

12. מערכת מיזוג אוויר

12.1 מבוא

מערכת מיזוג אוויר בספינות נירית כוללת שתי יחידות מיזוג מרכזיות (מגורית ומבצעית) בהספק של 30 טון קירור כל אחת, מתוצרת חברת Dunham-Bush וירגיניה- ארה"ב. מערכות אלו מקררות מים מתוקים ומספקות אותם ליחידות טיפול אוויר הממוקמות במדורים השונים בספינה. המערכת נועדה לקירור מדורי הספינה, קירור מכשירים אלקטרוניים וקירור מי שתייה.

מערכת מיזוג אוויר מגורית מקררת את המדורים הבאים: חרטום, ירכתיים, גשר סגור, מבנה עילי, קצמ"ח ובקרת מכונה. מערכת מיזוג אוויר מבצעית מקררת את המי"ק, שיפולי המי"ק, מכשירים קידמי ואחורי, מדור נוקמני, תורן, תותח ו-VLU. מדור מכשירים ב' מחובר לשתי המערכות, בדרך כלל השסתומים על המערכת המבצעית פתוחים ובמגורית סגורים. המערכות המרכזיות ממוקמות בקדמת חדר מכונה קדמי. היחידה המבצעית בדופן ימין והמגורית בדופן שמאל. כל מערכת מורכבת משלוש תת-מערכות: גז, מים מתוקים ומי ים. בכל מערכת ישנם שני מעגלי קירור. בחירת תפוקת הקירור של היחידות נעשתה בהתאם לאפיון הבא:

טמפ' ולחות יחסית בחדר מאויש: $25-27^{\circ}\text{C}$; 45-55% לחות.

טמפ' בחדר לא מאויש 30°C .

הני"ל עבור תנאי סביבה קיצוניים של 36°C (טמפ' חיצונית); 60% לחות יחסית וטמפ' מי ים של 32°C .

12.2 מושגים כלליים:

- **חום :** צורה של העברת אנרגיה לחומר. אנרגיית חום בתרמודינאמיקה מסומנת באות Q ונמדדת בג'אול או בקלוריות. חומר שמתחמם בעצם מקבל אנרגיה ואילו חומר ש"מתקרר" מאבד אנרגיה, או ליתר דיוק מוסר אנרגיה לחומר אחר. חומר חם תמיד ימסור אנרגיה לחומר פחות חם. חימום גוף מסוים יכול להתבטא בשינוי טמפ', שינוי לחץ, שינוי נפח או שינוי מצב צבירה.
- **חום כמוס :** האנרגיה שנדרש להכניס לחומר כדי לשנות את מצב צבירתו מבלי להעלות את הטמפ' שלו. אנרגיה זו הולכת לטובת שבירת הקשר בין מולקולות החומר, כדי לאפשר את השינוי במצב הצבירה.
- **לדוגמא :** על- מנת לחמם גרם מים במעלה אחת צלזיוס דרושה קלוריה אחת, אך על מנת להפוך גרם מים לגרם קיטור בלחץ אטמוספרי (ללא העלאת בטמפ') דרושים 539 קלוריות.
- **SUBCOOLING (קירור יתר) :** לקרר חומר עד אשר הוא משנה את מצב הצבירה שלו ואז להמשיך לקרר עוד קצת עד שכל החומר כולו שינה את מצב הצבירה.
- **SUPERHEATING (חימום יתר, שיחון) :** לחמם חומר עד אשר הוא שינה את מצב הצבירה שלו ואז להמשיך לחמם מעט מעל טמפ' הרתיחה של אותה החומר.
- **אנטלפיה :** כמות האנרגיה הפנימית של המערכת

$$H=Q+PV$$

H- אנטלפיה של המערכת ברגע נתון.

Q- כמות החום במערכת.

PV – מכפלת הלחץ P בנפח החומר V.

- סוגי תהליכים איזותרמיים :

○ **איזוברי :** בלחץ קבוע - $V/T=Const$ (חוק צ'אר)

○ **איזוכורי :** בנפח קבוע – $P/T=Const$ (חוק גיי-לוסק)

○ **איזותרמי :** בטמפ' קבועה- $PV=Const$ (חוק בویل)

○ **אדיאבטי :** ללא מעבר חום עם הסביבה .

○ **פוליטרופי :** יש שינוי בכל הגדלים P, V, T.

- **1 טון קירור :** כמות החום שהיה סופח טון אחד של מים מזוקקים- $1m^3$ (קוב) לו נמס לחלוטין במשך 24 שעות.

12.3 מחזור קירור עקרוני (שרטוט 1):

בכל מערכת מיזוג אוויר התהליך היסודי הינו מחזור הקירור.

כל מחזור קירור בנוי מארבעה מרכיבים :

המדחס : שלב בו מוכנסת אנרגיה מכאנית לצורך העלאת לחץ הקירור.

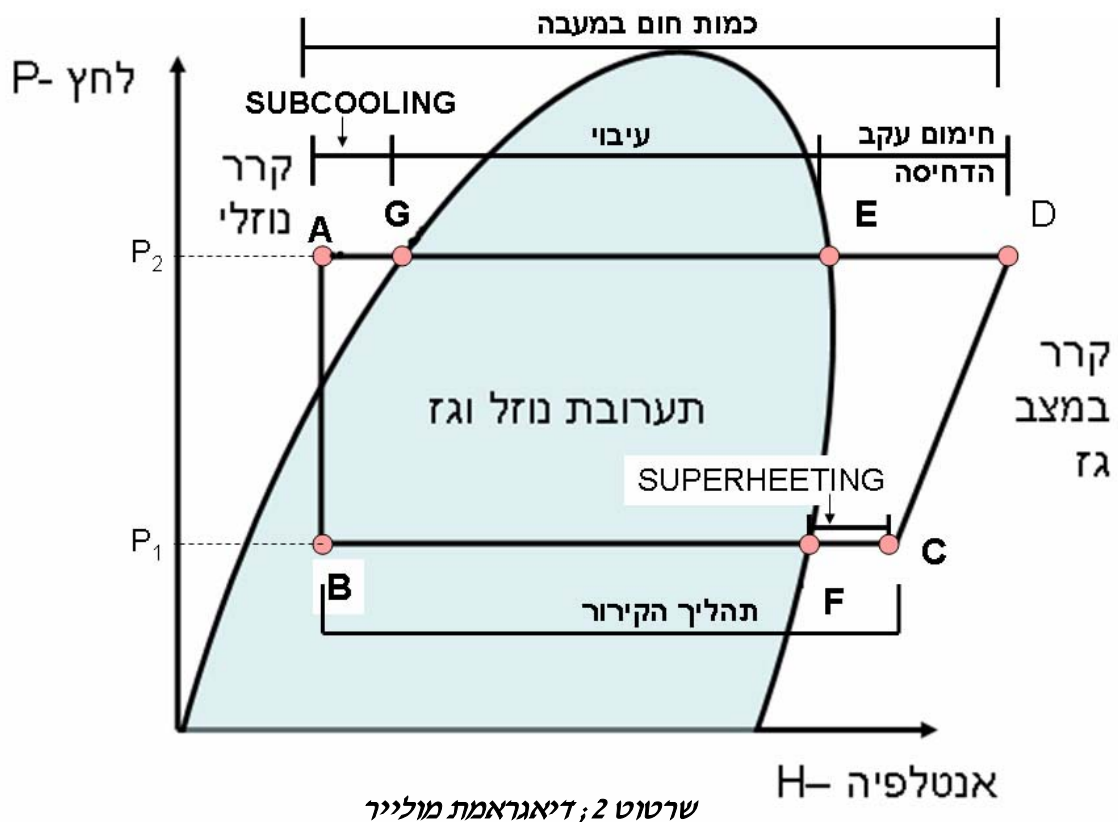
מעבה : מחליף החום המאפשר סילוק החום שניקלט בתהליך הקירור במאייד (כולל האנרגיה

שהוכנסה בתהליך הדחיסה).

נחיר התפשטות : תהליך המעבר מהלחץ הגבוה ללחץ הנמוך. תהליך אשר תיאורטית אינו קשור

בתוספת או איבוד אנרגיה – תהליך איזנטלפי.

המאייד : מחליף החום בו מבוצע למעשה שלב הקירור.



12.4 פעולת מרכיבי מחזור הקירור:

12.4.1 המדחס

אל המדחס נכנס קרר במצב צבירה גז בלחץ נמוך (40-80bar) ונדחס ללחץ גבוה (כ-200bar). ביציאה מהמדחס נדחס הקרר לנפח קטן ולכן הלחץ והטמפרטורה שלו גדלים בתהליך. התהליך הוא אדיאבטי מאחר ואין אמצעי קירור הנועד להסיע את החום מהקרר בזמן דחיסתו. תהליך הדחיסה הוא קו CD בדיאגרמת מולייר. ניתן לראות כי ל-CD שיפוע חיובי, כלומר השינוי אינו רק בציר הלחץ אלא באנטלפיה של הקרר כתוצאה מהדחיסה. שינוי זה בא לידי ביטוי בעליית טמפרטורה.

12.4.2 המעבה

מחליף החום המאפשר סילוק החום שניקלט בתהליך הקירור במאייד ואנרגיה שנקלטת בתהליך הדחיסה. במעבה מוזרם הקרר כאשר נגדו מוזרמים מי ים במערכת ימית או אוויר במערכת ביתית. הקרר חם בהרבה מהמים ולכן הוא מוסר חום. בנוסף להורדת הטמפרטורה משנה הקרר במעבה את מצב הצבירה שלו מגז לנוזל (חום כמוס). מהמעבה יוצא קרר במצב נוזל בלחץ גבוה, מכיוון שבין המדחס למעבה קיים עדיין גז חם אשר "דוחף" את הקרר הנוזלי. תהליך העיבוי בדיאגרמה מצוין בקו DA. למעשה, לא כל התהליך הינו עיבוי. בקטע DE מתקרר הגז השחון עד לרוויה ורק אז מתחיל העיבוי עד לנק' G בה הופך כל הגז לנוזל. הקטע GA הוא בעצם קירור יתר (SUBCOOLING).

12.4.3 שסתום התפשטות

תפקידו של שסתום ההתפשטות לווסת את כמות הקרר העוברת למאייד על מנת לאפשר התפשטות אופטימאלית, ע"פ חיווי דרישת קירור ביציאה מהנחשול. נחיר ההתפשטות מפיל את הלחץ בכניסה למאייד ומביא את הקרר ללחץ P1 הדרוש לפעולת הקירור. כנאמר נחיר זה הוא מעבר בין נפח קטן לנפח גדול. שינוי הנפחים גורם למפל לחץ משמעותי. כידוע, הורדת הלחץ גורמת לירידה בנק' הרתיחה של הקרר. אחרי השסתום הקרר נמצא במצב שנק' הרתיחה עבור הלחץ הנוכחי (P1) נמוכה מהטמפרטורה הנוכחית שלו, עובדה זו מאלצת אותו לשנות מצב צבירה ולספוח חום כמוס לצורך כך. כדי להקל על רתיחת הקרר יש להגדיל את שטח המגע שלו עם התווך החם, מסיבה זו יוצא הקרר מהשסתום בצורת אירוסול – תרסיס. זהו מצב של טיפות קטנות שהן בעצם נוזל אך מתנהגות כמו גז בגלל גודלן. הקרר מקבל חום מהמקור הזמין ביותר שהוא כמובן המים הזורמים סביב צנרת הגז במאייד. במערכות פשוטות העובדות בספיקות קבועות משתמשים בנחיר הצרה שמתפקד כמו שסתום התפשטות אך אין לו יכולת לויסות גודל הנחיר.

12.4.4 המאיד

בדיאגרמת מולייר מתאר קו BC את מצב הקרר בתהליך הקירור. בנקודה B הקרר שכמעט כולו נוזל, קולט אנרגיה חיצונית (במקרה שלנו המים מתקררים במחליף החם) בשיעור של $H_C - H_B$, רותח והופך בהדרגה מנוזל לגז עד שבנקודה F, הוא כולו גז (נק' הרוויה). החומר ממשיך מעט להשתחן עד לנקודה C. הלחץ (אם לא נביא בחשבון הפסדי לחץ) נשאר קבוע וברמה קבועה השווה ל- P_1 . לחץ זה נקרא לחץ היניקה. למעשה, זהו התהליך עבורו נעשה כל מחזור הקירור. שאר השלבים בתהליך הקירור באים על מנת לעשות רגנרציה, כלומר על מנת להחזיר את הקרר חזרה לנקודה B על מנת שיוכל להתחיל מחדש בקירור.

העיקרון המיושם בתהליך הקירור הוא ניצול החום הכמוס הרב הנדרש בתהליך הרתיחה של נוזל. לצורך קירור אוויר אנו משתמשים בקרר אשר ירתח בטמפ' נמוכה יותר מאשר טמפ' המים על מנת שאם נביאו במגע עם המים דרך מחליף חום, ישאף החומר לגזול את החום מהמים והמים ישאפו למסור את חומם לחומר הקר מהם.

