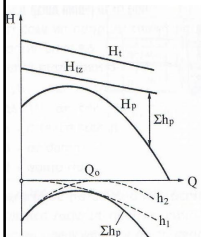
נצילות			
מכנית	נפחית	הידרולית	סך כל במשאבה
$\eta_m = 0.96-0.98$	$\eta_v = 0.95-0.98$	$\eta_h = 0.7-0.95$	$\eta_g = 0.7-0.88$

דף מידע שמספק יצרן משאבות



בדף מידע מופיעים:
 (א) אופייני המשאבה $H_p = f(Q)$ עבור מהירויות סיבוב שונות
 (ב) נצילות המשאבה $\eta_p = f(Q)$
 (ג) הספקים של משאבה $P = f(Q)$
 (ד) NPSH של משאבה עבור מצבים שונים של עבודתה

הפסדי המשאבה



- ההפסדים ההידרוליים הנוצרים במשאבה משורטטים בעקומות בתחתית האיור
- h_1 - מציין את הפסדי החיכוך בתעלות המאיץ ואת ההפסדים שגורמת האטת הזרימה אפשר לבטא את התלות בעזרת המשוואה הבאה:

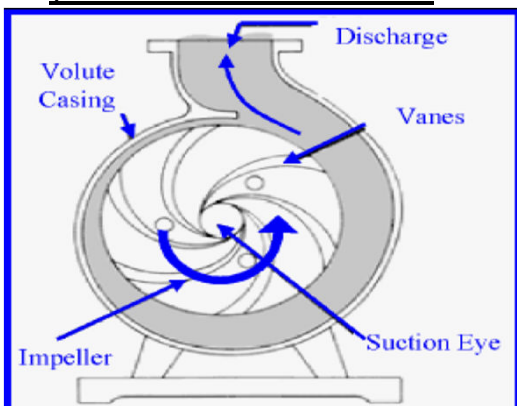
$$h_1 = k_1 Q^2$$
- h_2 - מציין את הפסדי הנגיפה הנוצרים כשהנוזל זורם בין כפות המאיץ או בכניסה לגוף הספירלי אם הספיקה במשאבה שווה לספיקה הנומילית Q_0 שבעבורה תוכננה המשאבה, לא יהיו הפסדי הנגיפה אפשר לבטא את ההפסד בעזרת המשוואה הבאה:

$$h_2 = k_2 (Q_s + Q_0)^2$$

- Q_s ספיקה כלשהי במשאבה

הפסדים

משאבה צנטריפוגלית-המאיץ



הפסדים המתפתחים במשאבה

- הפסד הידראולי-הפסד העומד של נוזל בזרימתו דרך כל החלקים (הנעים ולא נעים)**
 הפסד זה כולל הפסד לחיכוך על הדפנות של המאיץ ובית המאיץ ועל הווצרות של מערבולות בתוך המשאבה
- הפסד נפחי-של משאבה הוא דליפות הנוזל דרך רווחים בין החלקים הנעים של משאבה לבין החלקים הלא נעים**
 ההפסדים האלה נובעים מהפרשי הלחץ בין אזור היניקה לבין אזור הסניקה של משאבה.
- הפסד מכני- נובע מחיכוך מכני בין חלקים המסתובבים לבין חלקים הנמצאים במנוחה**
 אחד ממקורות להפסדים מכניים הוא חיכוך בין שטח פנים חיצוני של המאיץ לבין מים הנמצאים במנוחה יחסית

הפסדים-סיכום

- הפסדים נובעים מתכונות של הנוזל הנשאב וגיאומטריית המשאבה
- הפסדים מתפתחים אך ורק כאשר קיימת זרימת הנוזל.
- הפסדים המתפתחים בזמן שאיבה קובעים את נצילות המשאבה.
- נצילות המשאבה היא כפל של נצילות הידרולית, נפחית ומכנית.

- צורתם של שני ההפסדים האלה היא פרבולה
- סך כל ההפסדים במשאבה מתוארים באיור בצורת העקום המסומן ב- $\sum h_p$, כאשר:

$$\sum h_p = h_1 + h_2$$

- האופיין של הריאלי של המשאבה מסומן באיור ב- H_p מתקבל על ידי הפחתת ההפסדים $\sum h_p$ מן האופיין H_{tz}

$$H_p = H_{tz} - \sum h_p$$

החישוב של אופיין המשאבה H_p היא תהליך מורכב ומסובך בייחוד בגלל הקושי לקבוע את הערכים של המקדמים k_1 ו- k_2 המופיעים במשוואות
לכן אופיין המשאבה נקבע בפועל בבדיקת המשאבה בדרך ניסיונית

החלפת משאבות ישנות

שיפוץ משאבות

הפסדים מכניים

- במקרה של משאבת קידוח, ההספק על גל המנוע איננו ההספק הנמסר למשאבה, משום שיש הפסדים בגל המשאבה (מספר גלים, מקדם גל(כ"ס/גל)) ובמיסבי הלחץ (ע"פ מקדם המיסב כפול הספק על גל המשאבה).
- כדי לקבל את ההספק הנמסר למשאבה יש להחסיר מהספק גל המנוע את ההפסדים המצטברים.
- ההפסדים בגל הולכים וגדלים ככל שהמשאבה ארוכה. ההפסדים מיסבי הלחץ הולכים וגדלים ככל שגדל הלחץ. קיימת טבלה על מנת לקבל סדר – גודל של ההפסדים הנ"ל לצורך אומדנה).

משאבת מים אופקית



סוגים שונים של גיאומטריית המאיצים למשאבות אנכיות



מאיץ חצי סגור



מאיץ סגור



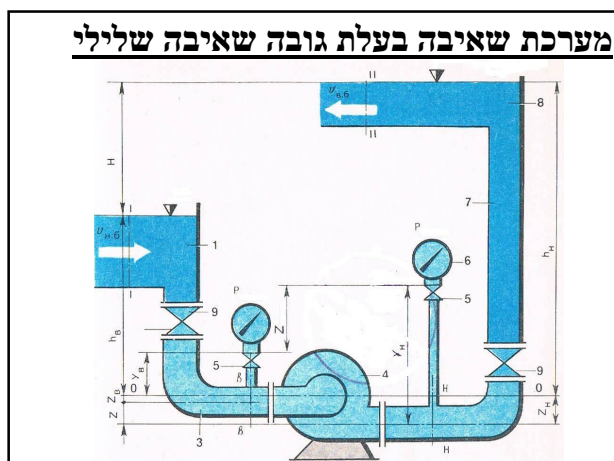
משאבות צנטריפוגלית אופקית

- משאבה צנטריפוגלית בה גל המשאבה וגל המנוע אופקיים.
- מערכת משאבה-מנוע עשויה כיחידה אחת.
- משמשת בדר"כ לשאיבת מים עיליים ולהגברת לחץ המים בקווים.
- משאבה זו דורשת שטח גדול יחסית וניתן להפעילה גם בעזרת מנוע דיזל.

