

6 מערכת דלק

6.1 מבוא

במערכת דלק בספינות נירית יש 11 מיכלים, כאשר מיכל 3A יכול לשמש כמיכל דלק או מיכל נטל. ישנם שני סוגי מיכלים - מיכלים יומיים ומיכלי שקיעה. המיכלים היומיים (1, 2, 8, 9) מזינים את המנועים והגנרטורים. יתר המיכלים הם מיכלי שקיעה שנועדו לאחסן את הדלק. הטבלה הבאה מסכמת את סוגי המיכלים ואת הקיבולת שלהם (ממלאים רק עד 95%) :

מיכל	סוג	קיבולת בליטרים 95%	קיבולת בליטרים 100%
1	יומי	14,421	15,180
2	יומי	14,421	15,180
3A	שקיעה/נטל	10,260	10,800
4	שקיעה	5,547	5,839
5	שקיעה	5,547	5,839
6	שקיעה	10,640	11,200
7	שקיעה	12,634	13,299
8	יומי	4,778	5,029
9	יומי	5,538	5,830
10	שקיעה	25,267	26,597
11	שקיעה	20,776	21,870
סה"כ		129,829	136,663

העברת דלק בין המיכלים, תדלוק הספינה, פריקת דלק מהספינה, ותדלוק ספינה אחרת מתבצעים דרך סעפת הדלק שאליה מתחברים צינורות מכל המיכלים ומפקקי תדלוק בסיפון. הסעפת נמצאת בחדר מכונות קדמי (חדמ"ק), ויש לה שתי משאבות להעברת דלק, ומסננים בדרגות סינון שונות. בנוסף יש מערכת חשמלית של מצופים, לוח הפעלה ובקרה בחדמ"ק ושסתומי דיאפרגמה שדואגת למלא את המיכלים היומיים באופן אוטומטי מאחד ממכלי השקיעה. ללוח ההפעלה יש חילוף אספקות ידני מלוח חשמל קדמי או אחורי, הוא מאפשר להפעיל את המשאבות במצב ידני או אוטומטי, ונותן חיוויים על מצב מילוי המיכלים ושסתומי הדיאפרגמה. לכל מיכל יומי יש צנרת שמחברת אותו ישירות למנוע ולגנרטור שהוא מזין בנוסף לצנרת שמתחברת לסעפת הדלק. חלוקת ההזנה בין המנועים והמיכלים היא כדלקמן :

מיכל	מנוע וגנרטור
9	1
1	2
2	3
8	4

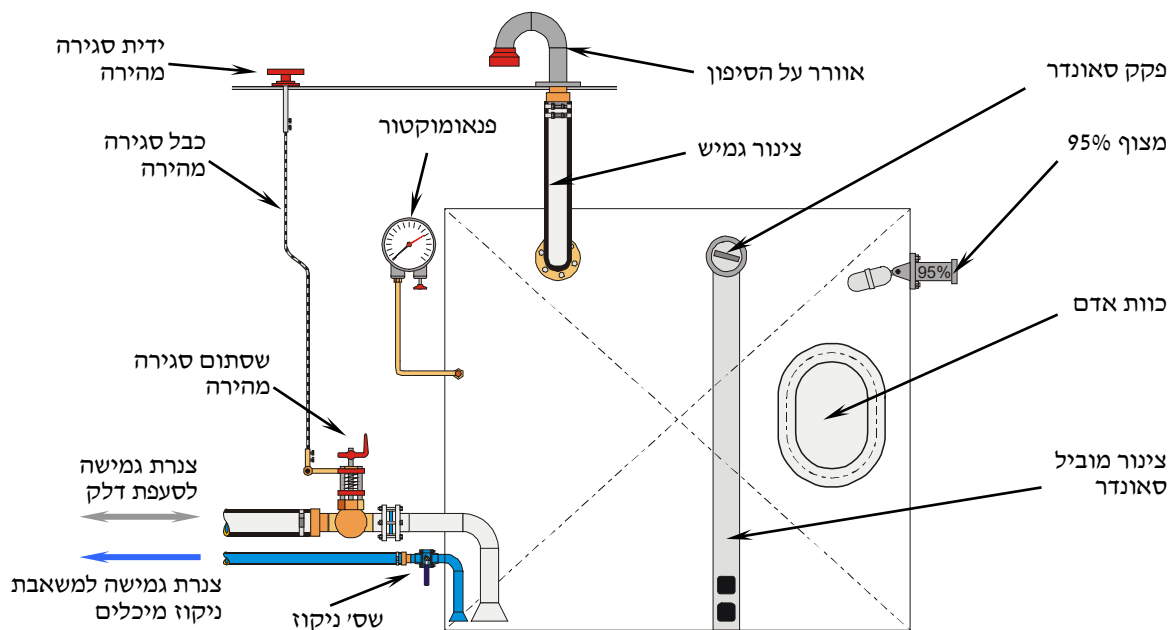
במקרה של תקלה ניתן לבצע נוהל "דלק חירום" שבו המנוע עם מערכת הדלק הלא תקינה מקבל דלק מהמיכל היומי של המנוע השני באותו חדר מכונה. לגנרטורים יש מיכלי דלק חירום מיוחדים. הוראות הפעלה מלאות ונתוני עבודה של המערכת נמצאים באוגדן מכונה לספינות נירית פקודה 4.09. שרטוטים של המערכת המלאה נמצאים באטלס שרטוטי מערכות סטי"ל (מק"ט ח"י 18-18-19959-1), ושרטוט מספנות ישראל 2135.01.