12.5 תאור הזרימה במערכת הגז (שרטוט 2):

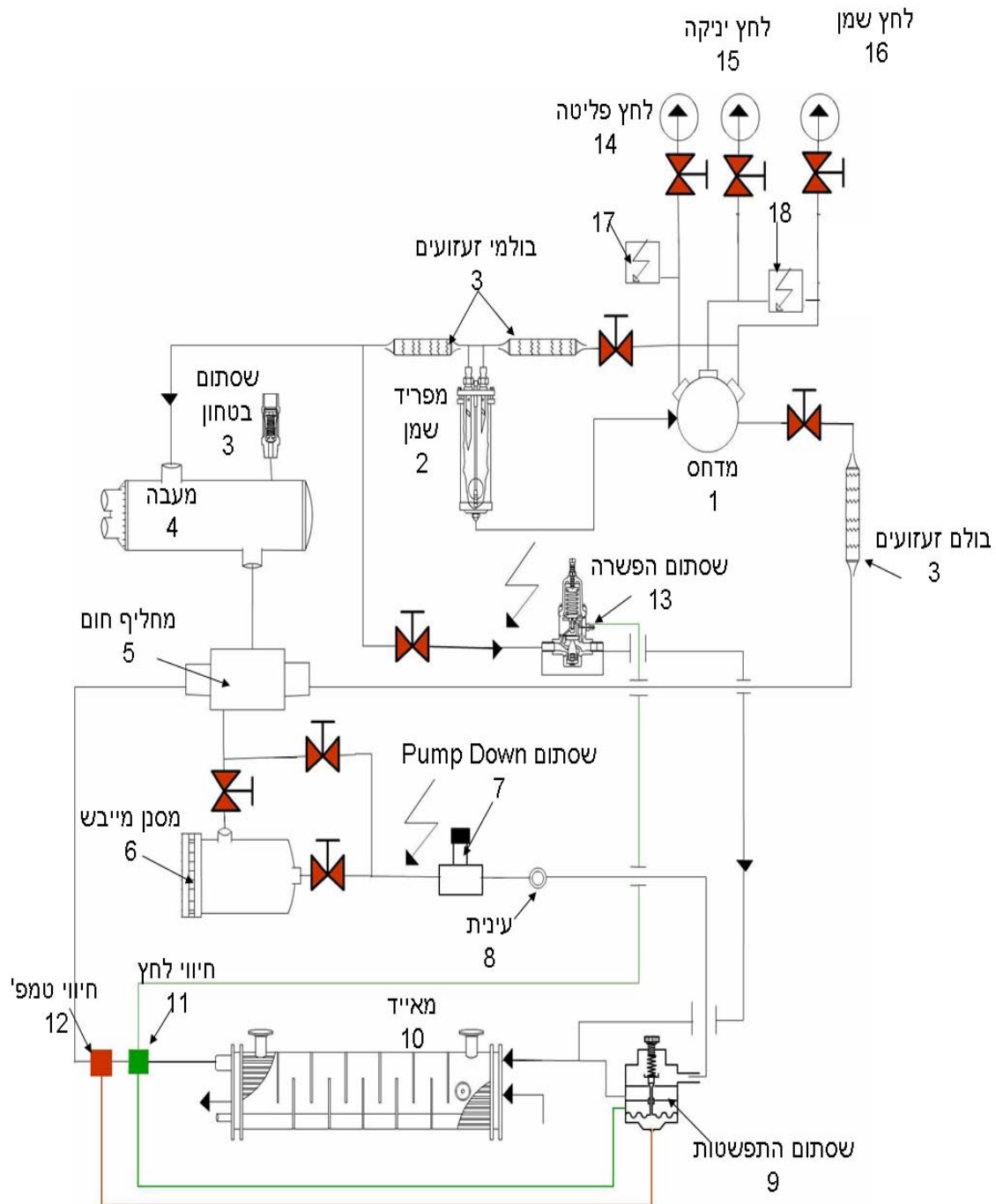
במדחס הקרר שנמצא במצב צבירה גזי נדחס ללחץ גבוה (PSI 220-280) וטמפ' גבוהה ($80-100^{\circ}\text{C}$) במצב צבירה גז. הקרר במצב צבירה גז נכנס למפריד השמן (2) אשר תפקידו להפריד את השמן "הבורח" דרך בוכנות המדחס חזרה לאגן השמן של המדחס. לאחר מכן, הקרר במצב צבירה גז נכנס למעבה (4) אשר מהווה מחליף חום כאשר מי הים מוזרמים בתוך הצינורות והקרר במעטפת. מגע הגז החם בצינורות המקוררים במי הים גורם לגריעת חום מהגז התעבותו והפיכתו לנוזל בלחץ גבוה (PSI 220-280) ובטמפ' של 40°C . הקרר במצב צבירה נוזלי שוקע בתחתית המעבה אשר משמש גם כקולט נוזלים.

הקרר במצב צבירה נוזלי עובר דרך מחליף חום (5) אשר תפקידו לחמם את גז היניקה. לאחר מכן, הקרר עובר דרך מסנן מייבש (6) המסנן את הנוזל מחלקיקי לכלוך וסופח את אדי המים שבמערכת. בכניסה למסנן המייבש ישנו שסתום מילוי לקרר במצב נוזלי.

הקרר עובר דרך שסתום סולנואיד pump down (7) אשר משמש אביזר במערכת הבקרה ודרך עינית ביקורת (8) אשר באמצעותה ניתן לראות אם חסר קרר במערכת ואם הקרר יבש מאדי מים. הקרר במצב נוזלי עובר דרך שסתום התפשטות (9) שתפקידו וויסות רמת הקירור בהתאם לעומס ע"י יצירת מפל לחץ בכניסה למאייד. מפל הלחץ אחרי שסתום ההתפשטות גורם להורדת טמפ' הרתיחה מתחת לטמפ' הנוכחית של הקרר ולכן הוא "חייב" לשנות מצב צבירה. הקרר נכנס למאייד, זורם בתוך הצינורות ואילו המים במעטפת. המים הם מקור האנרגיה הזמין לקרר, לכן הוא סופח מהם אנרגיה שבאמצעותה הוא משנה את מצב הצבירה שלו (חום כמוס) לגז בלחץ נמוך. המים החמים מתקררים כתוצאה מגריעת החום מהם.

הקרר במצב צבירה גז עובר בדרכו ליניקת המדחס דרך מחליף חום (5) בתוכו מבוצעת החלפת חום בין הגז הקר לנוזל החם (מצב זה אפשרי בגלל שהגז בלחץ נמוך ואילו הנוזל בלחץ גבוהה, כך טמפ' הרתיחה שלהם שונות). הגז הקר מתחמם ושאריות הנוזל שהיו בו מתאדות וכך מובטח שלא ייווצר מצב בו יוחזר קרר במצב צבירה נוזלי לתוך המדחס (1). הקרר במצב צבירה גז חוזר למדחס והמחזור מתחיל מחדש.

כדי לצמצם בצורה אופטימאלית את כניסת ויציאת המדחסים מפעולה קיים מעגל נוסף המחובר את קו הפליטה מהמדחס (אחרי מלכודת הנוזלים) ישירות לכניסה למאייד (אחרי שסתום ההתפשטות). תפקיד שסתום ההפשרה (13) הוא לפתוח או לסגור קו זה. שסתום זה מקבל חיווי לחץ גז מיציאת המאייד. אם הלחץ קטן מ-60 bar השסתום יפתח ובעצם יקטין את ספיקת הקירור של המערכת. שסתום זה מקבל גם פיקוד חשמלי המונע ממנו להיפתח בתהליך ה pump down .



שרטוט 3 ; סכמת המערכת

12.6 מכלולי המערכת

12.6.1 מדחס

CARRIER	יצרן
06DA5372BA 0600	דגם
4.7 ליטר	קיבולת אגן שמן
6	מס' בוכנות
2 אינץ'	קוטר בוכנה
1.25 אינץ'	אורך מהלך הבוכנות
1750	סל"ד
20- אמפר	זרם נומינלי
14 קילו-וואט	הספק מנוע
SUN-ISO 4G	סוג שמן
SHELL CLAVUS OIL 33	תחליף לשמן
חצי גובה עינית	גובה שמן