שיפור עומד כניסת מים

משאבות צנטריפוגלית אנכית

- המונח משאבות אנכיות מתייחס כאן למשאבות טורבינה אנכית (pumps Vertical Turbine or Deep Well Turbine pumps) רב דרגתיות.
- משאבה צנטריפוגלית בעלת גל אנכי ומאיץ אחד או יותר המורכבים על אותו גל.
- יחידת השאיבה קרויה "טורבינה" והיא מותקנת בתוך הנוזל הנשאב.
- הסניקה ממשאבה זו מקבילה לגל המנוע ויחידת השאיבה (הטורבינה) תלויה על מפוקים המכילים מערכת של גלים אנכיים להעברת כוח ההנעה למאיצים.
- משאבה אנכית משמשת בדר"כ לשאיבה מקידוחים ובארות.
- בוסטר- משאבת עזר להגברת לחץ בקו הסניקה.



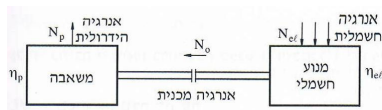
נצילות כללית (מלאה) של משאבה

$$P = \frac{P_e}{\eta_p} = \frac{\gamma Q H_p}{\eta_p}$$

- P - ההספק הדרוש
- P_e - הספק אפקטיבי או אנרגיה שמספקים לנוזל הזורם דרך משאבה
- η_p - נצילות המשאבה

שיפור נצילות אנרגטית

הצגה סכמתית של מעברי אנרגיה במשאבה צנטריפוגלית



N_{el} - הספק חשמלי שמסופק למנוע החשמלי המניע את המשאבה
 N_0 - הספק מכני שמועבר מן המנוע החשמלי למשאבה באמצעות הגל המשותף
 N_p - הספק הידרולי שמועבר מן המשאבה לנוזל

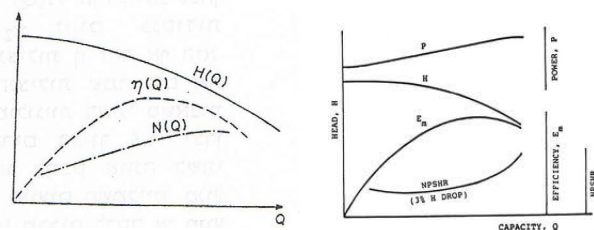
$$N_0 = \frac{N_p}{\eta_p} = \frac{\gamma Q H_p}{\eta_p} = \frac{\gamma Q H_p}{\eta_v \eta_m \eta_h}$$

נצילות אנרגטית

- יעילות יחידת שאיבה הינו פרמטר הנמדד ונבחן ע"פ היחס בין האנרגיה המתקבלת לאנרגיה הנצרכת ביחידת השאיבה.

הצגת אופייני המשאבה

- אפיין רגיל של משאבה צנטריפוגלית כולל אופיין של תוספת עומד המשאבה כתלות בספיקה, אופיין הנצילות כתלות בספיקה ואופיין של הספק המשאבה כתלות בספיקה



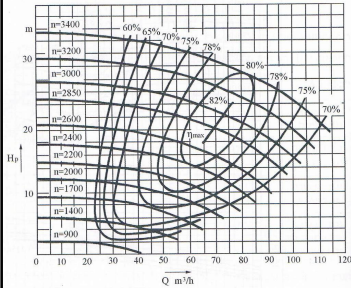
נצילות

- נצילות של משאבה היא יחס בין הספק האפקטיבי= הספק של זרימת הנוזל (או אנרגיית זרימה, אנרגיה הידרולית) לבין הספק הדרוש= צריכת אנרגיה המסופקת למשאבה (בדרך כלל אנרגיה חשמלית).

$$\eta = \frac{P_e}{P} = \frac{\gamma Q H_p}{IV \cos \theta}$$

- P_e - הספק אפקטיבי או הספק הידרולי: הספק של זרימת הנוזל
- P - הספק הדרוש: צריכת אנרגיה (בדרך כלל אנרגיה חשמלית) לשאיבת הנוזל בספיקה ובלחץ מסוימים

• (ד) משנים מהירות הסיבוב של מנוע ומבצעים אותן פעילויות של סגירת ו/או פתיחת השסתום V



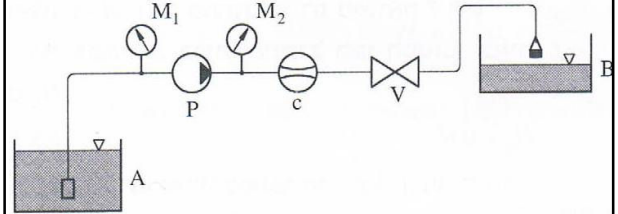
בניסוי מופעלת המשאבה במצבי סגירה שונים של שסתום V ונמדדים הלחצים והספיקה בכל אחד ממצבי הסגירה האלה

כחוצאה מבידוק המשאבה במספרים שונים של סיבוב מקבלים את שדה הפעולה של המשאבה

באזור מתוארים גם הערכים של נצילות המשאבה η_p בעבור כל זוג של H_p ו- Q

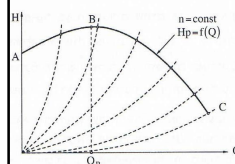
קביעת האופיין על ידי ניסוי מתקן לאפיון המשאבה

מתקן לאפיון המשאבה P כולל מיכל יניקה שממנו משאבה שואבת מים (בריקה A), מדי הלחץ M_1 , M_2 , מד ספיקה C, שסתום ויסות V ומיכל סניקה אליו נשאבים המים (בריקה B).

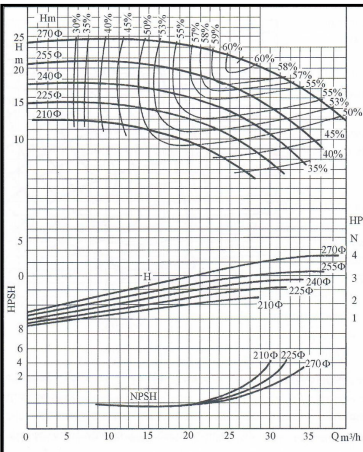


• העיקרון של השיטה הניסיונית מבוסס על קביעת נקודות הפעולה של מערכת המורכבת ממשאבה וממערך הצינורות. שלבי הניסוי:

- מרכיבים את המערכת
- קובעים מהירות סיבוב של מאיץ לפי תקן (לדוגמה 1450 סל"ד)
- עבור ספיקות המשתנות מ-0 עד לספיקה מרבית, קובעים את הלחץ המתפתח במערכת. מתקבל אופיין המשאבה ABC עבור מהירות סיבוב n