6.2 סקירת מערכת

6.2.1 מיכלי שקיעה

מיכלי השקיעה ממוקמים בתחתית הספינה. כפי ששמש מרמז, אחסון לאורך זמן של הדלק במיכל שקיעה גורם לכלוך והמים שבדלק לשקוע לתחתית המיכל. לפני העברת דלק למיכל יומי מנקזים את הכלוך ממיכל השקיעה. תדלוק הספינה תמיד מתבצע למיכלי השקיעה – אף פעם לא מתדלקים את המיכלים היומיים ישירות. כל המיכלים פתוחים לאטמוספירה דרך אווררים. לכן כל הזמן מצטברים מי עיבוי במיכלים שנובעים מהפרשי הטמפרטורה בין יום ולילה. המים שוקעים לתחתית המיכל, ובגבול שבין המים והדלק גדלות בקטריות שחיות במים אבל ניזונות מהסולר. הבקטריות יוצרות בוצה שמרחפת קרוב לתחתית המיכל, ובוצה זו סותמת במהירות את מסנני הדלק במנועים והגנרטורים.

לכל המיכלים יש מכלולים דומים, כפי שמתואר בשרטוט 1. בתוך המיכל יש צינור יניקה קשיח שמגיע לתחתית המיכל ומסתיים שם בקונוס עם רשת גסה. מחוץ למיכל צינור היניקה מתחבר לשסתום סגירה מהירה שאחריו צינור גמיש שמתחבר לסעפת הדלק. מילוי וריקון המיכל מתבצע דרך הצינור הגמיש. שסתום הסגירה המהירה נועד לאטום את מיכל הדלק בעת שריפה. בזמן שריפה הצנרת הגמישה שמחוברת למיכל עלולה להישרף ואז הדלק במיכל יכול לזרום החוצה בכוח הכבידה ולהזין את השריפה. השסתום מחובר בכבל לידית על הסיפון, ומשיכת הידית סוגרת את השסתום. לשסתומי סגירה מהירה של מיכלים 6, 7 יש כבל משותף שמחובר לידית אחת על הסיפון. שימו לב שבמקרים שבהם יש קטע צנרת בין המיכל ושסתום הסגירה המהירה, זו צנרת קשיחה שלא נשרפת כמו צינור גמיש. כמו כן כל שסתומי הסגירה המהירה נמצאים בחדרי מכונות. לכן צינור היניקה של מיכל 11 עובר דרך מיכלים 3A ו-10 עד שהוא מגיע לחדמ"ק. באופן דומה, צינור היניקה של מיכל 3A מגיע לחדמ"ק דרך מיכל 10.



שרטוט 2; מיכל שקיעה טיפּוסי

לכל מיכל יש לפחות אוורר אחד, ולמיכלים הרחבים (11, 3A, 10) יש אוורר בכל דופן. האווררים נמצאים על הסיפון ומחוברים למיכלים עם צינורות גמישים. תפקיד האוורר לאפשר כניסה ויציאה של אוויר בעת מילוי וריקון המיכל.

בנוסף, לכל מיכל יש צינור לניקוז לכלוך ומים מהתחתית שלו. צינורות הניקוז מכל המיכלים שבחדר מכונה מסוים מתחברים ליניקה של משאבת כנף ידנית באותו חדר (סה"כ 2 משאבות ניקוזים – אחת בחדמ"ק והשניה בחדמ"א). בעזרת המשאבה ניתן לשאוב דלק מתחתית מיכל ולקחת דגימה כדי לבדוק את ניקיונו. אם הדלק מזוהם, אז ניתן לשאוב אותו למיכל שמן מלוכלך בחדמ"א. בחיבור צינור הניקוז למיכל יש שסתום קוק קטן. חשוב מאוד שסתום זה יהיה סגור כל הזמן למעט בזמן ניקוז לכלוך מהמיכל. ראשית, על קו ניקוז אין שסתום סגירה מהירה, ולכן ברגע שצינור הניקוז הגמיש נשרף והשסתום פתוח אז יש לשריפה מקור דלק נוסף. שנית, אם יש יותר מניקוז אחד פתוח בו-זמנית אז דלק יכול לעבור (אומנם לאט) בין מיכלים שונים עקב חוק כלים שלובים. הדבר גורם לדוחות נוזלים שגויים ולמילוי יתר של המיכלים הנמוכים על חשבון המיכלים הגבוהים.