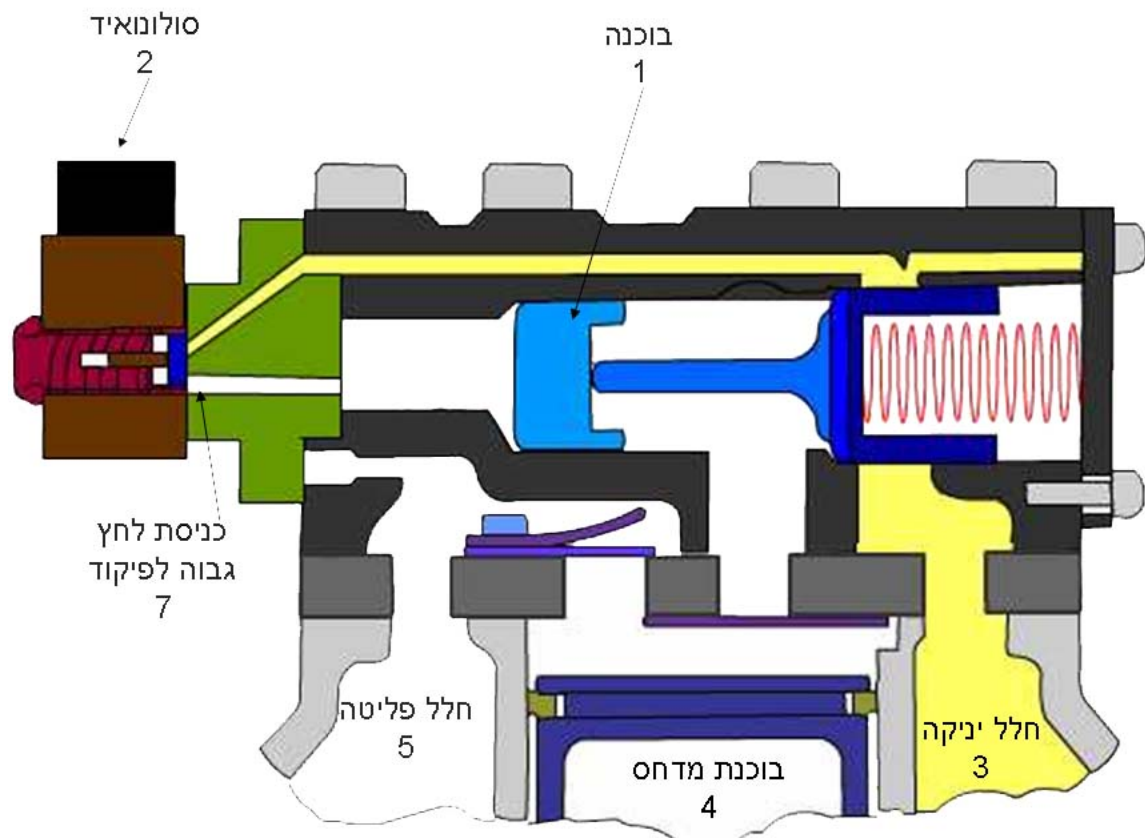


תמונה 4 ; מדחס

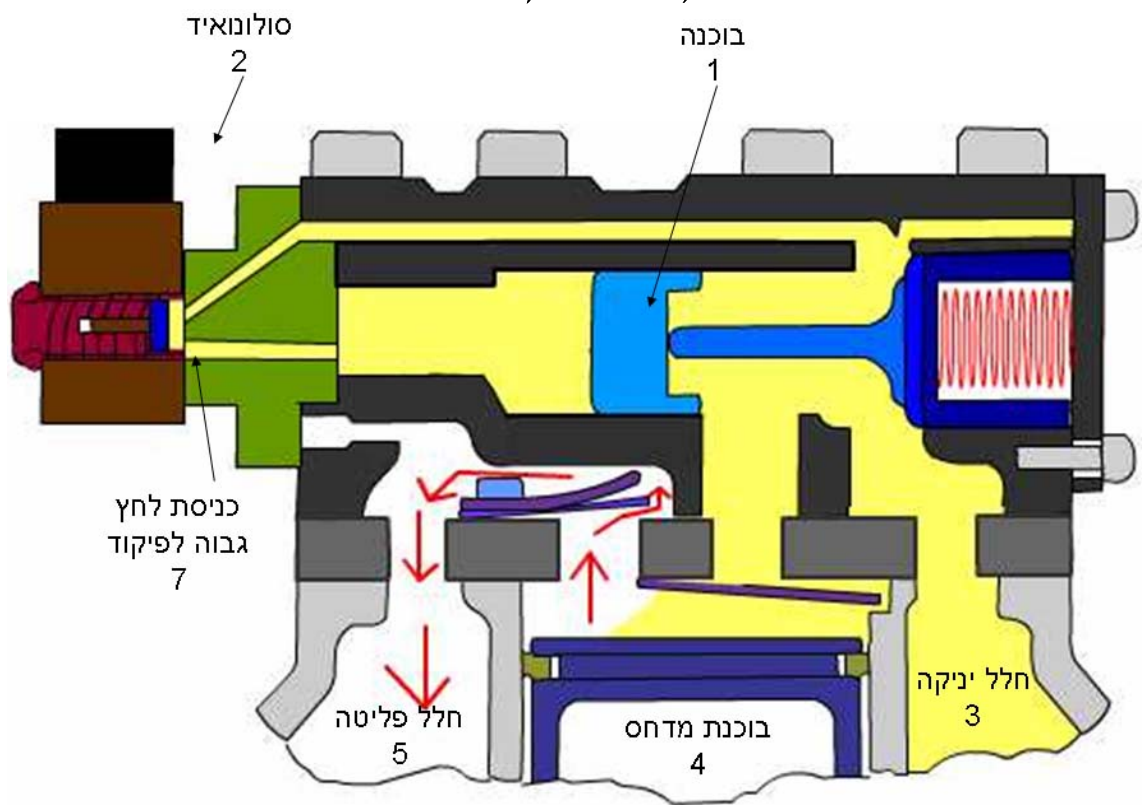
בכל מעגל קירור מותקן מדחס בוכנות הכולל 6 בוכנות מסודרות בזוגות בשלושה ראשים. שלושת זוגות הבוכנות עובדות במקביל, כלומר יונקות גז מחלל האגן ופולטות אותו לחלל משותף. הגז נכנס לתוך המדחס, עובר תחילה דרך סליל הסטטור, לאחר מכן, נכנס לתוך גל הארכובה החלול ויוצא דרך קדחים ממנו לאגן השמן ומשם הוא נינק לראשים. בית המדחס עשוי יצקת פלדה ובוכנותיו מאלומיניום. גל הארכובה ממוסב ע"י שני מסבי החלקה הנמצאים משני צידי פני הארכובה. מסבי התלתלים משומנים בלחץ ע"י משאבת השמן הנמצאת בחלקו הקדמי של המדחס. משאבת השמן הינה משאבת שן ושקע המונעת ע"י גל הארכובה. המשאבה יונקת שמן מהאגן דרך מסנן ופולטת לקדחים של גל הארכובה ולפינים שלו. בבית המדחס ישנו ערפל שמן המתערבב עם הגז העובר שם. לאגן השמן גופי חימום הפועלים על מתח של 115 וולט והספק של 75 וואט. חימום השמן נועד לצורך אידוי הפראון המתעבה על בית המדחס בזמן שהוא מודמם בכדי למנוע את התערבבות הפראון הנוזלי עם השמן שבאגן, דבר שיגרום להקצפת השמן ולירידת לחץ השמן במדחס עם הפעלתו הראשונית.

שסתום ביטול דרגת מדחס (שרטוט 4,5)

כפי שנאמר קודם לכן, למדחס שלושה ראשים. האמצעי הינו ראש רגיל (ללא אפשרות ביטול) בדומה לראשים במדחס מיזו"א בסער 4. שני הראשים האחרים הינם ראשים בעלי אפשרות לביטול עבודתם. מנגנון זה מאפשר הפקת עוצמות קירור שונות ע"י המדחס במצבים בהם אין צורך בעוצמה מרבית. ביטול פעולת הראש נעשה ע"י חיבור בין חלל היניקה לפליטה. המערכת נשלטת ע"י בקר הדוגם את טמפ' המים ביציאה למדורים ולפיה נותן פקודה לסולנואיד (2) המורכב על הראש. הסולנואיד שולט על שסתום המקשר את חלל הפליטה לחלל היניקה (7). כאשר הסולנואיד יפתח יגיע לחץ גבוה לחלל הבוכנית (1) ויזיז אותה ימינה. תנועת הבוכנה ימינה תסגור את המעבר המקשר בין חלל היניקה לחלל הפליטה (לא ניתן לראות מעבר זה בשרטוט). כמו כן יפתח המעבר מסעפת היניקה לשסתומי היניקה. כאשר הסולנואיד (2) סוגר את השסתום, הבוכנית (1) לא תקבל לחץ פיקוד ובגלל הקפיץ היא תחזור לצד שמאל וכך יפתח הקדח בין חלל היניקה לפליטה וייסגר המעבר מחלל היניקה לשסתום היניקה.



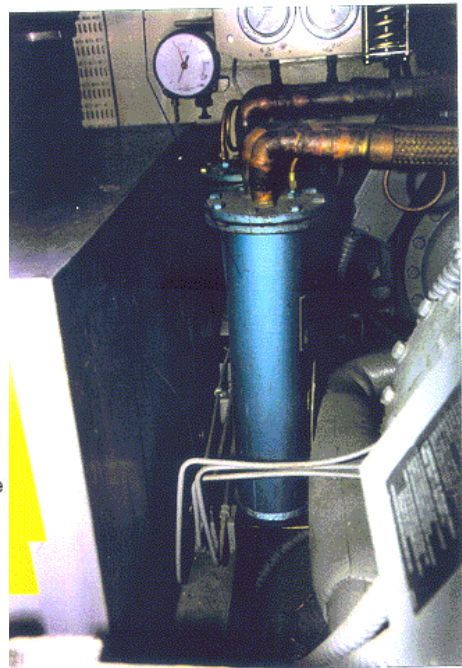
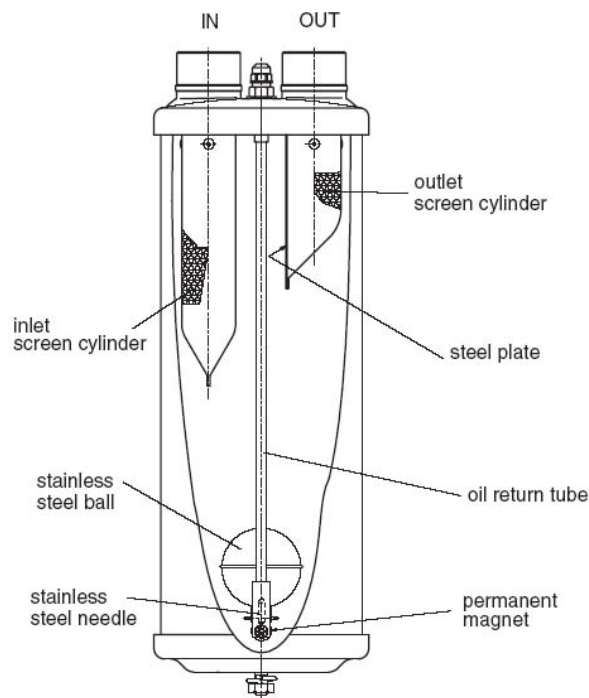
שרטוט 5; בוכנה בפריקה



שרטוט 6; בוכנה בפעולה

12.6.2 מפריד שמן

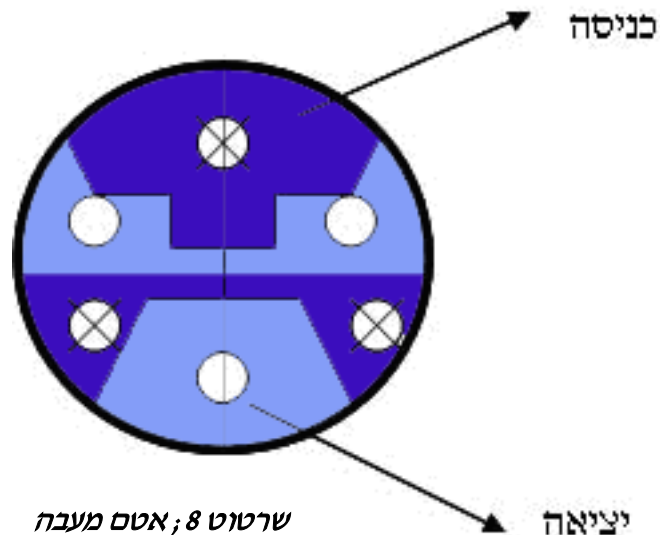
ביניקת כל מדחס מותקן מפריד שמן תוצרת CASTEL דגם 5540/7. מפריד השמן בנוי ממכל גלילי אליו מתחברים צינורות היניקה והיציאה מלמעלה. בתחתית המכל יש מצוף עם מלכודת שמן; הגז הנכנס למפריד עובר דרך מסנן שמן ויוצא מהצד השני ללא שמן. השמן מטפף מהמסנן ומתרכז בתחתית המפריד. כאשר מצטבר שמן בתחתית והמצוף עולה, נפתח ברז דרכו נלחץ השמן ומועבר בעזרת צנרת חזרה לאגן השמן במדחס.



תמונה 7- שרטוט (א); מפריד

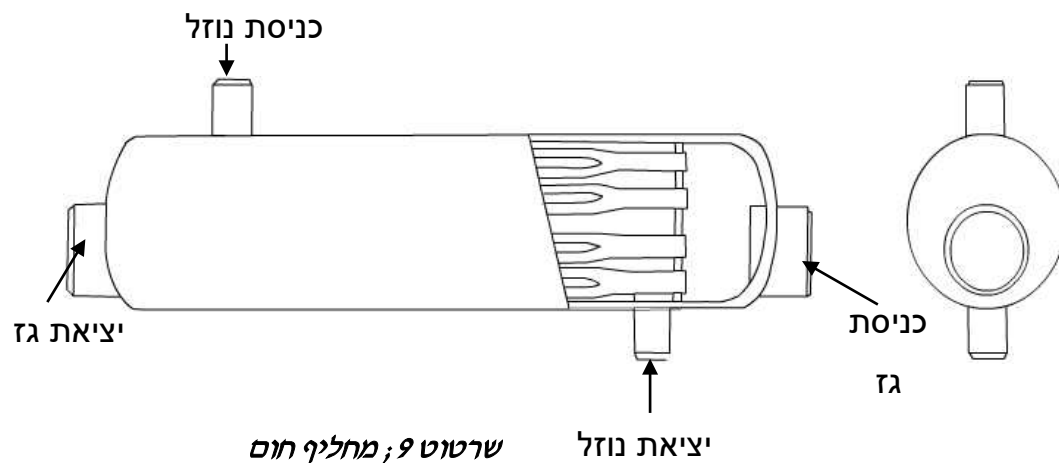
12.6.3 מעבה

לכל מעגל מותקן מעבה תוצרת BOSH – DUNHAM דגם CDR 0877/3. מעבה המים הינו מטיפוס מחליף חום מי ים – קרר עשוי פלדה על מנת שיחזיק את הלחץ הגבוה של הפראון. למעבה מכסי ארד וצינורות העשויים נחושת וניקל. המים קולטים מהקרר את החום שספח הקרר בתהליך הקירור ובתהליך הדחיסה וגורמים לעיבוי הגז. מי הים זורמים בתוך צינורות המעבה והקרר במעטפת. הצינורות בעלי שטח חימוני מעובד בצורת תבריג חריצים להגדלת שטח מעבר החום. הצינורות מעורגלים לתוך דפנות המעבה למניעת נזילות. הצינורות ממלאים את כל חלל המעבה כאשר בתחתית צפיפותם יורדת מאחר והמעבים משמשים גם כקולטי נוזל. למעבה שסתום בטחון הפורק ב- 23 אט". תפקידו לשחרר קרר מהמערכת במידה ולחץ הקרר הנבנה ע"י המדחס גבוה מהמותר. מצב זה יתכן כאשר בקר לחץ גבוה אינו מתפקד או אינו מכויל ללחץ המתאים (PSI 300). משני צידי המעבה מותקנים מכסים הניתנים לפרוק לצורך גישה וניקוי הצינורות בעזרת חוטר פלדה. המכסים מחולקים על ידי מחיצות להשגת מספר מעברי מים מתאימים. הצינורות ישרים כדי לאפשר העברת חוטר וניקויים (מתבצע ע"י חוטר של תותח 20 מ"מ). מכסי המעבים אטומים באמצעות אטם צורני הקובע את כיוון זרימת המים.

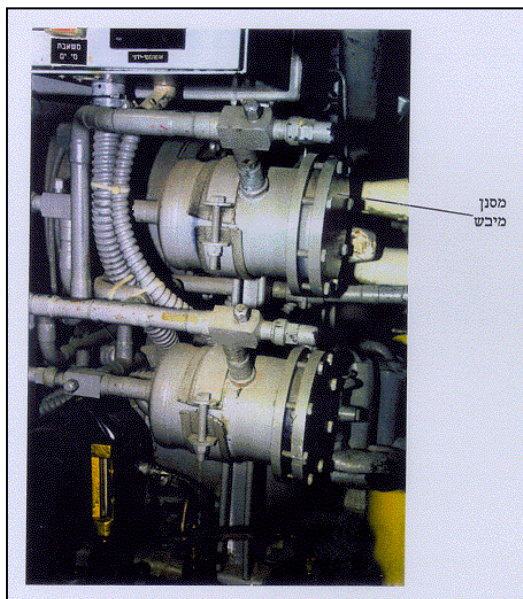


12.6.4 מחליף חום

בכל מעגל קירור מותקן מחליף חום תוצרת DUNHAM – BUSH דגם SX10R. מטרת מחליף החום לקרר את הנוזל ביניקת המדחס ובכך משיגים: קירור יתר בתהליך העיבוי להבטחת כניסת אחוז נוזל גבוה יותר לשסתום ההתפשטות. להבטיח שיחון הגז היוצא מהמאייד ובכך למנוע חזרת נוזל למדחס, נזכיר שנוזל אינו דחיס וכניסת נוזל למדחס יכולה להזיק לו. בפעולת החלפת החום מוסר הקרר שיוצא מהמעבה (40°C) חום לקרר הגזי שביניקת המדחס (15°C) ובכך מתקיים קירור יתר בקו הנוזל ושיחון בקו היניקה.