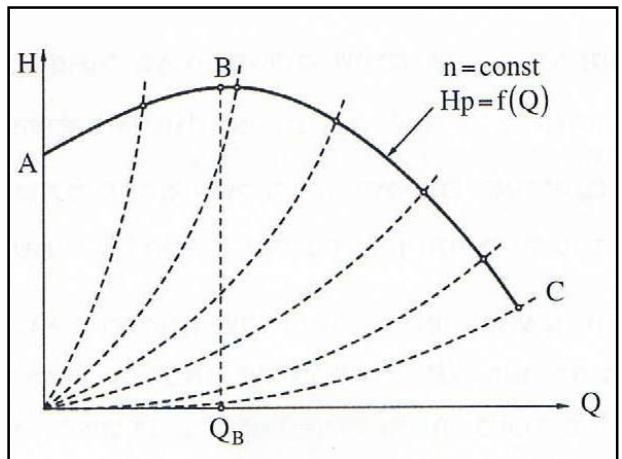
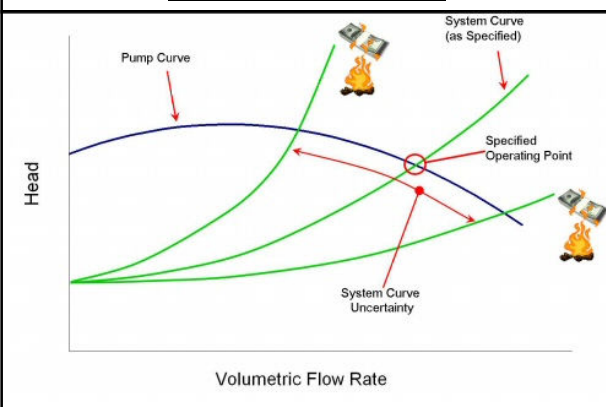


דף מידע שמספק יצרן משאבות



בדף מידע מופיעים:
א) אופיין המשאבה $H_p=f(Q)$ עבור מהירות סיבוב שונות
ב) נצילות המשאבה $\eta_p=f(Q)$
הספיקים של משאבה עבור מצבים שונים של עבודתה

נצילות בנקודת העבודה



נצילות אנרגטית

- כאשר ,
H [מטר] – גובה הרמת המים ע"י המשאבה
(נמדד ע"י מדי לחץ ביציאה מהמשאבה)
P [כ"ס] – הספק המשאבה
- Q [מק"ש] – ספיקת המשאבה (נמדד ע"י קריאת מונה המים המותקן לכל יחידה)
- η – יעילות המשאבה [%]
- P – יעילות המנוע החשמלי [%].

נצילות אנרגטית

$$N = \frac{Q \times H \times \gamma}{\eta}$$

- H [מטר] – גובה הרמת המים ע"י המשאבה, גובה מנומטרי כללי במטרים (נמדד ע"י מדי לחץ ביציאה מהמשאבה)
- Q [מק"ש] – ספיקת המשאבה (נמדד ע"י קריאת מונה המים המותקן לכל יחידה)
- η – יעילות יחידת השאיבה [%]
- משקל סגולי של מים (בד"כ 1.0 טון/מ"ק)
- N [כ"ס] – הספק המנוע והמשאבה (ע"פ נתוני יצרני המשאבה והמנוע).

אנרגיה סגולית

- ניתן לחשב צריכת אנרגיה סגולית עבור כל מ"ק מים.
- ערכים עבור ציוד יעיל מבחינה אנרגטית נעים בין 3.5 ל- 4.5 וואט /שעה למ"ק מים למטר גובה.
- 4 וואט /שעה למ"ק – 75%.
- 3.75 וואט /שעה למ"ק – 82%.

נצילות אנרגטית

$$N = \frac{Q \times H \times \gamma}{\eta}$$

- H [מטר] – גובה הרמת המים ע"י המשאבה, גובה מנומטרי כללי במטרים (נמדד ע"י מדי לחץ ביציאה מהמשאבה)
- Q [מק"ש] – ספיקת המשאבה במק"ש חלקי 3,600
- η – יעילות יחידת השאיבה [%]
- משקל סגולי של מים (בד"כ 1,000 ק"ג/מ"ק)
- N [KW] – הספק המנוע והמשאבה (ע"פ נתוני יצרני המשאבה והמנוע).

דוגמת חישוב

- מהו הספק המשאבה כאשר נתון:
• ספיקה: 350 מק"ש.
- עומד הרמה כולל: 40 מטר.
- נצילות המשאבה והמנוע יחד : 74%.
- התשובה: 70 כ"ס, 51.5 KW .

נצילות אנרגטית

- 1000 = משקל סגולי של מים [ק"ג/מ]
- 3600 = יש הכרח להפוך את הספיקה ממ"ק/שעה למ"ק/שניה מאחר ו – 75 מק"ג/שניה הינו כ"ס אחד ויש להקפיד על מימדים אחידים.
- במקרה של שימוש במים בעלי משקל סגולי אחד, וכאשר הסניקה מוצגת בנוסחה הינה במ"ק לשעה – הנוסחה מקבלת צורה כדלקמן:

$$P = \frac{Q \times H}{270 \times \eta \times P}$$

עקום מחזורי שיפוץ משאבה

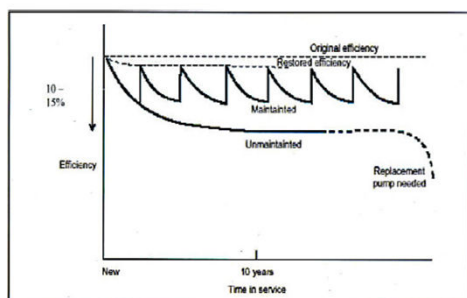


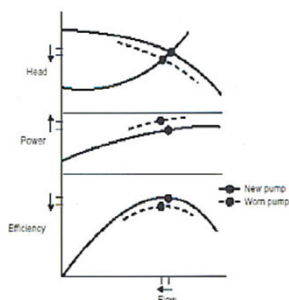
Figure 6.2 The effect of maintenance on pump efficiency and lifetime

דוגמת חישוב

כמה אנרגיה נחסוך אם נשפר את יעילות המשאבה והמנוע ל- 84%, כאשר המשאבה עובדת 5,000 שעות בשנה ועלות החשמל 0.5 ₪ לקו"ט?

- התשובה: 61.7 כ"ס, 45.4 KW.
- (המשאבה עובדת 5,000 שעות בשנה, תעריף החשמל: כ- 0.5 ₪ לקו"ט ש).
- ההפרש: 6.1 קו"ט.
- חסכון שנתי: 15,250 ₪.

הבדל בין משאבה ישנה לחדשה



- Effect of wear on pump characteristics

דוגמת חישוב כלכלי

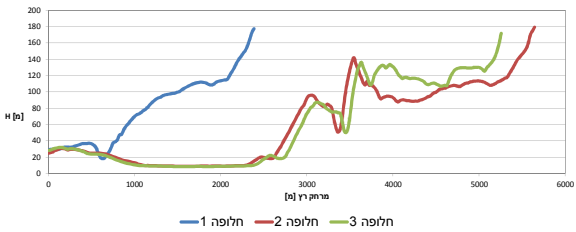
- אם עלות שיפוץ המשאבה הוא 70,000 ₪, מהו זמן החזר ההשקעה?
- התשובה: כ-4-5 שנים.