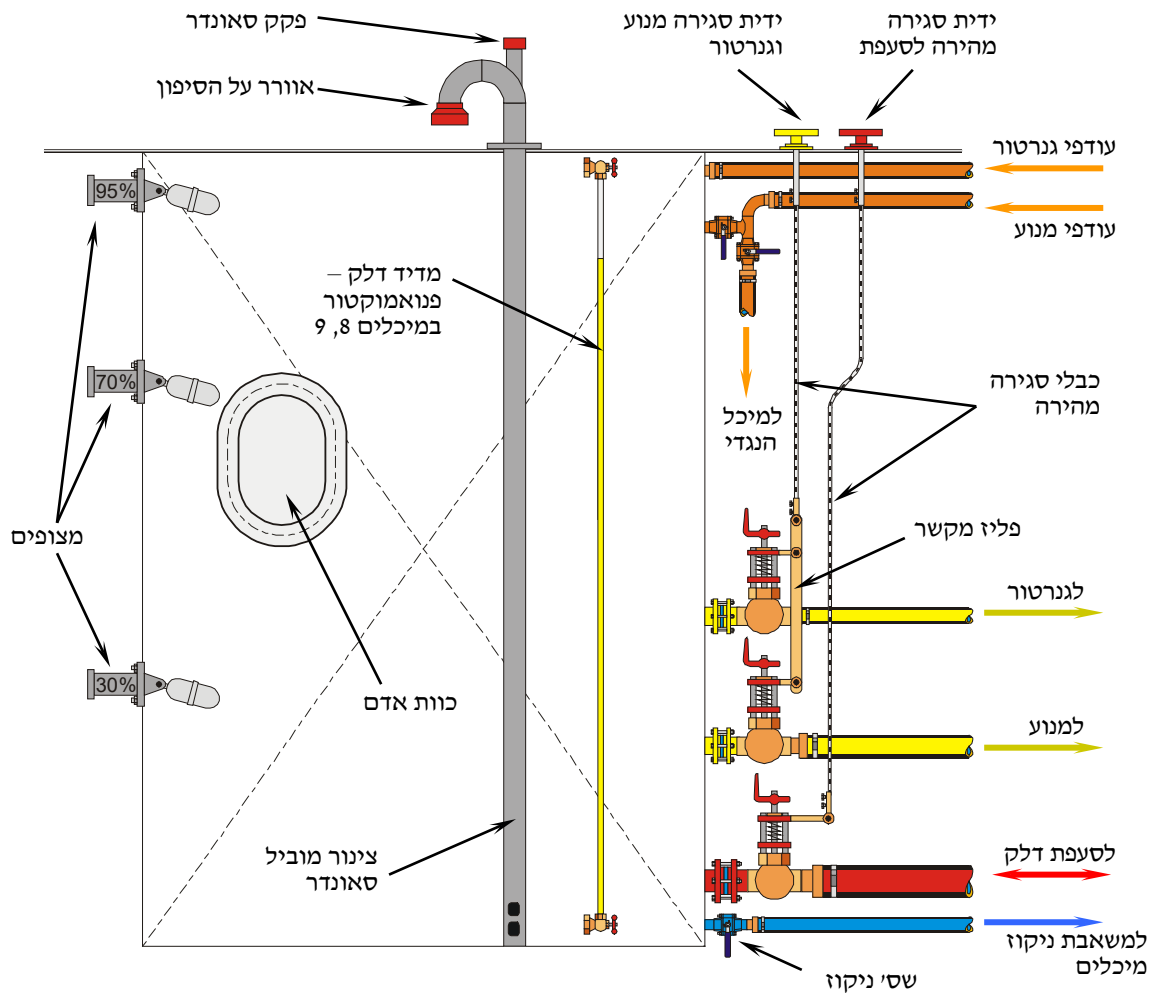
למיכל שקיעה יש שלושה אמצעים למדידת כמות הדלק במיכל. הפשוט והמדויק ביותר הוא פקק לטבילת סרט המדידה של סאונדר. בתוך המיכל יש צינור קשיח שפתוח בתחתית שלו שנועד להוביל את סרט הסאונדר אל הנקודה הנמוכה במיכל. כמות הדלק מחושבת לפי גובה הדלק על הסרט באמצעות טבלה שמיוחדת לכל מיכל (טבלאות סאונדר נמצאות באוגדן מכונה). בנוסף, על כל מיכל שקיעה מותקן מצוף בגובה 95% מהדלק שמדליק נורית על לוח הבקרה של מערכת דלק. אמצעי המדידה האחרון הוא הפנואמוקטור. בשלב זה נסתפק ונאמר שזה אמצעי מדידה לא מדויק ולא אמין. עקרון הפעולה שלו יפורט בהמשך.

לכל מיכל יש כוות אדם שמאפשרת גישה לפנים המיכל לטובת ניקיון ותיקונים. לפני כניסת אדם למיכל יש לאוורר את המיכל ולבצע בדיקה לרמת חמצן מספקת, ראה הוראות מצ"ד כ-093, לא-006. אם רוצים לבצע ריתוכים/חיתוכים במיכל או בקרבתו, צריך לנקות אותו משאריות הסולר ולבצע בדיקה לגזים נפצים, הוראת מצ"ד לא-006. לאחר גמר הטיפול צריך לסגור את המיכל ולבצע טסט לחץ הידרוסטטי או פנאומטי לפי הוראות מצ"ד מ-002, ב-054.