12.6.5 מסנן מייבש

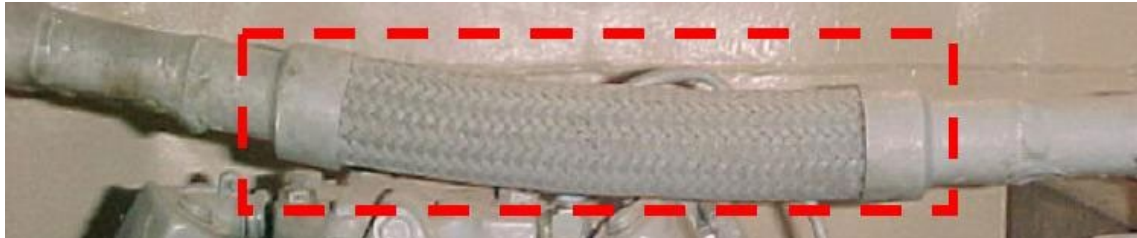


בכל מעגל קירור מותקן בקו הנוזל מסנן מייבש מ"סיליקה גיל" תוצרת ALCO דגם H-48. תפקידו למנוע מכללך ורטיבות להגיע אל החלקים העדינים של המערכות. במערכות הקירור עלולים להיווצר חומצות מתרכבות של חומר הקירור עם שמן או עם מים הקיימים במערכת. כתוצאה מכך תיווצר קורוזיה אשר תפגע במתכות מהן מיוצרים הצינורות דרכם זורם הקרר. תפקיד המסנן המייבש לאגור את החומרים המזיקים כולל חומצות לפני כניסתם לרכיבי המערכת.

תמונה :: מסנן מייבש

12.6.6 בולם זעזועים

בולם הזעזועים הינו צינור גמיש שתפקידו להחליש את קול דחיסת הגז ולמנוע העברת רעידות מהמדחס לכלל הצנרת.



תמונה 21 ; בולם זעזועים

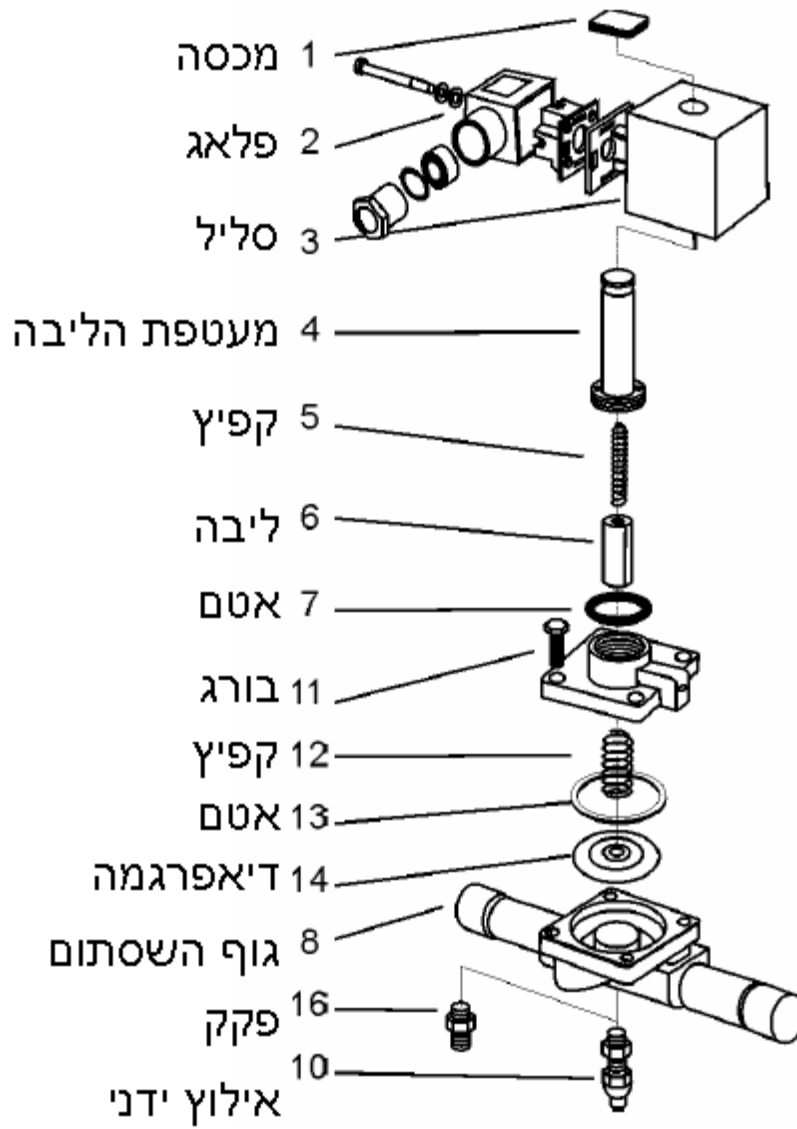
12.6.7 שסתום חשמלי pump down (שרטוט 11):

בקו הנוזל מותקן שסתום חשמלי תוצרת ALCO

דגם T – 9T7 RA 240.

תפקידו של השסתום החשמלי הוא סגירת קו הנוזל על פי דרישת בקר הטמפרטורה או בהדממה ידנית של המדחס לאחר שטמפרטורת המים ירדה מתחת לנקודה אליה הוא מכוון לאותו מעגל קירור ויש להפסיק את פעולת מעגל הקירור. המדחס יונק את רוב הגז שנמצא מאותו שסתום ועד ליניקת המדחס וכך הגז ביניקת המדחס לא מתעבה בזמן שהמערכת מודממת אלא מתרכז בצורת נוזל בתחתית המעבה. בכך אנו מונעים מנוזל להגיע למדחס בזמן הפעלתו ולגרום ללוק הידראולי.

תהליך השאיבה גורם לירידת לחץ היניקה. כאשר לחץ היניקה יורד מתחת PSI 45 מודמם המדחס ע"י בקר הלחץ הנמוך. כאשר טמפ' המים עולה מעל לנקודת הכוון לאותו מעגל קירור, השסתום החשמלי מקבל מתח ופותח את קו הנוזל. הפתיחה גורמת להשוואת לחצים בין קו היניקה לדחיסה ועליית הלחץ מעל לנק' הכוון בבקר הלחץ (PSI 45) ותגרום להפעלת המדחס מחדש.



שרטוט 22 ; Pump Down

12.6.8 עינית בקורת

בכל מעגל קירור בקו הנוזל מותקנת עינית ביקורת תוצרת HENRY דגם MI-30-7/8 S. תפקיד עינית הביקורת לאפשר בדיקת מצב כמות הקרר במערכת כאשר נוכחות בועות בזרימה מצביעה על חוסר קרר או סתימה. תפקידה הנוסף של העינית הוא איתור רטיבות מים בנוזל הקרר באמצעות חומר המותקן בתוך העינית אשר משנה צבעו כאשר זורם דרכו נוזל המכיל מים: כחול – תקין, ורוד – לא תקין.

12.6.9 שסתום התפשטות

בכל מעגל קירור, בקו הנוזל, מותקן שסתום התפשטות תוצרת ALCO. תפקידו להוריד את לחץ ואת טמפר' נוזל הקרר לפני כניסתו למאייד, ולווסת את כמות הקרר במערכת. מאחר ומערכת הקירור עוברת מצבי שווי משקל רבים בגלל שינויים בעומס ושאר גורמים חיצוניים, ובגלל מבנה המדחס הבנוי לעבוד רק עם גז ולא עם נוזל, יש צורך בפעולת וויסות אשר תבטיח שליטה על כמות הקרר הזורם במערכת כדי להתאימו לדרישות העומס, וכדי למנוע חזרת נוזל למדחס אשר עלול לגרום לו נזקים.

פעולת וויסות זו מוטלת על שס' ההתפשטות. פעולת הוויסות נעשית עקרונית בעזרת שינוי גודל הנחיר בהתאם לדרישות הנ"ל. לשסתום ההתפשטות הטרימוסטטי מתקנים רגש המכיל חומר במצב נוזלי. הרגש מוצמד לצינור היציאה מנחשון הקירור, וחש בטמפר' של הקרר הזורם בצינור היניקה.

לפי הטמפר' הנ"ל מעביר הרגש פקודה לשסתום ההתפשטות לכוון פתיחה או סגירה של הנחיר במטרה להגיע לטמפר' שיחון מסוימת הניתנת לוויסות לפי הדרישה. מכאן נובע השם שסתום התפשטות טרימוסטטי, מכיוון שלמעשה יש לו פיקוד ע"י טמפר' ומטרתו שמירת טמפרטורה.

פעולה עקרונית של שס' התפשטות טרימוסטטי (שרטוט 12)

פעולת שס' התפשטות נקבעת עקרונית ע"י שלושה כוחות לחץ בסיסיים:

לחץ המופעל ע"י הרגש על הדיאפרגמה של השסתום בכוון פתיחת הנחיר – P_1

לחץ האידוי של הקרר הפועל בכוון מנוגד, בכוון סגירת הנחיר – P_2

לחץ המופעל ע"י קפיץ בכוון סגירת הנחיר – P_3

כאשר המערכת מאוזנת, נמצאים שלושת הכוחות הנובעים מהלחצים הנ"ל F_1, F_2, F_3 במצב של שיווי משקל כלומר כוח F_1 המופעל ע"י הרגש מאזן את שתי הכוחות $F_2 + F_3$ ואז נמצא הנחיר במצב מסוים בין פתוח לגמרי לסגור לגמרי. כמות החומר הנוזלי הנכנס למאייד הופך כולו לגז ובנקודה בה נמצא הרגש יש שיחון של 10 מעלות פרנהייט.

כאשר יורד העומס וחלק מהחומר הנוזלי לא הופך לגז בגלל ירידת העומס יוצא הקרר בטמפר' נמוכה יותר, הרגש חש בזאת, והחומר שבו מתכווץ מאחר וחלקו מתעבה. כתוצאה מכך קטן הלחץ P_1 על הדיאפרגמה של השסתום והנחיר נסגר מעט. פעולה זו גורמת להקטנת כמות הזרימה דרך הנחיר.

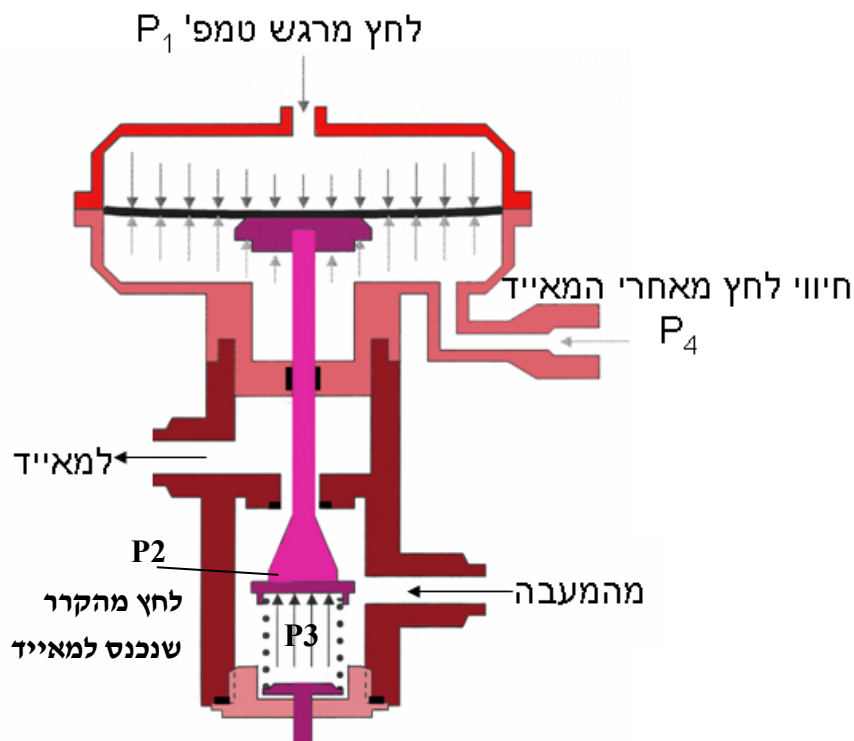
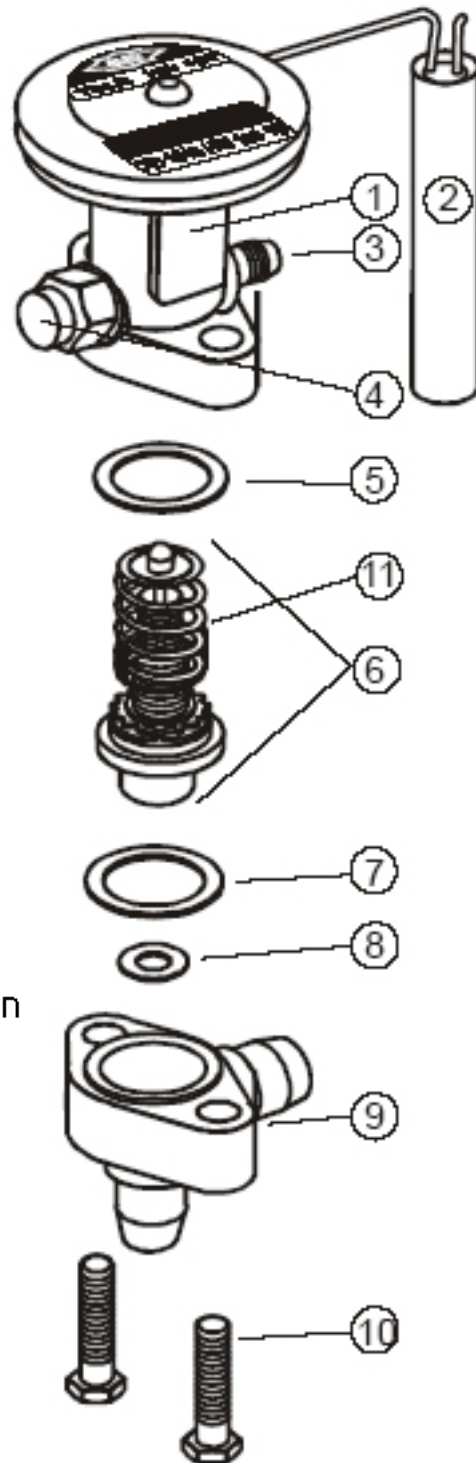
פעולה זו נמשכת עד למצב שיווי משקל חדש, וזה יקרה כאשר ירגיש הרגש שוב בטמפ' שיחון לפי הנדרש.