בחירת מסלול מיטבי לאספקת מים

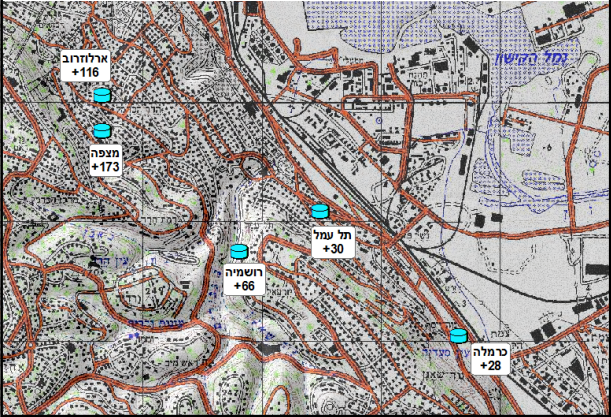
יעילות הפקת מים-מחזורי שיפוץ

- עד 4 שנים-ירידה בכ-10%.
- עד 6 שנים-ירידה בכ-20%.
- עליית צריכת האנרגיה בהתאם.
- מחזור שיפוץ: כ- 6 שנים, תלוי בתנאי העבודה (איכות מים, שעות עבודה וכו').

חלופות אספקת מים-חיפה-חתך



חלופות אספקת מים-חיפה



משנה תדר/וסת מהירות

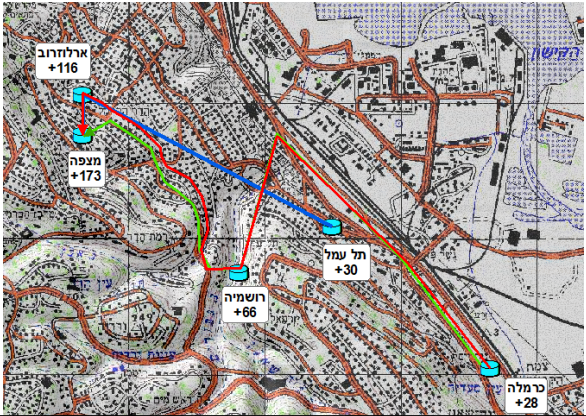
חלופות אספקת מים-חיפה-המסלולים

- חלופה 1: תל עמל-ארלוזורוב-מצפה.
- חלופה 2: כרמלה-רושמייה- ארלוזורוב-מצפה.
- חלופה 3: כרמלה-רושמייה-מצפה

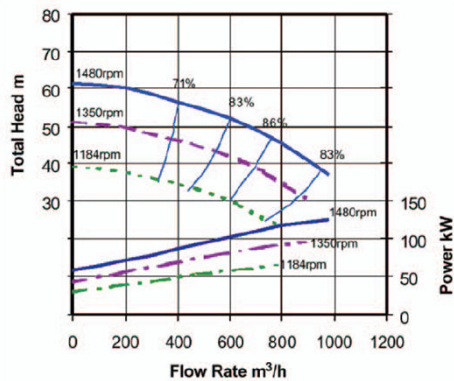
משנה תדר/וסת מהירות

- אביזר חשמלי המתוכנת לשנות את מהירות סיבוב המשאבה ע"י שינוי התדר החשמלי.
- משאבה צנטרפוגלית בעלת אופיין אופקי, בעזרת משנה המהירות המשאבה מסוגלת לשנות ספיקה תוך כדי שמירה על רמת לחצים קבועה, כך ניתן להגדיל את מספר הצרכנים של המשאבה ללא חשש מנפילת לחץ (למשל: בניינים רבי קומות או בתי מלון בהם הספיקות משתנות ולאו בעלות תחום נרחב ולאו בלתי צפויות).
- משנה התדר מעלה ומוריד את הספיקה בהתאם לצורך וכך ניתן לחסוך אנרגיה רבה ונמנע בלאי גדול של הציוד ומשך חייהן של המשאבות גדל.

חלופות אספקת מים-חיפה-מפת המסלולים



עקום משאבה עם משנה תדר

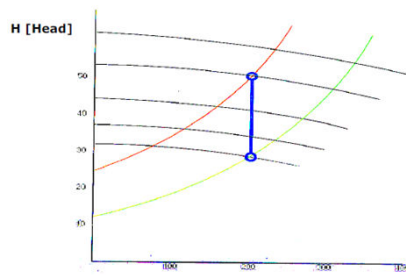


ציוד חשמל-משאבות מים

- בוסטר מים הממלא בריכה מגדל - לחץ קבוע - ספיקה קבועה - מהירות קבועה - **מתנע רך או ישיר לקו**.
- בוסטר מים לרשת סגורה - ספיקה משתנה - דרישת לחץ קבוע - שינוי מהירות - **וסת מהירות אלקטרוני**.
- תחנת ביוב רגילה בלחץ נמוך - **מהירות קבועה**.
- תחנת ביוב רגילה עם בור קטן ומנועים גדולים - **מהירות משתנה לפי גובה המים בבור**.
- תחנת ביוב עם ספיקה קבועה ולחצים משתנים - **מהירות משתנה לפי לחץ משתנה**.
- בתחנות שאיבה לביוב בגלל הסביבה הקורוזיבית יש לדאוג שכל האביזרים בלוח ומחוץ ללוח יהיו עמידים לכך. יש לאטום מעבר צנרת מהבור ללוח למניעת מעבר גזים.

משאבה עם משנה תדר-ספיקה קבועה

Flow Control

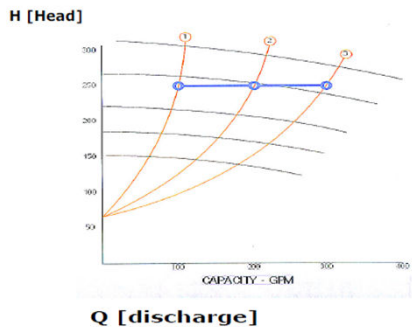


הנעת משאבות

- לפי חוק החשמל ניתן להניע מנוע ישיר לקו בהספק עד 5 כ"ס.
- מעבר לכך נדרש מתנע או אישור מיוחד להתנעת המנוע מחברת החשמל.
- במתקני שאיבה מומלץ במנועים מעבר 10 - 15 כ"ס להשתמש במתנע רך מהסיבות הבאות:
- מניעת הלם מים בהתנעה ובהדממה.
- הקטנת הספק גנרטור.
- הגנות אלקטרוניות משופרות למנוע.
- בחירת פונקציות התנעה והגבלות זרם ומומנט.
- וסת מהירות מתפקד כמתנע רך

משאבה עם משנה תדר-לחץ קבוע

Pressure Control



חוקי דמיות-שינוי תדר

$$Q \propto N$$

$$H \propto N^2$$

$$P \propto N^3$$

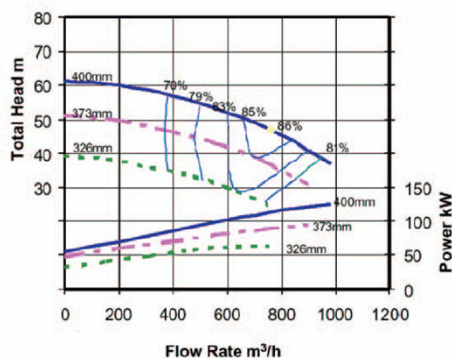
שינוי קוטר מאיץ

- כלל שקוטר המאיץ גדול יותר-ההיקף גדול יותר.
- מהירות היקפית (מהירות נקודה על ההיקף)- מכפלה של ההיקף במספר הסיבובים.
- כלומר, מאיץ בקוטר גדול יותר מפתח מהירות נזל גבוהה יותר=מהירות נזל גבוהה יותר=עומד גבוה יותר.