6.2.2 מיכלים יומיים

כפי שצוין במבוא, כל מיכל יומי מזין סט של מנוע וגנרטור. לכן, בנוסף לכל המכלולים שפורטו עבור מיכלי השקיעה בסעיף הקודם, למיכלים היומיים יש מכלולים שמאפשרים הזנת המנוע והגנרטור וחזרת דלק עודפים. כמו כן, יש מצופים נוספים שמשרתים את מערכת המילוי האוטומטית של המיכלים היומיים. בספינות סער 4 המיכלים היומיים הגיעו עד לגובה הסיפון, אך בספינות נירית מיכלים 8, 9 נחתכו בגובה המדרסים ע"מ לפנות מקום למערכת שעון מעורר במדור מכשירים אחורי (שימו לב שתקרת מיכלים 8, 9 יותר גבוהה מהתקרה של מיכל 10 שנמצא באמצע המדור). לכן קיימים הבדלים קטנים בין המיכלים הקדמיים (8, 9) והמיכלים האחוריים (1, 2) שהם בגובה מלא עד הסיפון.

שרטוט 2 מתאר מיכל יומי טיפוסי אחורי (1 או 2).



שרטוט 3; מיכל דלק יומי טיפסי אחורי 2-3

המכלולים המשותפים למיכלי השקיעה והמיכלים היומיים הנם:

- צינור יניקה + סגירה מהירה + צנרת גמישה לסעפת דלק לטובת העברת דלק מהמיכל וממנו
- צינור + שסתום ניקוז
- כוות אדם
- אוורר – במיכלים 1,2 האוורר יוצא ישירות מתקרת המיכל שהיא בעצם הסיפון, ובמיכלים 8,9 האווררים מחוברים לסיפון בצינור גמיש בדומה למיכלי השקיעה
- פקק סאונדר עם גישה מהסיפון ולא מתוך הספינה – במיכלים 1,2 הפקק נמצא על צינור האוורר, ואילו במיכלים 8,9 יש צינור קשיח שמוביל מהפקק על הסיפון אל המיכל

המנוע מוזן דרך קו יניקה שדומה לקו שמתחבר לסעפת הדלק, דהיינו צינור יניקה קשיח שמגיע קרוב לתחתית המיכל, שסתום סגירה מהירה, וצנרת גמישה שמובילה למנוע, רק עם צנרת בקוטר קטן יותר. קו הזנת הגנרטור דומה, עם צנרת בקוטר קטן עוד יותר. שסתומי הסגירה מהירה של המנוע והגנרטור מחוברים בפס פליז משותף שמחובר לכבל שמוביל לידית יחידה על הסיפון. סה"כ למיכל שתי ידיות סגירה מהירה – אחת סוגרת את השסתום על הצינור שמתחבר לסעפת הדלק, והידית השניה סוגרת את השסתומים לצנרת שמזינה את המנוע והגנרטור. ראה אוגדן בקני"ז להוראות הפעלה לסגירות מהירות במקרה שריפה.

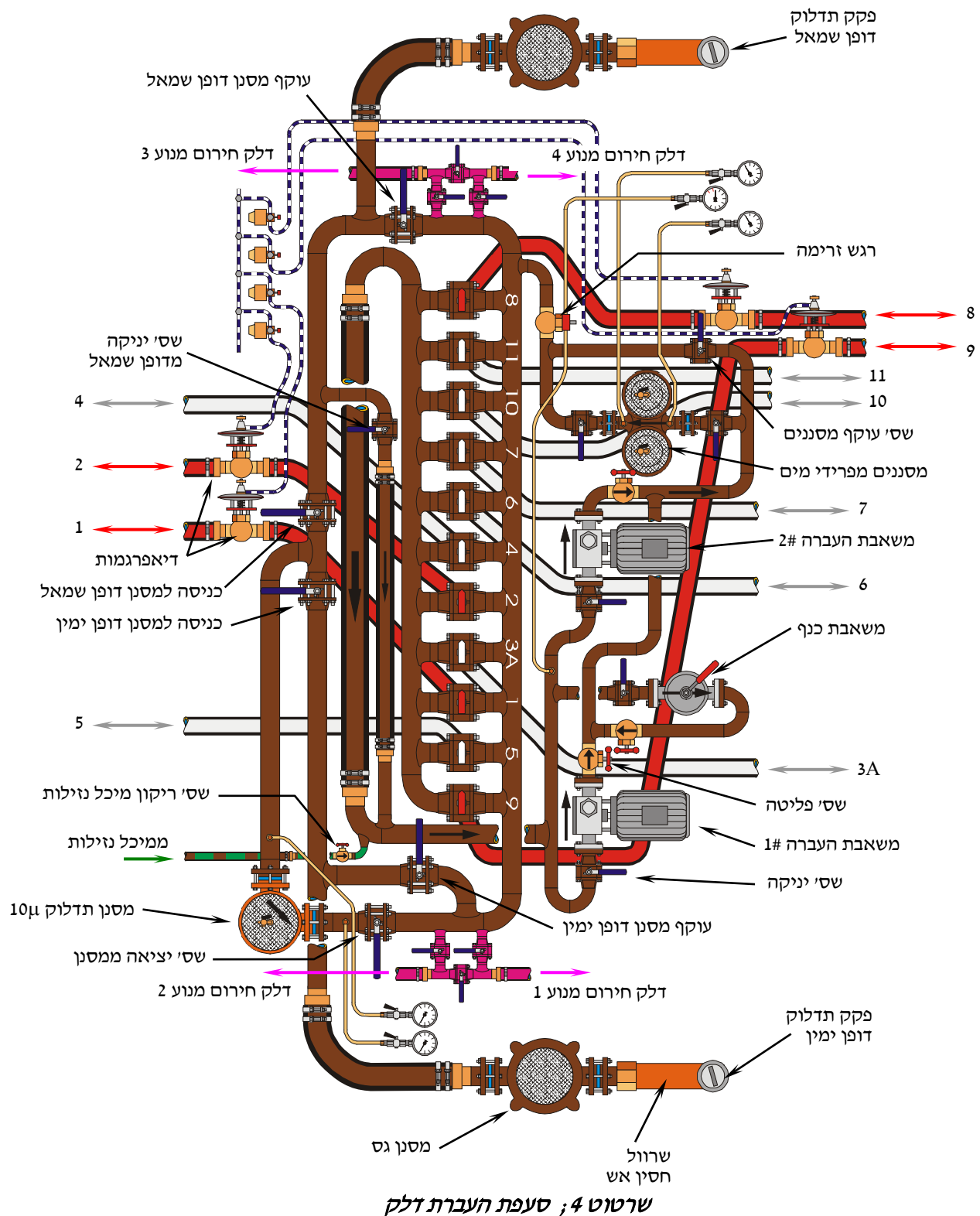
עודפי הדלק של המנוע והגנרטור חוזרים לחלקו העליון של המיכל בצנרת גמישה. מכיוון שהצינורות הגמישים מתחברים לחלק העליון של המיכל, אז אין סכנה של הצפת המדור בדלק