הפעולה ההפוכה קוראת כאשר העומס גדל. כמות החום המוגברת מאיידת את כל הנוזל במהירות והרגש חש בעליית טמפ', הנוזל שבו רותח ומתפשט והלחץ P_1 על הדיאפרגמה גדל וכתוצאה מהפרת שיווי משקל הכוחות נפתח הנחיר, כמות גדולה יותר מוזרמת למאייד עד להתאזנות בנק' שיווי המשקל החדשה.

ע"י פעולה זו של השסתום התרמוסטטי משיגים:

- הקטנת כמות הקרר באופן יחסי לדרישת העומס של הקירור.
 - הבטחת שיחון מתאים של הקרר לפני כניסתו למדחס, כלומר חזרת גז למדחס ולא נוזל.
- במערכת יש מפל לחץ ניכר בין מצב הקרר לאחר המעבר בנחיר השסתום ובין הלחץ בנקודה בה מותקן הרגש, מפל לחץ זה נובע מהחיכוך של הקרר בזרימתו בנחשון.
- אם פועל הלחץ בכניסה לנחשון על הדיאפרגמה של השסתום יתגבר הכוח הנובע מלחץ זה על הלחץ הנגדי הבא מהרגש והשסתום ייסגר. כתוצאה מכך יתקבל שיחון גבוה מידי. כדי למנוע זאת מותקן משווה לחץ חיצוני המאפשר העברת הלחץ מהנקודה בה מותקן הרגש ישירות לתוך שס' ההתפשטות.

1	לוחית זיהוי
2	אלמנט תרמי
3	חיבור לחיווי לחץ
4	פקק
5	אטם גוף
6	תושבת הקפיץ
7	אטם הפלאנג'י
8	אטם התושבת
9	פלאנג'י חיבור השסתום
10	ברגים
11	קפיץ



שרטוט 23; שסתום התפשטות

12.6.10 שסתום עוקף גז חם – שסתום הפשרה (HOT GAS BYPASS)

בכל מעגל קירור מותקן שסתום עוקף גז חם תוצרת PARKER דגם A9E – 7/8. השסתום הינו חשמלי ותפקידו הורדת תפוקת המדחס לאחר ביצוע שני מהלכי פריקת דרגות לשני ראשי המדחס ובכך ימנע את ירידת לחץ היניקה מתחת לגבולות המותר עקב ירידת העומס ואת הדממת המדחס. כמו כן אפשרות הפעלת המדחס בתפוקות נמוכות מאוד (כ- 20 אחוז מהתפוקה המכסימלית של המדחס) מונעת הפעלת והדממת המדחס לעיתים קרובות ושומרת על אורך חיי המדחס וטמפ' מים קבועה.

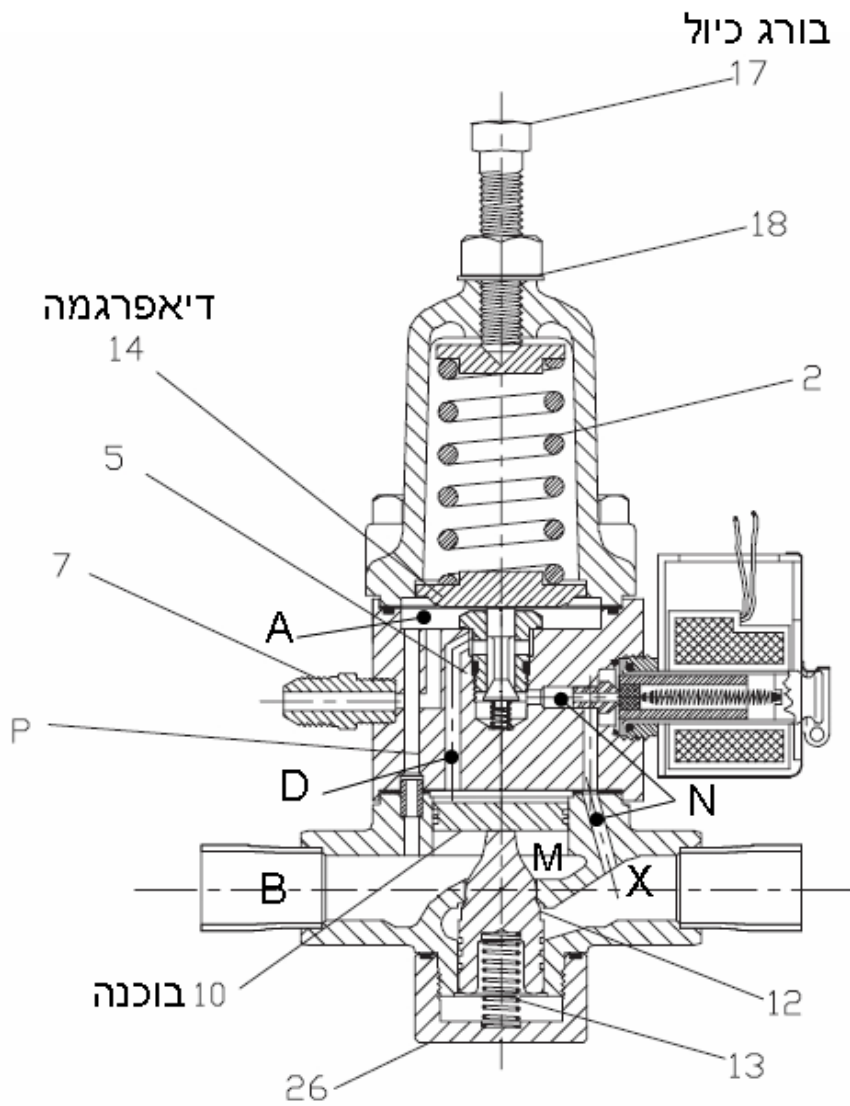
פעולת השסתום יוצרת מעקף של גז חם מקו הדחיסה אל צד הכניסה למאייד ובכך מעלה את לחץ היניקה ומונעת את ירידת טמפ' המים מתחת ל- 5 מעלות אשר מסוכנת למאייד בגלל תופעת האנומליה (תופעת התפשטות המים ב- 4 מעלות צלזיוס).

צינורית מהשסתום המחוברת לקו היניקה ביציאה מהמאייד מעבירה את לחץ היניקה אשר מפקד על פתיחת וסגירת השסתום. תפקיד נוסף של השסתום הוא לסגור את מעבר הגז החם בזמן תהליך PUMP-DOWN לבל ייוצר מעקף דרכו יזרום הגז כאשר השסתום החשמלי בקו הנוזל סגור.

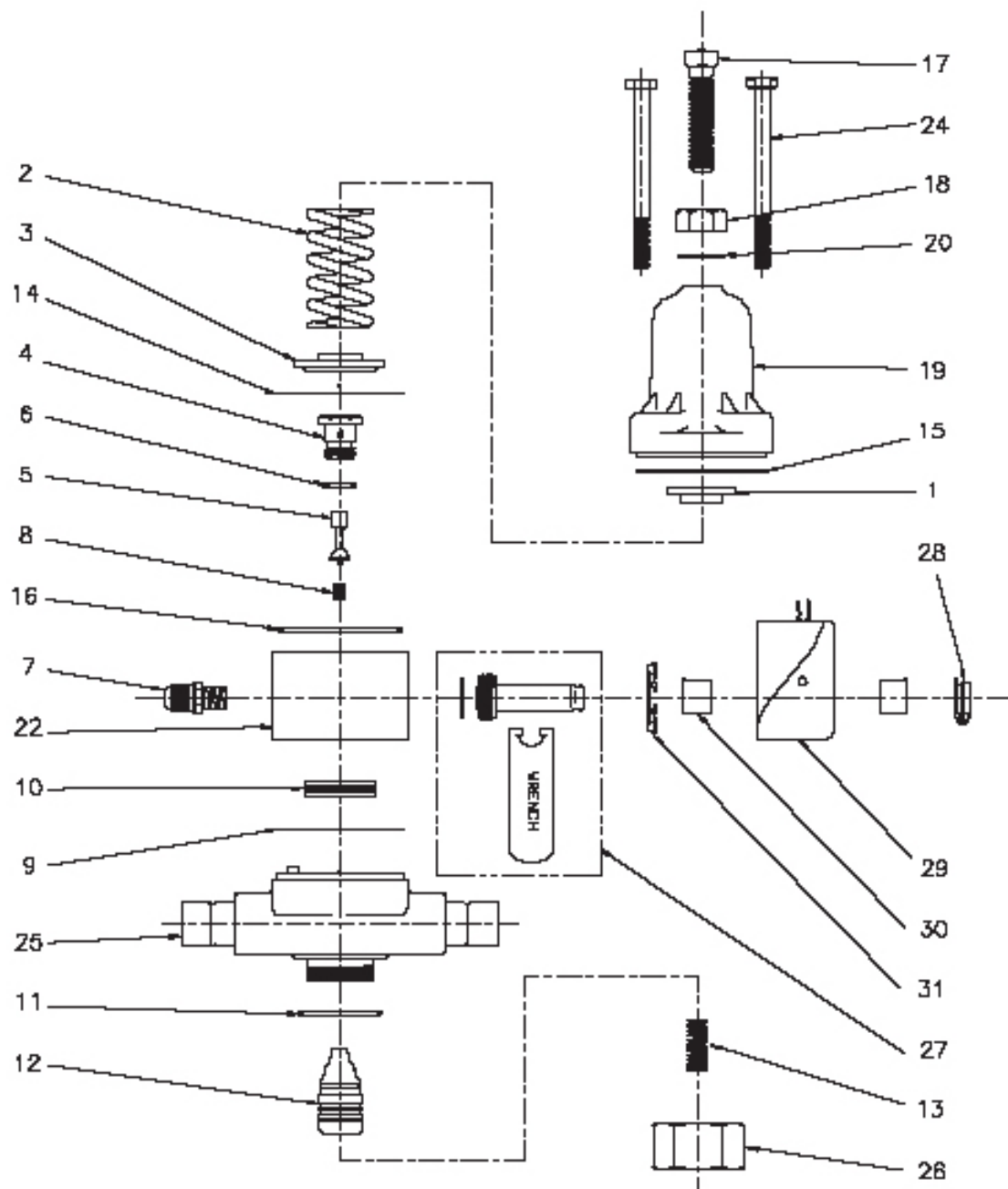
עקרון פעולה (שרטוט 13)

לחץ פיקוד מגיע מקו החיווי (7) המחובר ליציאה מהמאייד (ראה שרטוט 2 חלק 11) נכנס לחלל A מתחת לדיאפרגמה (14). כאשר לחץ זה נמוך מלחץ שאליו מכויל הקפיץ (2) הקפיץ דוחף את אלמנט האטימה (5) מתושבתו (4). לחץ המגיע ישירות מהמדחס לחלל X עובר דרך מעבר N לחלל D הממוקם מעב בוכנה (10). הבדל הלחצים בין החללים D ו- M גורם לבוכנה (10) לרדת למטה כנגד קפיץ (13), כך נפתח מעבר בין חלל X המקושר למדחס לחלל B שמוביל את הגז ישירות למאייד. כאשר לחץ הפיקוד (7) מחלל A יעלה, הדיאפרגמה (14) תעלה כנגד קפיץ (2). חלק (5) יעלה למעלה ויאטום כנגד התושבת (4). מעבר הלחץ לחלל D יפסק, קפיץ (13) ידחוף את בוכנה (10) למעלה והמעבר בין חלל X ל חלל B ייסגר.