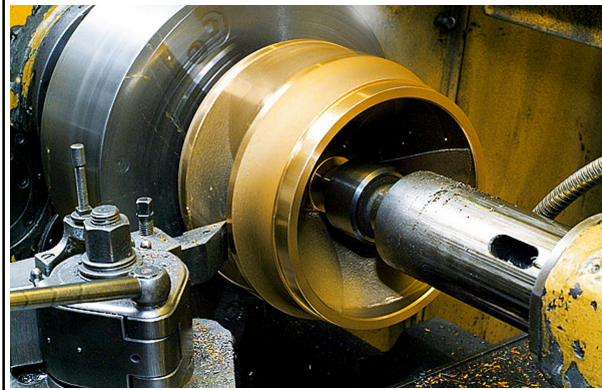
שינוי קוטר מאיץ

- הקטנת מאיץ הוא התהליך של ירידה בקוטר של מאיץ, במידה והוא גדול מדי עבור היישום המתוכנן, כדי להקטין את צריכת האנרגיה.
- לעתים קרובות, מאיץ בגודל הקטן יותר הבא הוא קטן מדי לעומס המשאבה. מאיצים קטנים יותר עשויים שלא להיות זמינים והקטנת המאיץ הוא הפתרון המעשי היחיד מבלי להחליף את ההרכבה המשאבה / מנוע כולו.
- תקופת החזר פשוטה המבוססת על חישוב באנרגיה הן לעתים קרובות פחות משנה. הקטנת המאיץ מפחיתה את מהירות קצה, אשר באופן ישיר מורידה את כמות האנרגיה המועברת לנזל המערכת ומורידה גם את הספיקה ואת הלחץ שנוצרה על ידי המשאבה.
- הקטנת מאיץ משנה את היעילות התפעולית שלה, וקטרי אימפלר מופחתים רק לעתים נדירות מתחת ל- 70 אחוזים מגודלם המקורי.
- הקטנה מוגזמת יכול אפילו לגרום לעלייה בצריכת האנרגיה והקטנת ספיקות כתוצאה מסחרור נזל הפנימי ויעילות מופחתת

עקום משאבה לאחר שינוי קוטר מאיץ



שינוי קוטר מאיץ



שינוי נקודת העבודה

חוקי דמיות-שינוי קוטר מאיץ

$$Q \propto D$$

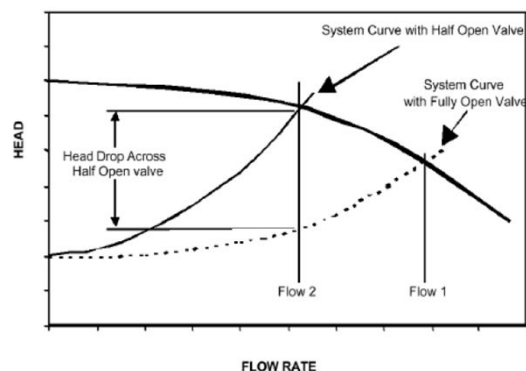
$$H \propto D^2$$

$$P \propto D^3$$

בררכת איגום מי שתיה



שינוי נקודת העבודה באמצעות שניקת מגוף



תומרים וציפויים

ניצול נפח אגירה

- בחינת נפח האיגום הקיים לצורך עבודה בתנאי תע"ז, ניהול מיטבי של נפח האגירה על ידי שימוש במכשירים מדויקים ואיכותיים למדידת מפלס המים בבריכות האגירה, נוחים לגישה ולקריאה וחשוב אף יותר מכילים ומתוחזקים כך שרמת הדיוק נשמרת יציבה.

ציפויים מתקדמים-חלקות גבוהה ומניעת קורוזיה



מד מפלס אולטרסוני



מד מפלס אולטרסוני למדידה ובקרת מפלס

מערכת החשמל

תעו"ז

- שימוש בשיטת התעו"ז-תעריף עומס וזמן, היוצרת קשר ישיר בין שיאי הביקוש לחשמל ועלויות ייצור החשמל ואספקתו ע"י חברת החשמל בשעות השונות, לבין המחיר שמשלם הצרכן.
- התעו"ז בא לידי ביטוי ב-3 רמות שונות: ברמה השעתית (פסגה-התעריף היקר ביותר, גבעת-תעריף ביניים, שפל-התעריף הזול ביותר), יומית (ימים א-ה, ימי שישי וערבי חג, ימי שבת וחג), עונתית (קיץ, חורף ומעבר).
- קיים הבדל משמעותי בין מחירי הפסגה בעונות המעבר לעומת פסגת חורף וקיץ: 52.5 אג' לקוויט"ש בלבד בעונות המעבר, לעומת 114.16 ו- 125.22 בחורף ובקיץ בהתאמה!
- בנוסף, ההבדלים בין מחירי השפל לפסגה בעונות הקיץ והחורף גדולים יותר מאשר בעונות המעבר: ההפרש בעונות המעבר בין שפל לפסגה הוא 10.1 א"ג בלבד, לעומת הפרש של 75.42 ו- 90.11 (!) בחורף ובקיץ בהתאמה

שיפור מקדם הספק

חברת החשמל מחייבת בתוספת תשלום למחיר החשמל צרכני מתח נמוך שמקדם ההספק שלהם נמוך מ- 0.92, כאשר תוספת התשלום יכולה להגיע לשיעור גבוה בחשבון החשמל.

טבלת תעו"ז



מקדם הספק

- הספק-חברת החשמל מחייבת בתוספת תשלום למחיר החשמל צרכני מתח נמוך שמקדם ההספק שלהם נמוך מ- 0.92, כאשר תוספת התשלום יכו.
 - דרכים לשיפור מקדם ההספק:
 - את ההספק הראקטיבי ניתן להקטין ב-3 דרכים:
 - הוספת צרכנים טהורים (ע"מ להגדיל את ההספק הפעיל).
 - הוספת מנועים סינכרוניים (העובדים במצב קיבולי) למערכת.
 - חיבור קבלים (במקביל לצרכנים).
- קנס עלול להגיע לשיעור גבוה בחשבון החשמל.**

עוד שיטות לחסכון באנרגיה

אופטימיזציה

חסכון באנרגיה בעזרת תוכנות חכמות המבוססות על אלגוריתם ממוחשב המאפשר תפעול יעיל בהתחשב בתעריפי החשמל, הסטת עומסים בהתאם לתעריפי החשמל, חיזוי צריכה באמצעות גרף שינוי המפלס במאגר המים בציר הזמן, איתור נקודות ההפעלה האופטימלית בהתאם לתעריף ובחירת המשאבה היעילה ביותר.