במקרה שריפה, ולכן לא מותקנים שסתומי סגירה מהירה על צינורות אלו. לצינור העודפים של המנוע מחוברים שני שסתומי קוק בצמוד למיכל. שסתומים אלו משמשים לניתוב עודפי הדלק למיכל הנגדי (9 / 8, 1 / 2) במצב דלק חירום (יותר פרטים בהמשך).

למיכלים מצופי התראה בגובה דלק של 95%, 70%, ו- 30%. תפקידם יפורט בהמשך, בסעיף על מערכת דלק אוטומטית. אמצעי מדידה נוסף שהוא ייחודי למיכלים 1, 2 הוא מדיד הגובה. זהו צינור אנכי מפלסטיק שקוף שרץ לגובה כל המיכל שבקצהו העליון והתחתון יש שסתומים שמקשרים אותו למיכל הדלק. כשהשסתומים פתוחים אז גובה הדלק בצינור הוא כגובה הדלק במיכל, כתוצאה מחוק כלים שלובים. במקביל לצינור יש שנתות פליז שמכילות לנפח הדלק במיכל בהתאם לגובה הדלק. זהו אמצעי המדידה המדויק והפשוט ביותר של כמות הדלק במיכל. לשסתומים שבקצה צינור המדיד יש גם בורג פריימינג לניקוז דלק מהשסתום התחתון או הוצאת בועות מהשסתום העליון. כך ניתן לבדוק אם הגובה במדיד משקף את הגובה האמיתי במיכל: סוגרים את השסתום התחתון ומנקזים את הצינור דרך בורג הפריימינג התחתון. לאחר מכן סוגרים את הבורג ופותחים את השסתום התחתון כאשר מוודאים שהשסתום העליון פתוח (ניתן גם לפתוח את בורג הפריימינג העליון בשלב זה). בספינות סער 4 גם למיכלים 8, 9 יש מדיד גובה דלק, אך עקב הנמכת תקרת המיכלים בספינות נירית, המדידים בוטלו ובמקומם הותקנו פנאומוקטורים. בחלק מהנריות הותקנו במיכלים 8, 9 גם מדי גובה דלק אלקטרוניים שמשתלשלים לתוך המיכלים מכוות האדם בתקרה.

6.2.3 סעפת העברת דלק

לשם פשוטות, תחילה נתמקד במרכיבי הסעפת הדרושים להעברת דלק בין המיכלים בספינה, ולאחר מכן נסקור את המכלולים שמאפשרים העברת דלק לספינה וממנה, דלק חירום למנועים ועוד. המבנה הבסיסי של מערכת העברת דלק בין המיכלים מורכב ממשאבות עם קו יניקה משותף וקו פליטה משותף. המשאבות מחוברות לסעפת שסתומים שמאפשרת את ניתוב הדלק ממכל למיכל, ראה שרטוט 3. במרכז סעפת העברת דלק עומדת שורה של 11 שסתומים שמובילים למיכלים. אלו הם שסתומי קוק בצורת L. כל שסתום מתחבר לאחד המיכלים דרך צינור גמיש שיוצא מתחתית השסתום. בספינות בהן מיכל 3A משמש כמיכל נטל מותקן אטם עיוור (blind flange) בין השסתום לצינור שמוביל למיכל. צדו הקדמי של השסתום מחובר לקו הפליטה של משאבות דלק העברה, ומהצד האחורי יש חיבור לקו היניקה של המשאבות. בצידו העליון של השסתום חץ שמורה על מצבו: הצידה – סגור, קדימה – מילוי מפליטת המשאבות, אחורה – ריקון לקו היניקה המשאבות. ברמה העקרונית, העברה ממכל למיכל מבוצעת ע"י כיוון שסתום הסעפת של המיכל שנשאב לכיוון ירכתיים, כיוון שסתום הסעפת של המיכל אליו רוצים להעביר את הדלק לכיוון חרטום, והפעלת משאבה. על הקווים בין הסעפת למיכלים היומיים יש שסתומי דיאפרגמה שממששים את מערכת הדלק האוטומטית.