על שסתום ההפשרה בספינה מותקן סולנואיד (29) שמצבו ON, כלומר במצב שיגרה הוא מקבל מתח. כאשר שסתום ה Pump down מפעולה הסולנואיד המותקן על השסתום מפסיק לקבל מתח וסוגר את המעבר בין חלל X לחלל N, כך לא מתאפשרת פעולת השסתום. ניתן לכייל את קפיץ (2) באמצעות בורג (17). יש לכוון את שסתום עוקף גז חם לפתיחה בלחץ של 60 PSI.



תמונה 24-שרטוט (א24); שסתום הפשרה



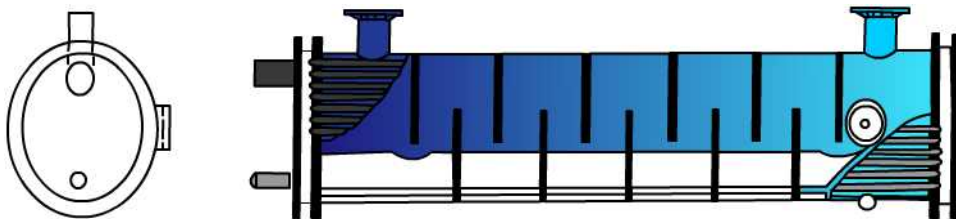
שרטוט 25; חלקי שסתום הפשרה

12.6.11 המאייד

לשני המעגלים מותקן מאייד משותף מחולק פנימית לשני מעגלים נפרדים. המאייד תוצרת DUNHAM BUSH דגם CHD01408.

תפקידו לגרוע חום מהמים ולמסרו לנוזל הקירור. המים מוזרמים במעטפת והקרר בתוך הצנרת. מאייד העובד בשיטה זו נקרא מאייד יבש. זרימת המים מכוונת בעזרת מחיצות פנימיות בתוך המעטפת, כך שהדרך שעוברים המים מתארכת ומהירות המים קטנה להעברת חום טובה יותר.

צינורות המים מחוברים לדפנות על ידי ערגול. במידה ונוצרת נזילה באחד הצינורות ניתן לאטום את הצינור בפקקים משני צידיו ולהמשיך ולהשתמש במאייד מאחר ובתכנונו וביצורו נלקחו מספר צינורות עודפים.



שרטוט 26 ; מאייד

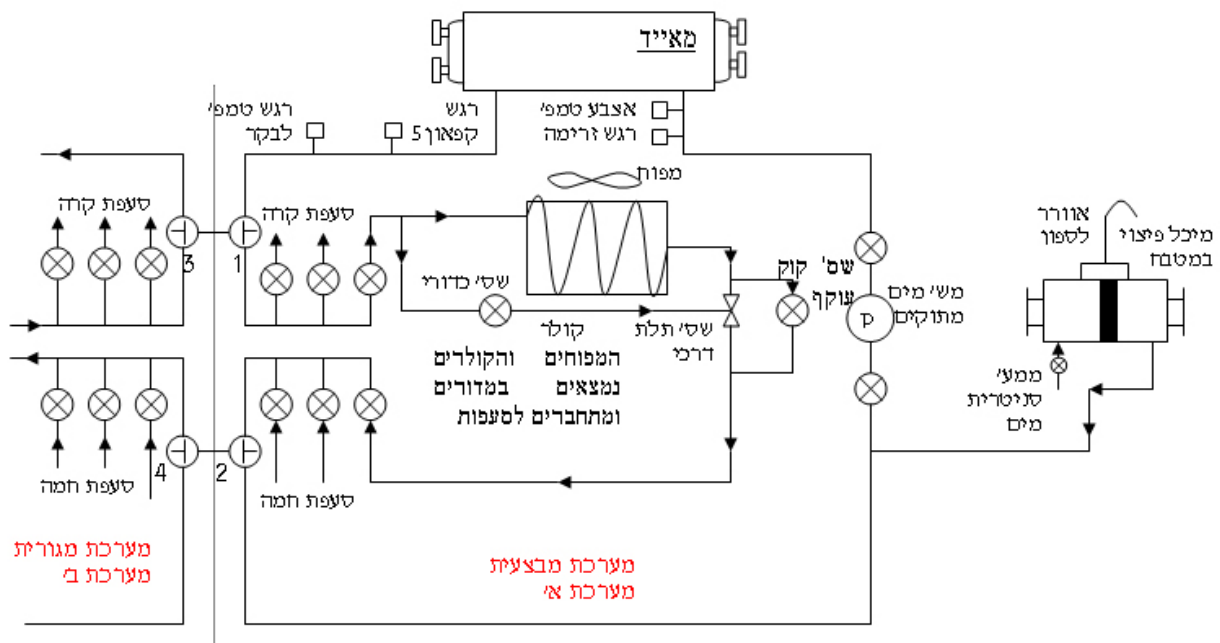
12.7 מערכת מים מתוקים

סחרור המים הקרים מתבצע ע"י משאבת מים מתוקים שמזרימה מים אל המאייד ומשם המים מגיעים אל סעפת אספקת מים קרים (סעפת קרה) דרך שסתום תלת מצבי. סעפת המים הקרים מפצלת את המים ליחידות טיפול אוויר במדורים השונים. לאחר החלפת החום עם האוויר במדורים חוזרים המים בטמפי גבוהה יותר אל סעפת חזרה (סעפת חמה) דרך שסתום תלת מצבי ומשם אל יניקת המשאבה לתחילת מחזור קירור מים נוסף. ארבעת השסתומים התלת מצביים המותקנים במערכת מאפשרים סנכרון או הפרדת המערכות בשלושה מצבים:

- מערכות מופרדות – כל מערכת ראשית מספקת מים לצרכנים שונים.
- מערכת מגורית ומדממת ומערכת מבצעית עובדת ומספקת מים לכל היחידות בספינה.
- מערכת מבצעית ומדממת ומערכת מגורית עובדת ומספקת מים לכל היחידות בספינה.

השסתום התלת מצבי נראה בתמונה הבאה:

מערכת המים המתוקים מקבלת מים מתוקים ממערכת סניטרית דרך מיכל פיצוי הנמצא במטבח הספינה. המיכל מחולק לשניים. חלק אחד למערכת המבצעית והשני למגורית.



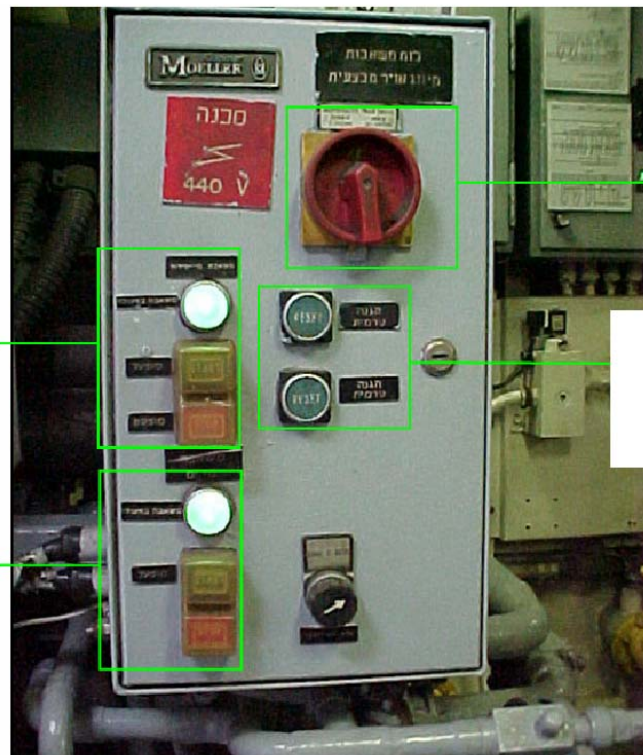
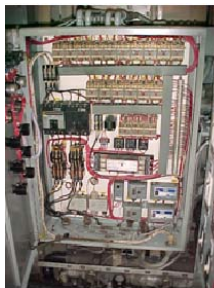
שרטוט 27; סכמת מערכת מים מתוקים

12.7.1 משאבת מים מתוקים ומי-ים

מתח	440V\60Hz
סל"ד	3500
זרם נומינלי	5A
לחץ מים מתוקים	3 אט'
לחץ מי ים	1.5 אט'

הפעלת המשאבות נעשית מלוח הפעלת משאבות שנמצא בסמוך ליחידה הראשית כאשר ישנם שני אופני הפעלה :

- הפעלה ידנית – המשאבות עובדות באופן קבוע ללא תלות בפעולת המדחסים.
- הפעלה אוטומטית – המשאבות מופעלות אוטומטית ע"י בקרת המערכת הראשית.



מפסק ראשי

לחצני איפוס
להגנת זרם יתר
משאבות

לחצני הפעלה
משאבה 1

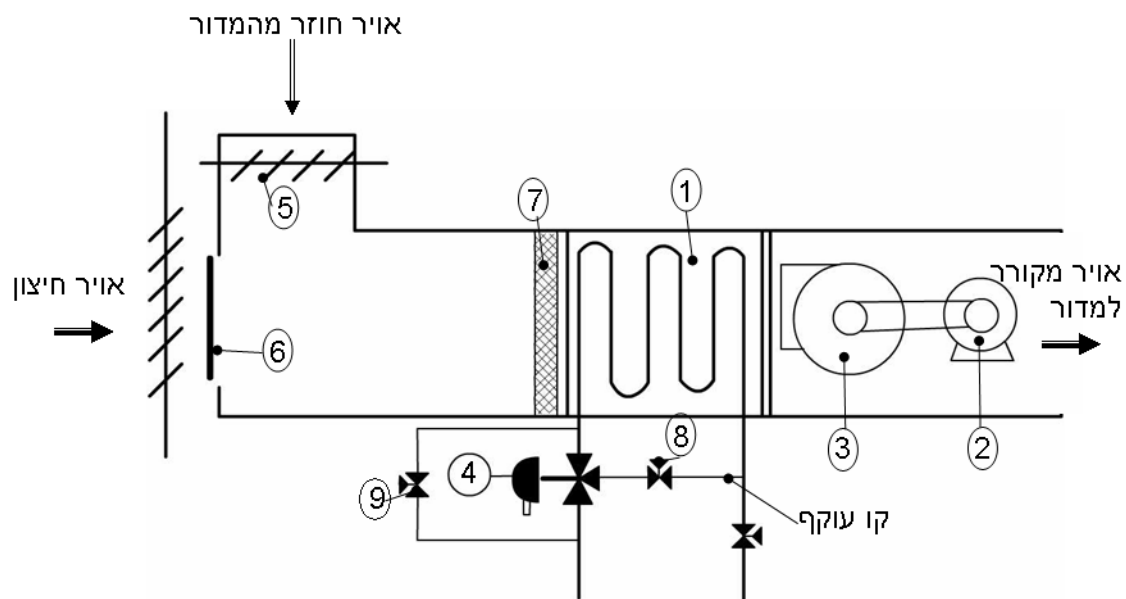
לחצני הפעלה
משאבה 2



תמונה 28; לוח משאבות

12.8 שסתום ויסות

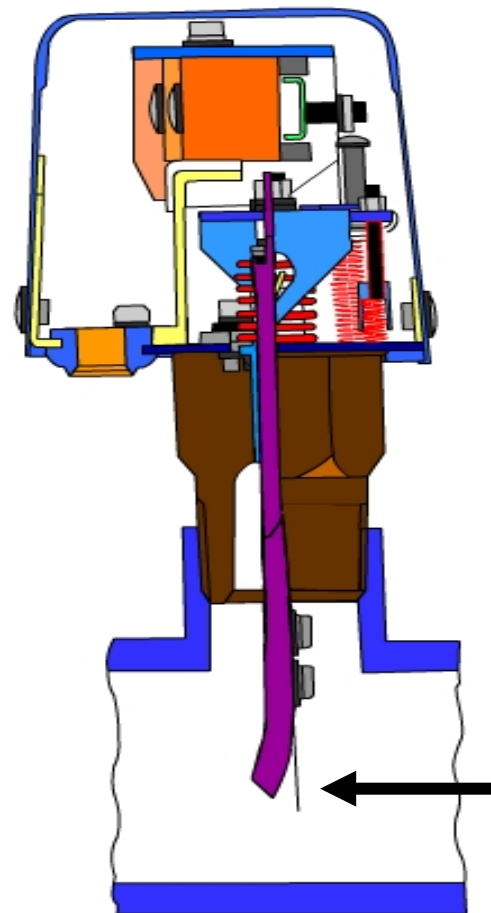
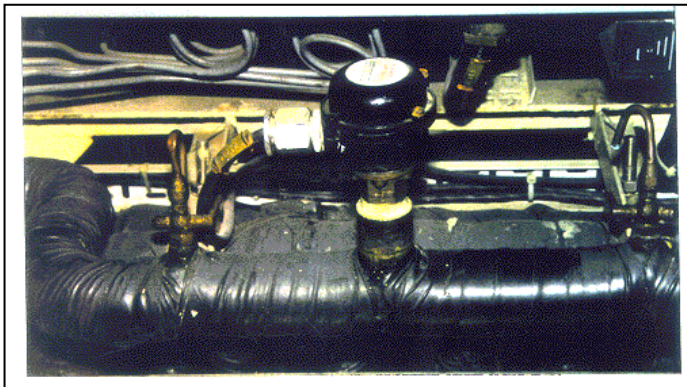
שסתום הויסות (4) מורכב על קו יציאת המים הקרים מהנחשון ומפקח על כמות המים היוצאת ממנו. את השסתום מפעילה ממבראנה המקבלת לחצי אוויר מ-0 עד 1.1 אט"ה הפועלים כנגד קפיץ. לחצי הפיקוד מתקבלים כתלות בטמפ' המדור על ידי מערכת ה-BMI. ככל שהטמפרטורה במדור עולה השסתום מקבל לחץ יותר גדול, כתוצאה מכך פחות מים עוברים בקו עוקף ויותר מים עוברים דרך הנחשון. כאשר הטמפרטורה במדור יורדת, יותר מים עוברים דרך הקו העוקף ופחות דרך הנחשון. במקרה של תקלה בשסתום הויסות ניתן לסגור את הברז הכדורי הנמצא על הקו העוקף (8) ולפתוח את השסתום (9) העוקף את שסתום הויסות. במצב זה כל כמות המים הקרים תעבור דרך הנחשון ותתקבל תפוקה מכסימלית אפשרית.