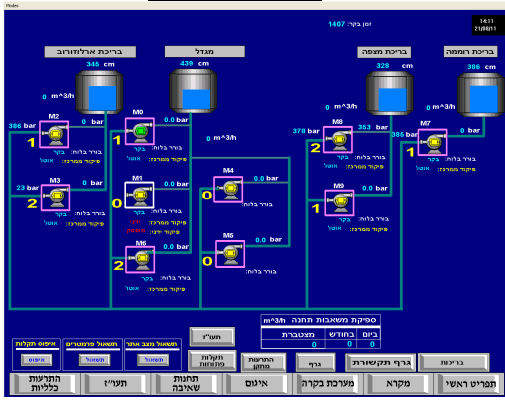
ניהול ובקרה

מעקב שוטף אחר נתוני השאיבה (שעות עבודה, ביצועי המשאבה, ספיקה, עומד, צריכת זרם וכו') וכן מעקב אחר מצבם המכני של המשאבה והמנוע (חום, רעידות, נזילות וכו').

משאבות אנכיות



מערכת בקרה



דוגמה- חישוב הוצאות אנרגיה

- משאבה מת"ש כרמלה לבריכת שניאור.
- הפרש תצרוכת החשמל השנתית (בין יעילות 84% ליעילות 38%) עבור כמות מים של כ- 1 מלמ"ק: כ- 430,000 קו"ט/שנה, שהם **כ- 215,000 ₪**, כאשר עלות שיפוץ משאבה זו היא כ- 70,000 ₪ בלבד.

יעילות [%]	צריכת אנרגיה למ"ק מים (וואט/שעה למ"ק מים למטר גובה)
84	3.5
67	4.4
38	7.8

תחזוקה מונעת

- תחזוקה הינה פעולה מתמדת לשמירה על מצבו התקין של **רכוש** כגון מיתקנים או מכוניות, כדי למנוע הידרדרות במצבם, כך שיוכלו לבצע כראוי **וביעילות** את המטרות שלהם הם נועדו. **המטרה** של פעולות התחזוקה היא להאריך את משך פעולתם של המיתקנים ככל האפשר, מאחר שאלה מתקלקלים ומתבלים **בתהליך** השימוש.
- היות ותחזוקה נועדה למנוע ולהקטין את האפשרות **לשבר** או לקלקול שיביא להקטנת **התפוקה** השוטפת של ציוד או תהליך, היא מכונה גם 'אחזקה מונעת' (preventive maintenance).
- תחזוקה מהסוג היקר ביותר, היא זו המתבצעת כאשר מתקנים מכונה שציאה מכלל פעולה. זול יותר בהרבה לבצע תחזוקה מונעת כמעשה של שגרה, במקום להמתין עד לקריסת הציוד.
- תחזוקה מונעת מסייעת גם בהקטנת הוצאות האנרגיה- חום, נדילות ורעידות הן דוגמאות לתופעות הגורמות לבזבז אנרגיה מיותר.

המשאבות הותקנו בתחילת שנות ה-50 וחלקן שופצו (באופן חלקי) בשנת 1997.



צנרת ואביזרים

משוואת היזן-וויליאמס

• עבור צינורות מחוברים בטור

$$y_{sys}^{(m)} = R_{eq} Q_{sys}^{1.852} \left(\frac{m^3}{hr} \right) = Q_{sys}^{1.852} \sum_{i=1}^n R_i; \quad R_i = \frac{1.526 \times 10^7 \times L_i (km)}{C_i^{1.852} \times D_i^{4.87} (cm)}$$

• הפסד אנרגיה ליחידת אורך ניתן לרשום באמצעות משוואה הבאה:

$$J = \frac{2.16 \times 10^7 \times V^{1.852} (m/sec)}{C^{1.852} \times D^{1.167} (mm)}$$

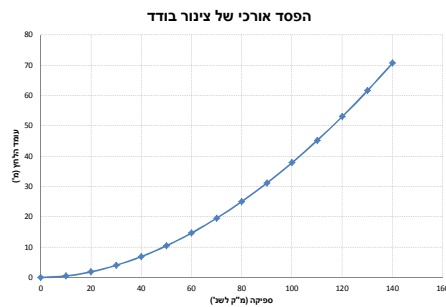
• אז הפסד המערכת יהיה שווה
 $y = JL(km)$

הפסדים-צנרת ואביזרים

- הפסדי חיכוך בצנרת מחושבים בשיטות שונות כגון: הייזן-וויליאמס, דיאגרמת מודי, דארסי-ויסבך וכו' המוצגות בטבלאות, דיאגרמות או חישובים, כאשר לכל סוג צינור מקדם חספוס.
- צינור פלדה עם ציפוי מלט פנים: C=140.
- לדוגמה: צינור בקוטר 10", באורך 500 מטר, ספיקה 300 מק"ש. הפסד עומד: 4.87 מטר.
- הפסדים באביזרים-ע"פ סוג האביזר וקוטרו.
- לדוגמה: מגוף הידראולי בקוטר 4", בספיקה של 140 מק"ש, הפסד עומד של כ-5 מטר.

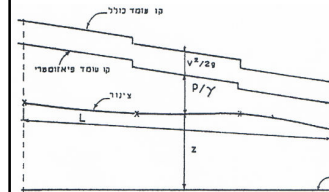
אופיין של צינור

• לפי משוואת היזן-וויליאמס הפסד גדל כאשר ספיקה גדלה, לכן:



הפסדי עומד אורכיים

- הפסדים אורכיים מתפתחים כתוצאה מחיכוך הנזל על דפנות המובל שדרכו הנזל זורם.
- פרמטרים המשפיעים על התפתחות ההפסדים האלה הם מהירות הזרימה (או סוג הזרימה) וחספוס הדפנות של מוביל.



דיאגרמת

ההפסדים

לאביזרים

שונים

הקו השמאלי מציג את המקדמים להפסד אנרגיה מקומי עבור אביזר

הקו האמצעי מציג את האורך השקול של האביזר

הקו הימני מציג את הקוטר של הצינור השקול שמחליף את האביזר

הפסדים בצינור

• משוואת דארסי-ויסבאך

$$y = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + k \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{g} \frac{8Q^2}{\pi^2 D^5} + k \frac{8Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

- f – מקדם חספוס לדארסי-ויסבאך $f = \text{func}(\epsilon/D, Re)$
- f מחשבים לפי משוואת קולברוק-וויט, משוואת סואמי, או בעזרת דיאגרמת מודי
- משוואת היזן-וויליאמס.

$$y = LJ = RQ^{1.852} = \frac{1.526 \times 10^7 \times L (km)}{C^{1.852} D^{4.87} (cm)} Q^{1.852} \left(\frac{m^3}{hr} \right) = \frac{10.7 \times L (m)}{C^{1.852} D^{4.87} (m)} Q^{1.852} \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{2.16 \times 10^7 \times L (km)}{C^{1.852} D^{1.167} (mm)} V^{1.852} \left(\frac{m}{s} \right)$$

הפקת אנרגיה

אורך שקול (אקוויוולנטי)

- אפשר להחליף את ההפסד המקומי שנובע מאבזר כלשהו בהפסד אורכי של צינור דמיוני בעל אותו הפסד אנרגיה
- משווי ההפסדים אפשר לכתוב

$$k \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}; \quad L_{eq} = \frac{k}{f} D = \frac{k}{0.025} D = 40kD$$