למערכת שתי משאבות העברה חשמליות ומשאבת כנף ידנית, כולן מחוברות במקביל עם קו יניקה וקו פליטה משותפים. המשאבות החשמליות הן מסוג ג"ש, עם ספיקה של 5.4 ממ"ק/שעה בלחץ עבודה נומינלי של 1.5 אטמ', ושסתום בטחון ב- 3 אטמ'. בכניסה לכל משאבה יש שסתום קוק ובפליטה יש שסתום אל-חוזר מתכוון. שסתום האל-חוזר נועד למנוע זרימה הפוכה דרך משאבה מודממת בזמן שמשאבה אחרת פועלת.

לאחר המשאבות מותקנים זוג מסננים מפרידי מים. תפקיד המסננים לנקות לכלוך מהדלק בדרגות סינון של 5 ואז 2 מיקרון, ובנוסף לסנן מים בדלק. המים מצטברים בתחתית המסננים, שם יש פקקי ניקוז. ישנם שסתומי קוק בכניסה וביציאה מהמסננים, וכן קו עוקף עם שסתום קוק משלו. כך ניתן לעקוף את המסננים, ואף לטפל בהם בזמן העברת דלק דרך הקו העוקף. הספיקה של כל מסנן היא 3 ממ"ק/שעה, ומכיוון שיש שניים במקביל אז ניתן לסנן בספיקה מקסימלית של 6 ממ"ק/שעה. לכן ניתן להפעיל רק משאבה אחת בזמן העברת דלק דרך המסננים. אם רוצים להעביר דלק בספיקה גבוהה עם שתי המשאבות, אז צריך לוותר על הסינון ולפתוח את הקו העוקף. ביציאה מהמסננים, בדיוק לפני החיבור לצד הקדמי (מילוי) של סעפת הדלק מותקן רגש זרימה. הרגש מתריע כאשר הספיקה בקו יורדת מתחת ל- 1 ממ"ק/שעה, ובכך נותן אינדיקציה לחוסר שאיבה כתוצאה ממיכל ריק, חוסר פריימינג, מסננים סתומים, טעות בכיוון השסתומים או כל תקלה אחרת. בנוסף מותקנים שעוני לחץ ביניקה המשותפת של המשאבות, ובפליטה לפני ואחרי מפרידי המים. אם הפרש הלחץ על מפרידי המים גדול מ- 1.5 אטמ' (כאשר רק משאבה אחת מופעלת) אז צריך להחליפם.

בנוסף להעברה בין מיכלים, המערכת מאפשרת להכניס דלק לספינה בלחץ ממקור חיצוני דרך פקקים בסיפון, מדופן ימין או שמאל. בכל דופן יש צינור גמיש שיורד מהפקק בסיפון למסנן סל גס ומשם לסעפת הדלק. הצינור שיורד מהסיפון בכל דופן הוא אחד מנקודת התורפה הבטיחותיות החמורות ביותר בספניות סער 4.5/4, וגרם לשריפות דלק רבות (לפחות פעם בשנה שנתיים). הסיבה היא שהצינורות עוברים בסמוך לדוד הפליטה של גנרטורים 4, 1, וכל נזילת דלק מהמחברים בקצה הצינור הגמיש ישר מגיעה לסעפת הפליטה של הגנרטור. אמנם יש נוהל בטיחות בזמן תדלוק שדורש להדמים את הגנרטור בדופן התדלוק כשעה לפני הביצוע, אך לא תמיד הנוהל מבוצע, או שיש טעות הפעלה שגורמת ללחץ דלק להגיע לדופן הנגדית בה פועל גנרטור. ישנם גם מצבים שבהם נוזל דלק על דוד של הגנרטור שהודמם ונספג בבידודים, ורק מחכה לבעור ברגע שהגנרטור יופעל. בנוסף לנוהל הדממת הגנרטור הצינור הגמיש מכוסה בשכבת בידוד חסין אש. בקיצור, זהו תכנון לקוי של המערכת עם נהלים ואלתורים שנועדו לפצות על כך, ולכן נדרשות מירב תשומת הלב והזהירות בזמן תדלוק.

הצינור שמגיע לסעפת הדלק מכל דופן מתפצל לשניים. צד אחד של הפיצול מגיע לשסתום כניסה למסנן תדלוק 10 מיקרון, והצד השני מגיע לשסתום שעוקף את המסנן ומתחבר ישירות לצד הקדמי של סעפת הדלק (למילוי – מתחבר במקביל לפליטת המשאבות). כלומר, יש סה"כ שני שסתומי כניסה למסנן (אחד מכל דופן) ושני שסתומים עוקפים. מסנן התדלוק נועד לסנן את הדלק שמכניסים לספינה, והוא יכול לעבוד בספיקה מקסימלית של 40 ממ"ק/שעה. למסנן שעוני לחץ בכניסה וביציאה. הפרש לחצים מעל 1.5 אטמ' דורש החלפת מסנן. ביציאה מהמסנן יש שסתום ומשם התחברות לצד הקדמי של סעפת הדלק.