שרטוט 29; BMI

12.9 מפסק זרימה

בקו אספקת מים מתוקים ביציאה מהמאייד מותקן מפסק זרימה. תפקיד מפסק הזרימה לספק אינדיקציה לזרימת מים קרים במערכת. במידה וזרימת המים נמוכה (כתוצאה מקפיאה, תקלת משאבה, חוסר מים וכו') מנותק מגע חשמלי ולאחר מספר שניות ינותק המדחס ותידלק נורת אינדיקציה לחוסר זרימת מים. המכלול בנוי ממפסק חשמלי המחובר ללוחית המוחדרת לתוך הצנרת וגורמת ניתוק / חיבור המגע על ידי זרימת הנוזל בצינור. בהתקנה ניתן לחבר "עלים" בגדלים שונים וע"י כך משתנה שטח פנים וכתוצאה מכך הלחץ שגורם לניתוק.



שרטוט 2: תמונה 2א; מפסק זרימה

12.10 מערכת טיפול אוויר מדורים

12.10.1 כללי

הקירור במדורים מתבצע על ידי יחידות טיפול באוויר הבנויות ממפוח המסחרר אוויר במדור דרך נחשון (מחליף חום) שמקבל מים קרים מהיחידה המרכזית. המים הקרים קולטים את החום מאוויר המדור וחוזרים ליחידה המרכזית למחזור נוסף. האוויר זורם מהמפוח דרך תעלות ל"פאנים" (FAN) שבמדורים.

12.10.2 יחידת הטיפול באוויר (שרטוט 18):

יחידת הטיפול באוויר בנויה מנחשון, מפוח ומערכת בקרת קירור. אוויר נשאב מהמדור על ידי המפוח (3) דרך מסנן אוויר (7) ונחשון הקירור (1). האוויר מקורר תוך כדי מעברו דרך הנחשון וחוזר למדור בטמפרטורה נמוכה יותר ומתחיל מחזור קירור אוויר חדש. במדורים מאוישים נינק למדור אוויר צח חיצוני שנועד לרענן ולחדש את האוויר המסוחרר. מים קרים שמסופקים על ידי היחידה הראשית מוזרמים דרך הנחשון וחוזרים ליחידה לתחילת מחזור קירור מים חדש. זרימת המים דרך הנחשון מבוקרת על ידי שסתום ויסות.

12.10.3 יחידת סחרור אוויר

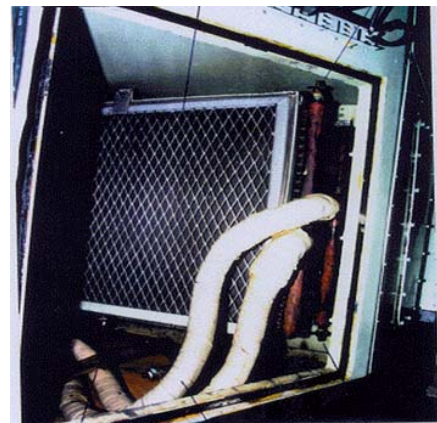
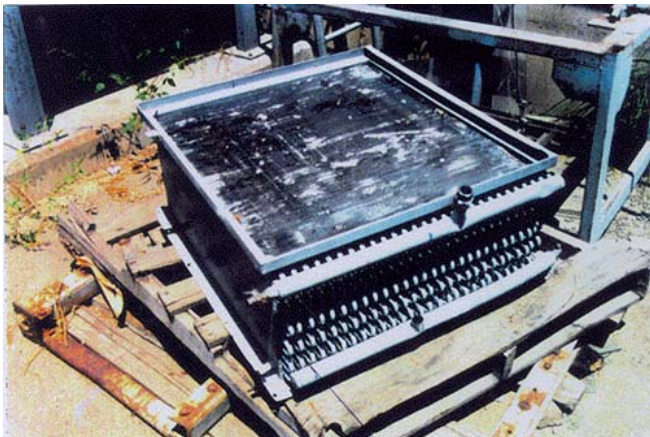
יחידת סחרור האוויר מורכבת ממפוח צנטריפוגלי המונע לרוב על ידי רצועה (לא בכולם יש רצועה) ומנוע חשמלי. בחלק מהמדורים ניתן להפעיל את המנוע בשתי מהירויות ועל ידי כך לקבוע ספיקות אוויר משתנות. המנוע החשמלי מותקן על בסיס שניתן לכוונו לצורך מתיחה נכונה של רצועת ההנעה.



שרטוט 31; מפוח

12.10.4 נחשון

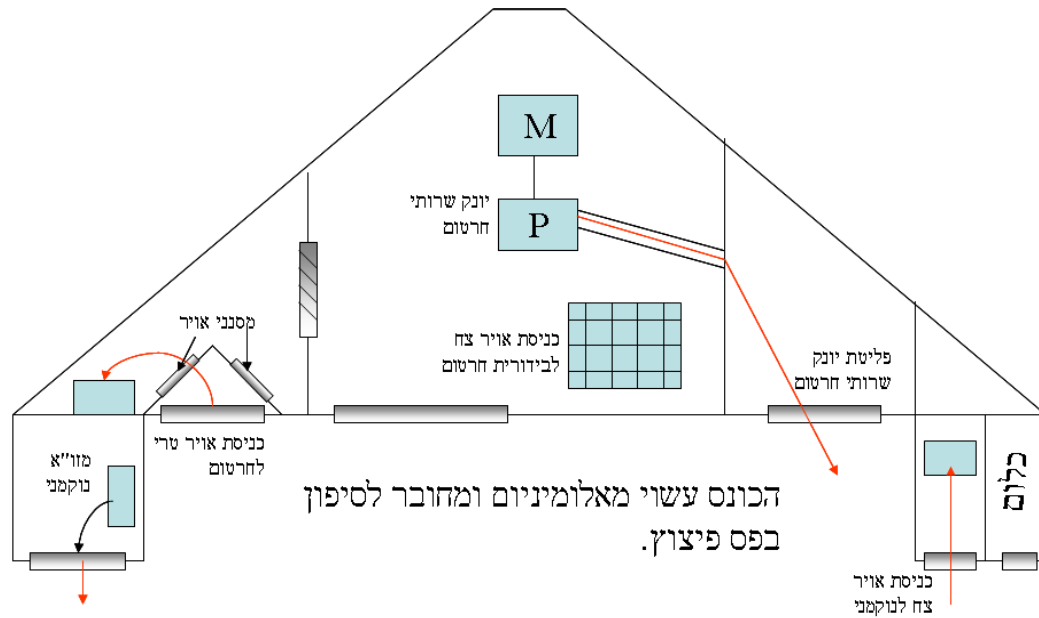
תפקיד הנחשון להעביר חום מהאוויר הזורם על פניו אל המים הקרים הזורמים בתוך הצינורות. הנחשון בנוי מצינורות נחושת במהלך מפותל (בצורת נחשון) שבתוכם זורמים המים הקרים. אל הצינורות מחוברות צלעות אלומיניום שתפקידם להגדיל את שטח מעבר החום בין האוויר הזורם בין הצלעות לבין המים הקרים הזורמים בתוך הצינורות. על צנרת הכניסה והיציאה של המים מותקנים ברזי ניקוז שתפקידם לאפשר ניקוז אוויר הכלוא בצנרת המים של הנחשון הפוגעים בסחרור המים וחילוף החום. הנחשון מורכב על בסיס שבתחתיתו פתח לניקוז מים שמתעבים על פניו כחלק מתהליך הקירור והורדת הלחות של האוויר. הנחשון מותקן בצמוד ליחידת סחרור האוויר כאשר בצד כניסת האוויר מותקן מסנן אוויר שנועד למנוע כניסת לכלוך אל בין הצלעות וסתימת מעברים.



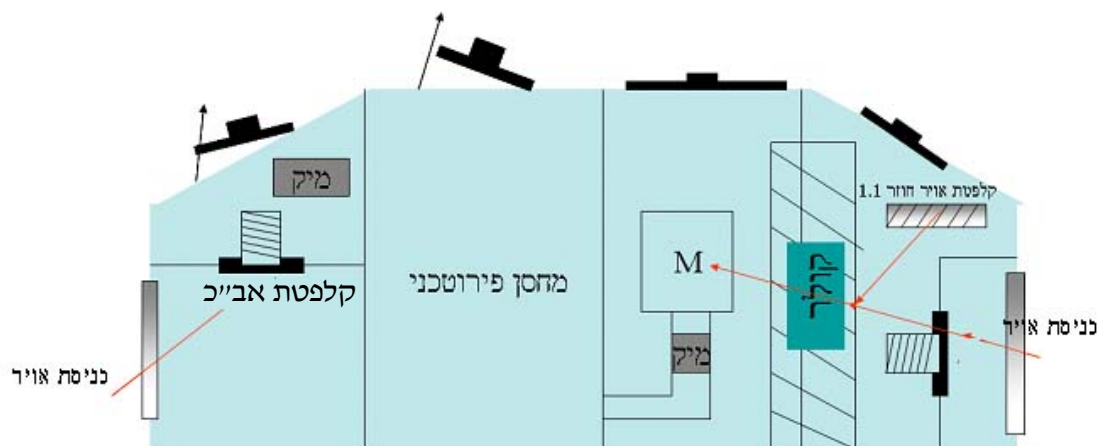
תמונה 21: נחשון

12.10.5 יחידות מיזוג בסיפון:

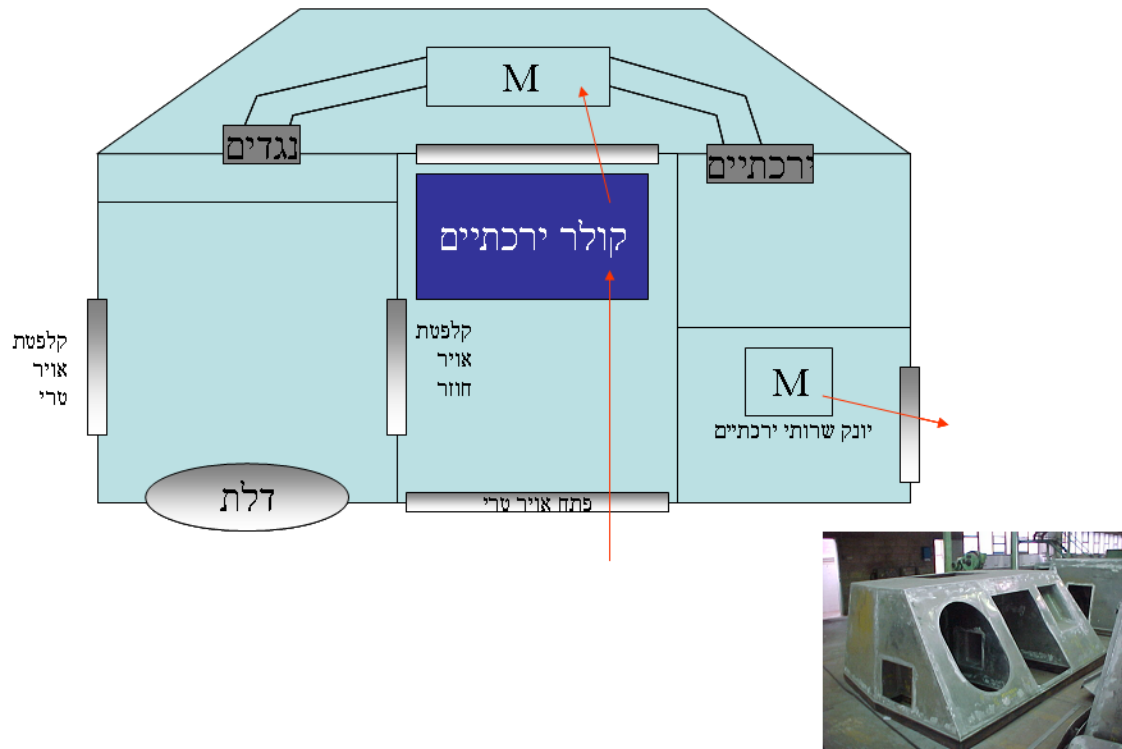
יחידות הקירור של המדורים נמצאות בסמוך למדור והאוויר זורם אל המדור בתעלות. בסעיף זה נסקור מספר מבנים מיוחדים בסיפון המאחסנים בתוכם את יחידות הקירור.