- אורך שקול "מחליף" רק הפסד מקומי לכן חייבים להוסיף את האורך השקול הנחשב לאורך הנתון של צינור.

$$y = J(L + L_{eq}) \text{ (km)}$$

טיפול בשפכים

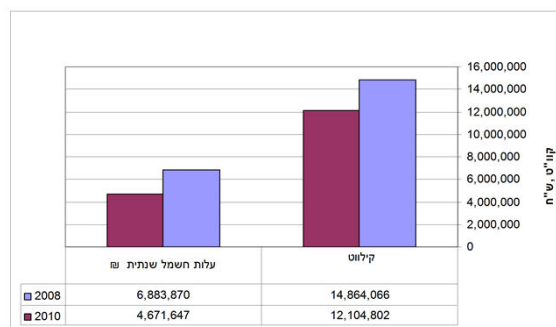
- מתקני טיפול בשפכים מבוססים בעיקר על תהליכים פיזיקליים-ביולוגיים מבוקרים, כאשר שלבי הטיפול מתחילים בתהליכי הפרדה ושיקוע פשוטים ועוברים בהדרגה לתהליכים בעלי עלות תועלת גבוהים יותר.
- בנוסף, קיים נושא הטיפול בבוצה.

לפעמים זה מצליח

בוצה משופעלת

- טיפול קדם, שיקוע ראשוני-הרחקת 60% מהמוצקים המרחפים.
- איוור-בתהליך אירובי, צרכן האנרגיה הגדול ביותר במט"ש (תלוי בגיל הבוצה ובטמפ' השפכים) במטרה לאפשר חמצון מלא של החומרים האורגניים. טיפול ממושך מאפשר יצירת פחות בוצה ופחות תשתיות לטיפול וסילוק הבוצה.
- יש להשקיע אנרגיה חשמלית שבאמצעותה מוחדר האוויר לשפכים. מקובל להניח תצרוכת של 1 קוט"ש לכל ק"ג BOD שיש לסלק.
- שיקוע שניוני.
- טיפול בבוצה-הסמכה, עיכול, ייבוש.

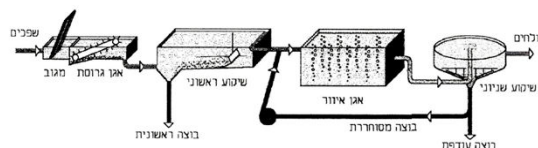
השוואת הוצאות אנרגיה שנתיות



הבוצה

- הסמכה-סילוק הנוזל.
- עיכול אנאירובי-הנפוץ ביותר, פעילות בתנאי חוסר חמצן, חלק גדול מהחומר האורגני מומר לגז מתאן, גז פחמן דו חמצני ומים.
- הגז המשתחרר בתהליך זורם בלחץ אטמוספירי אל מיכל אחסון גז נפרד
- זמן שהייה בין 15-20 יום בטמפ' 35-37 מ"צ
- ייבוש (ריכוז מוצקים עד 22%) ופינוי כזבל אורגני לטיוב קרקעות.

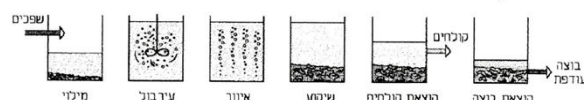
בוצה משופעלת קונבנציונלית



מיכל גז



תהליך מנתי SBR



גז המתאן

- תהליך ייצור המתאן הוא תהליך אנאירובי. בתהליך זה מפרקת מערכת מורכבת של חיידקים, באופן הדרגתי, חומרים אורגניים מורכבים, כמו תאית, לחומרים מורכבים פחות, כחומצות אורגניות, עד לקבלת תוצר שאינו מתפרק עוד ושיכול לשמש גז לבעירה, הוא הביוגז.
- ביוגז הוא תערובת של מתאן עם פחמן דו-חמצני ומעט גזים אחרים. התהליך המתואר, שבו גדלים חיידקים אנאירוביים דורש, פרט לתנאים של חוסר חמצן, גם תנאים מתאימים אחרים כגון: טמפרטורה, ערבול וחומצות מתאימות. התהליך מתקיים בטבע, בביוצות והגז הנפלט נקרא גז הביצות.

חישוב דרישות האנרגיה לתהליך טיהור השפכים

- עומס אורגני שנתי: 5,830,000 ק"ג CDO.
- יחס COD/BOD: 1:1.5
- עומס אורגני שנתי: 3,886,666 ק"ג BDO.
- צריכת חשמל שנתי: 3,886,666 קוט"ש.
- עלות אנרגיה לפי \$0.07 / קוט"ש - \$272,066
- החישוב אינו כולל עלויות החזר הון, תפעול שוטף (פרט לאנרגיה)

חישוב של כמות הביוגז

- החישוב מתבסס על כמות העומס האורגני.
- אחוז טיהור במונחי צריכת חמצן (COD): 80%
- קצב ייצור ביוגז לק"ג COD: 0.4375 מ"ק גז.
- אחוז גז המתאן בביוגז: 80%.
- ערך קלורי של המתאן (קק"ל/מ"ק) 8,500.

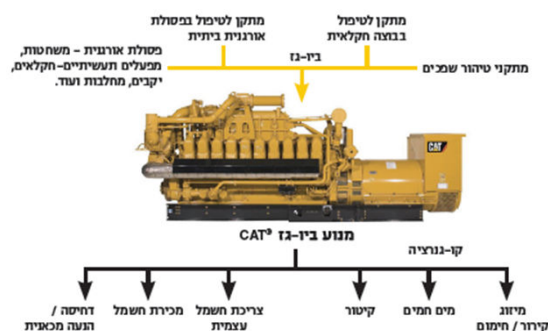
גז המתאן

- יעילותם של החיידקים גבוהה בשני תחומי טמפרטורה: התחום המזופילי, סביב 37 מ"צ והתחום התרמופילי, סביב 55 מ"צ.
- התהליך התרמופילי הוא תהליך מהיר יותר, אולם דורש אנרגיה רבה יותר, לחימום החומר האורגני הנכנס למערכת.
- בבדיקות מעבדה נקבע, שהשיטה התרמופילית עדיפה בשל היתרונות הבאים:
אפשרות להפיק גז מכמות נתונה של חומר אורגני בזמן קצר יותר.
- נוחות להזרמת החומר האורגני עקב הקטנת צמיגות עם עליית הטמפרטורה.
- הרס חיידקים גורמי מחלות ושינוי בריח המאפשר הזנה "חוזרת" לבעלי חיים של חלק ממוצרי התהליך.
- החומר הנשאר אחרי התסיסה משמש מצע גידול ונקרא "כבוך".