בצינור שמגיע מדופן שמאל יש התפצלות נוספת עם שסתום שמוביל לצד היניקה של המשאבות. פתיחת השסתום מאפשרת לינוק דלק לתוך הספינה ממקור חיצוני בכוח המשאבות שבספינה, אך

ללא אפשרות סינון במסנן 10 מיקרון. כמו כן, לצד היניקה של המשאבות מגיע צינור קטן ממיכל דלק נזילות בחדמ"א (לא רלוונטי בספינות 396). לצינור יש שסתום אל-חוזר מתכוונן בחיבור לסעפת הדלק.

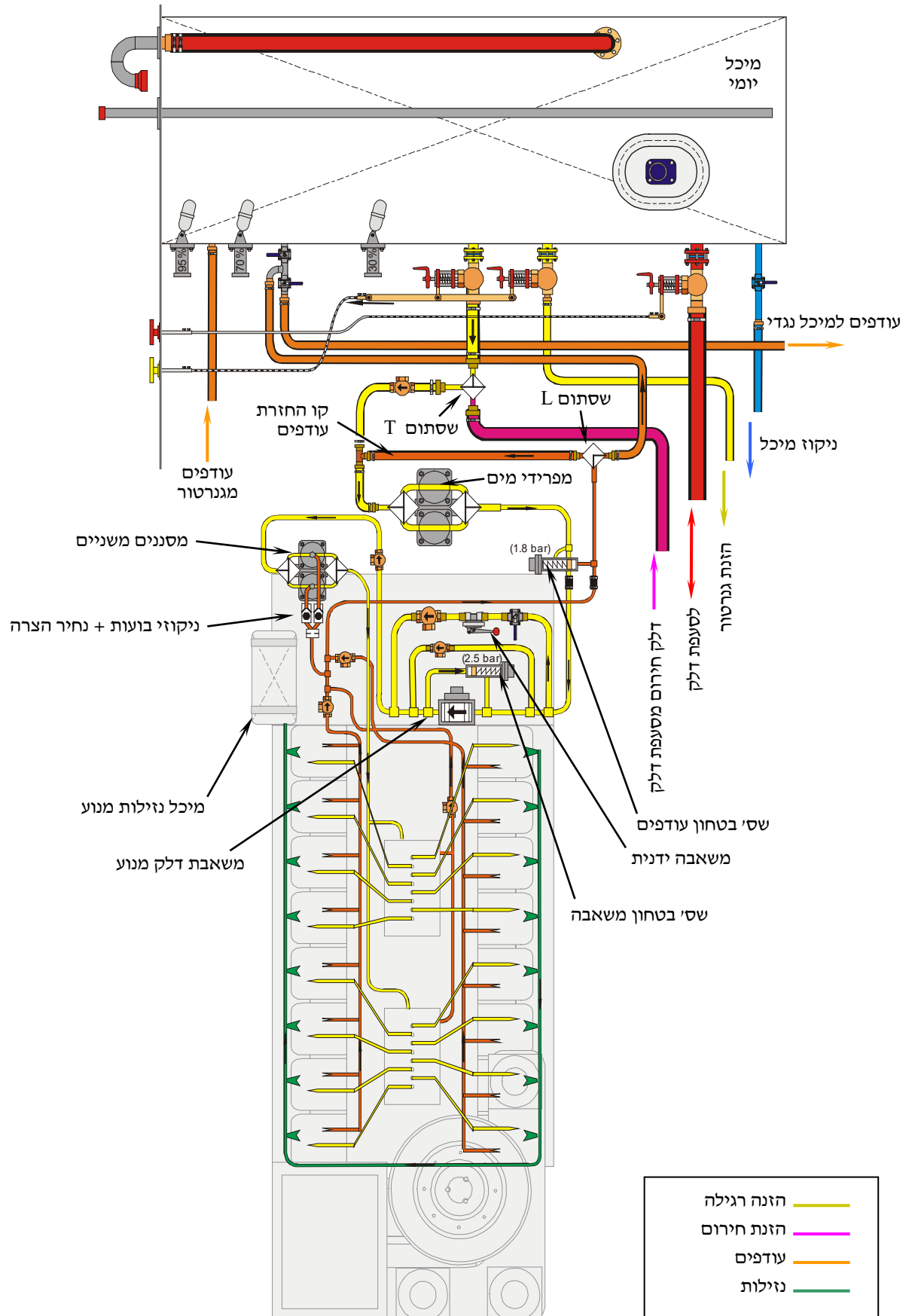
מהצד של פליטת המשאבות יש יציאות מהסעפת לשסתומי דלק חירום למנועים. בעקרון, כשמבצעים דלק חירום, ניתן להזין את המנוע מכל אחד מהמיכלים בספינה, אך הנוהל קובע שיש להזין את המנוע מהמיכל היומי הנגדי באותו חדר מכונות ע"מ להבטיח שהמנוע יונק מאותו מיכל שאליו הוא מחזיר את עודפי הדלק. כמו כן, ניתן לבצע דלק חירום עם לחץ ממשאבות דלק העברה, או שהמנוע יונק את הדלק בכוחות משאבת הדלק שלו.