שרטוט 33 ; שובר גלים חרטום



שרטוט 34 ; פירוטכני

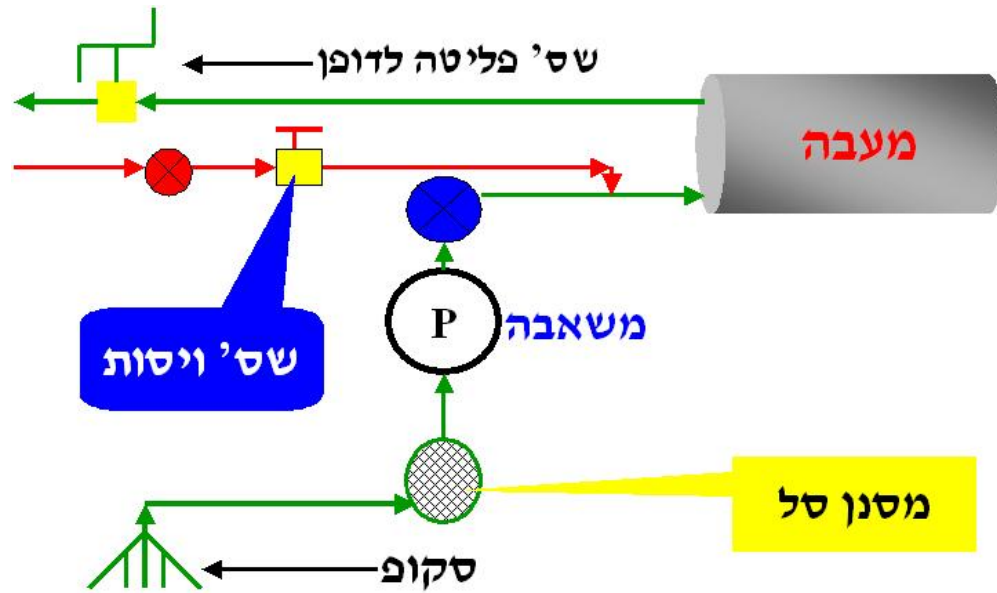


כונס ירכתיים לפני חיבורו לספינה

שרטוט 35; כונס ירכתיים

מערכת מי ים

מי הים נכנסים דרך הסקופ, דרך שסתום שער למסנן סל ומשם למשאבה המזרימה את המים בלחץ של 1.5 אט' למעבים לצורך קירור הקרר ומשם לדופן דרך שסתום פליטה מסוג אל-חוזר מתכוון. משאבת מי הים זהה לחלוטין למשאבת המים המתוקים. סקופ מי הים משותף למערכות מיזוי"א ולגנרנטורים בקדמי.



שרטוט 36 ; מערכת מי ים

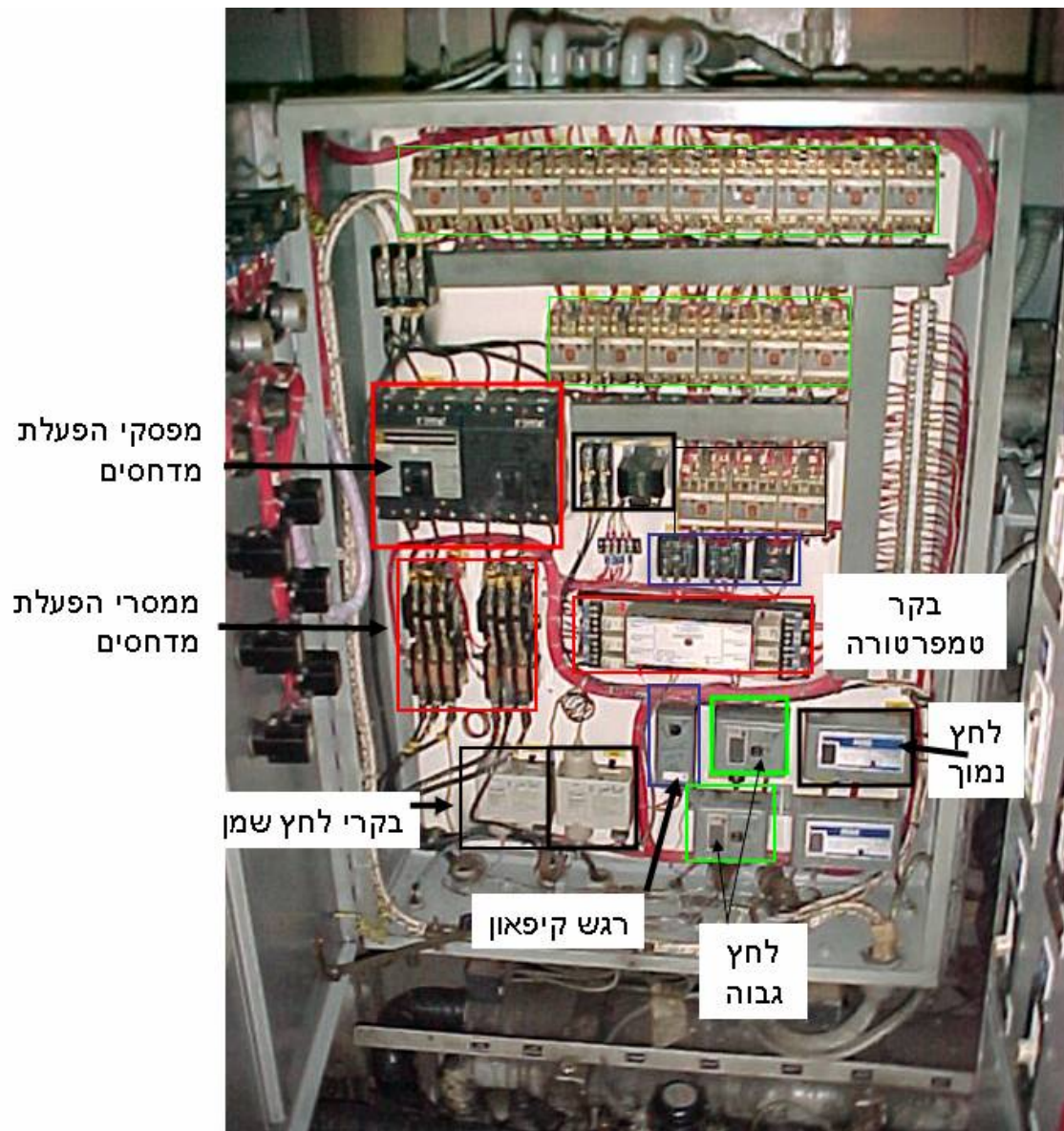
12.11 מכלולי בקרה בלוח פיקוד ראשי

בלוח הפיקוד הראשי מותקנים מכלולי הפיקוד הבאים :

- בקר לחץ נמוך
- בקר לחץ גבוה
- בקר לחץ שמן
- בקר טמפ' נמוכה (מגן קפיאה)
- בקר טמפ' מים קרים



תמונה 36; לוח ראשי



תמונה 38; לוח ראשי פתוח

12.11.1 בקר לחץ נמוך

לכל מדחס מותקן בקר לחץ נמוך. תפקידו להדמים את המדחס כאשר הלחץ ביניקה יורד מתחת לנקודת הכוון בתהליך ה-PUMP DOWN או במצב תקלה של חוסר גז או סתימה במסנן מייבש. הבקר מהווה חלק בביקוד ובנוסף מגן על המדחס מעבודה במצב של חוסר גז. עם עליית הלחץ בקו היניקה לאחר פתיחת השסתום החשמלי, בקר הלחץ מכניס לפעולה את המדחס כאשר הלחץ עולה על נקודת הכוון. הבקר מכוון להדממה בלחץ PSI 40 והפעלה מחדש בלחץ PSI 60.

12.11.2 בקר לחץ גבוה

לכל מדחס מותקן בקר לחץ גבוה. תפקידו הוא אבטחה מפני עליית לחץ הדחיסה מעבר למותר (300 PSI) כאשר מעבר ללחץ זה קיימת סכנה בפעולת המערכת למרכיביה השונים. החזרת המערכת לפעולה אפשרית רק לאחר ירידת הלחץ ולחיצה על כפתור ה-reset שעל הבקר.

12.11.3 בקר לחץ שמן

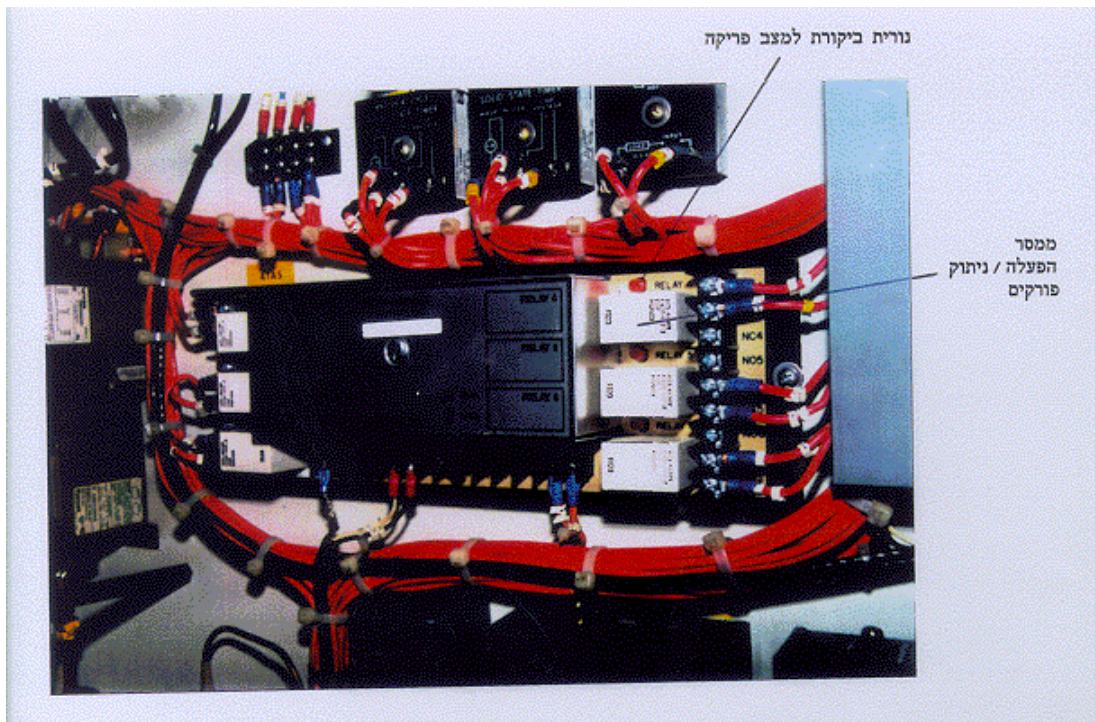
תפקידו להבטיח לחץ הפרשי מינימאלי בין לחץ השמן הנבנה במשאבת השמן לבין לחץ היניקה. לחץ הפרשי זה מבטיח המצאות שמן באגן השמן במדחס, פעולת משאבת השמן, העברת השמן למרכיבי המדחס וכן שאין תערובת של קרר ושמן באגן השמן. הבקר מכוון להדממה בלחץ הפרשי של בין 12 עד PSI 22 וזמן השהייה של 120 שניות. כאשר הלחץ ההפרשי יורד מתחת לערך המכוון תהיה השהייה של 120 שניות לפני הדממת המדחס. הפעלה מחדש דורשת לחיצה על לחצן reset הנמצא על גבי הבקר. ההשהיה מאפשרת למדחס לבנות לחץ שמן במצב של התנעה ראשונית של המערכת.

12.11.4 בקר טמפרטורה נמוכה

תפקידו למנוע מצב של קפיאת המים המתוקים במערכת בכלל ובמאייד בפרט, דבר שיגרם ל"סתימה" במערכת מים מתוקים והפסקת פעולת הסחרור וכן לעוות מכאני במאייד עקב הגדלת נפח המים עם קפיאתם (אנומליה). הבקר ידמים את המערכת עם ירידת הטמפרטורה במאייד קרוב לנקודת הקיפאון. רגש הבקר ממוקם בתוך השרוול במאייד הנמצא בחלל זרימת המים. הבקר מכוון להדממת המערכת בטמפרטורה של 4 מעלות צלזיוס. הפעלת המערכת מחדש אפשרית לאחר עליית טמפרטורת המים ולחיצה על לחצן reset בפאנל.

12.11.5 בקר טמפרטורה למים קרים

הבקר המתוכננת מבקר את טמפרטורת המים המדויקת היוצאת מהמאייד. עם הגעת המים לטמפרטורה המדויקת, הבקר המותקן על גבי פליטת המים מהמאייד יחוש בכך ויתאים את תפוקת הקירור לנדרש על ידי שליטה על פורקי הדרגות של המדחסים. הפורקים מופעלים על ידי סולנואידים המורכבים על ראשי המדחסים ונשלטים על ידי הבקר בהתאם לדרישת הקירור של המערכת. ניתן לראות מה דרישת הקירור לפי מנורות המותקנות ע"ג הבקר. כל מנורה מייצגת דרגת מדחס. טווח פעולה 8-12 צלזיוס



תמונה 39; בקר טמפרטורה