ביצועים לדוגמא של מתקן במפעל

- סה"כ עומס אורגני שנתי - 5,830,000 ק"ג COD
- כמות ביוגז שנתי - 2,559,375 מ"ק
- כמות גז מתאן שנתי - 2,047,500 מ"ק
- ערך קלורי שנתי - 17,400,000,000 קק"ל

גנרטור מופעל בגז

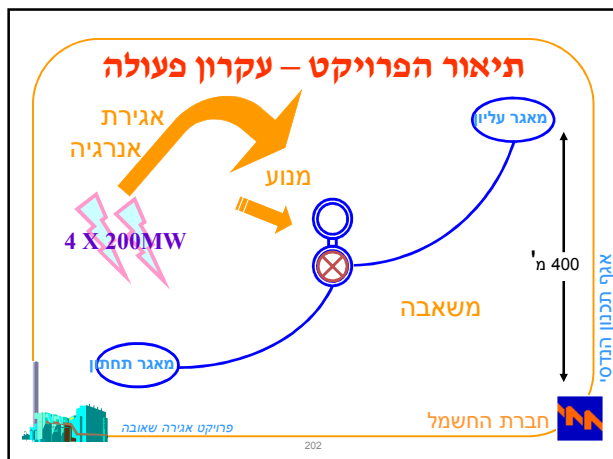


חישוב החיסכון במונחי טונה/מזוט

- ערך קלורי טונה/מזוט - 9,600,000 קק"ל
- חיסכון שנתי - 1,812 טונה
- חיסכון שנתי ב-\$ (190\$ לטונה מזוט בתכנון) 344,280\$

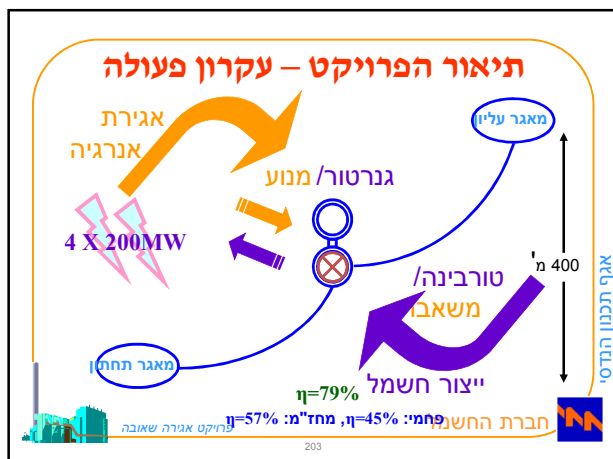
הביוגז

- התכונות הפיזיות של הביוגז מקשות על אחסונו. דרגות החום (82 מ"צ) והלחץ הדרושים להפיכתו לחומר נוזלי קשים. אחסונו מחייב גדולים ויקרים. לכן, יש טעם כלכלי רק בשימוש מיידי.
- בעת התסיסה מתפרקים 30-45% מהחומר האורגני, תוך שינויים רבים בחומרים האורגניים וכמעט ללא שינויים בחומרים האנאורגניים.
- הביוגז המופק בתהליך מורכב מ-62% מתאן ו-38% פחמן דו-חמצני. הרכב התערובת יכול להשתנות בהתאם לשפכים/לפסולת המוזנת למערכת ובהתאם לתנאי התסיסה.
- להפרדת הגזים זה מזה יש יתרון משמעותי. העלאת ריכוז המתאן חשובה במנועי שריפה פנימית שכן יעילותם עולה עקב כך.



מתקן לניצול ביוגז- קיבוץ גבעת חיים

- מתקן לניצול ביוגז לייצור חשמל הוקם גם במפעל גת בקיבוץ גבעת חיים על-ידי חברת טכנולוגיות לשימור הסביבה בעלות של \$2,260,000.
- המתקן הזה אמור לחסוך כ-95 טונות דלק ו-4,450,000 קו"ט לשנה. ייחודו של המתקן בגת הינו בשימוש בביוגז להפעלת דיזל גנרטור בהספק 450 קו"ט ושימוש בחום הפליטה של גזי המנוע לייצור קיטור בספיקה של 0.25 טונה/שעה בלחץ 8 אטמ'.



בירושלים

- מיזם להנעת משאיות העירייה בגז מתאן המופק מבוצה המתקבלת מתהליך טיהור השפכים של העיר.
- מכון טיהור השפכים (מט"ש) של ירושלים מפיק כ-6.5 מיליון מ"ק גז מתאן בשנה, לאחר ניקוי הגז יתקבלו כ-4 מיליון מ"ק גז שיכולים לחסוך 4 מיליון מ"ק סולר מזהם.
- על פי המודל הכלכלי של הגיחון - תאגיד הביוב והמים של ירושלים. עלות ההשקעה הכוללת להסבת המשאיות להנעה בגז המתאן עומדת על 25 מיליון שקל.
- גז המתאן פולט עשרות אחוזים פחות גזי חממה לעומת סולר רגיל, הוא זול יותר ומפחית בחצי את רעש המנוע.
- ערים רבות בעולם כמו מדריד, רומא, פריז ואוסלו משתמשות בגז המתאן המופק מאשפה או שפכים להנעת רכבי העירייה.



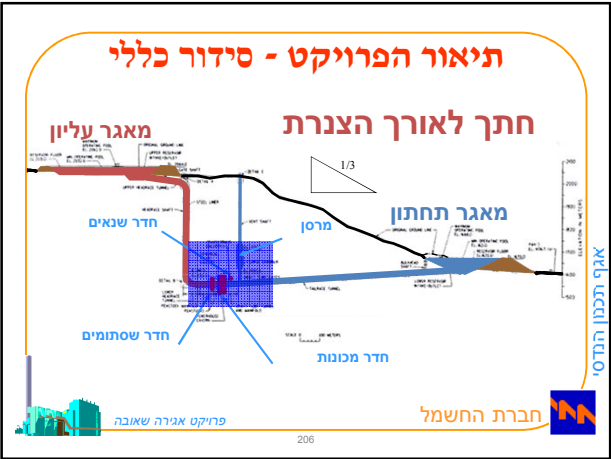
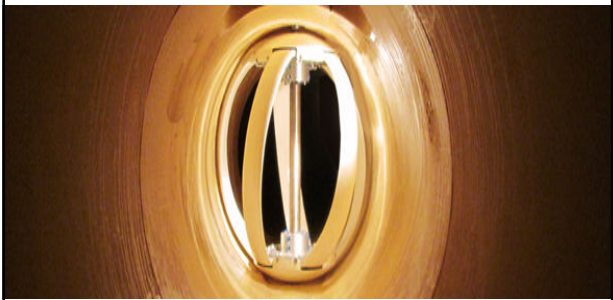
אגירה שאובה

תחנות כוח בטכנולוגיית האגירה השאובה משמשות בעיקר לוויסות עומסים ולניהול פערי הספק-ביקוש ברשתות חשמל. הטכנולוגיה עושה שימוש בהפרשי גבהים בין שני מאגרי מים, על מנת לייצר חשמל באמצעות טורבינה תת קרקעית. עודפי החשמל, המיוצרים בשעות שפל הצריכה, משמשים לשאיבה והעלאת כמויות גדולות של מים מהמאגר התחתון אל המאגר העליון, ובשעות שיא הצריכה מוזרמים המים בכיוון ההפוך תוך הנעת טורבינה הידרו-אלקטרית לייצור חשמל. בעולם קיימות תחנות כוח רבות בטכנולוגיית אגירה שאובה אולם בישראל טכנולוגיה זו איננה נפוצה כלל.

טורבינה ברשת המים



טורבינה בצינור מים



הידרוספין