חשוב לציין שכל הצנרת שמקשרת את סעפת הדלק למיכלים, למנועים, ובין המנועים והמיכלים היא צנרת גומי גמישה שבנויה משכבות גומי משורייני. יש להבדיל בין צנרת גמישה של מערכת הדלק שבה השכבה הפנימית שחורה, לבין צנרת גמישה של המים המתוקים במערכת סניטרית, שם השכבה הפנימית של הצינור היא לבנה. לאורך זמן הסולר גורם לגומי להתרכך ולהתפורר, ולפעמים שכבת הגומי הפנימית מתקלפת בתוך הצינור ויוצרת סתימות. לכן חשוב לבדוק שהמנועים מקבלים דלק דרך צנרת דלק חירום בספיקה מספקת כשאר המנוע תחת עומס (הפלגה מעל 20K) לאורך זמן (לפחות 10 דקות).

6.2.4 הזנת דלק למנועים

כפי שכבר הוסבר, בשגרה כל מנוע מוזן מהמיכל היומי שלו, אליו הוא מחזיר את עודפי הדלק. בחירום ניתן להזין את המנוע מסעפת הדלק, ואת העודפים להחזיר למיכל הנגדי. שרטוט 4 מתאר את צנרת הדלק שמחוברת למנוע. פקודה 5.01 באוגדן מכונה מתארת את הפעולות לביצוע בנוהל דלק חירום במנוע.

קו ההזנה מהמיכל היומי והקו של דלק חירום מסעפת הדלק מגיעים לשסתום T אשר קובע את מקור ההזנה של המנוע. משסתום ה-T יוצא קו יחיד למנוע, ובקו זה מותקן שסתום אל-חוזר שעוזר לשמור על פריימינג במערכת. לאחר מכן הדלק עובר סינון בזוג מסננים מפרידי מים. למסננים שסתום T שמאפשר לבדוד מסנן לטיפול בזמן שהדלק זורם דרך השני. משם הדלק מגיע למשאבת הזנת הדלק של המנוע. זוהי משאבה מסוג ג"ש שמורכבת על המנוע ומונעת ע"י תמסורות מגל הארכובה. למשאבה מחובר שסתום בטחון 2.5 אטמ' שפורק את עודפי הלחץ בחזרה ליניקת המשאבה. במקביל למשאבה מחוברת משאבת פריימינג ידנית מטיפוס דיאפרגמה. למשאבה שסתום קוק בכניסה, ושסתום אל-חוזר בפליטה שמונע לחץ הפוך בזמן פעולת המנוע. לאחר המשאבה מותקן עוד שסתום אל-חוזר לשמירה על פריימינג, ואז הדלק עובר סינון בזוג מסננים משניים. גם למסננים אלו שסתום T עם תקפיד דומה לשסתום T של מפרידי המים. מהנקודה הגבוהה של כל מסנן יש צינור לניקוז בועיות אוויר שמתחבר לקו העודפים של המנוע. על כל קו ניקוז יש שסתום אל-חוזר שמונע חזרת דלק במקרה שמסנן אחד פתוח לטיפול ובשני זורם דלק למנוע שעובד. לאחר האל-חוזרים הצינורות לניקוז בועיות אוויר מתחברים לנחיר הצרה שמונע נפילת לחץ במסננים. מהמסננים הדלק זורם למשאבות ההזרקה של המנוע.



שרטוט 5; הזנת דלק למנוע

עודפי דלק שלא הוזרקו נאספים לקווים ממשאבות ההזרקה, ומהמרססים בכל גוש. שלושת הקווים (מש' הזרקה, גוש A, גוש B) מתחברים לקו עודפים משותף שיוצא מהמנוע. לפני החיבור המשותף, על כל קו מותקן אל-חוזר שמונע מעבר דלק עודפים מקו אחד לשני. על קו העודפים המשותף מותקן שסתום בטחון 1.8 אטמ'. במקרה שהלחץ עולה, השסתום מחזיר את דלק העודפים בחזרה לקו היניקה של משאבת ההזנה של המנוע. לאחר השסתום מותקן שסתום L אשר מאפשר לכוון את העודפים בחזרה למנוע (לפני מפרידי המים) במקרה חירום, או לכוון את העודפים למיכל היומי. צריך לציין שאסור למנוע לפעול לאורך זמן כאשר שסתום ה-L מכוון להחזרת העודפים למנוע, שכן עודפי הדלק מקררים את משאבות ההזרקה והמרססים, וחזרה מיידית של העודפים למנוע תגרום להתחממות הדלק והמכלולים שהוא מקרר. משסתום ה-L הדלק זורם לשסתומים על המיכל היומי. שסתום אחד מאפשר כניסת דלק למיכל היומי, והשני מאפשר החזרת עודפים למיכל הנגדי במקרה חירום.

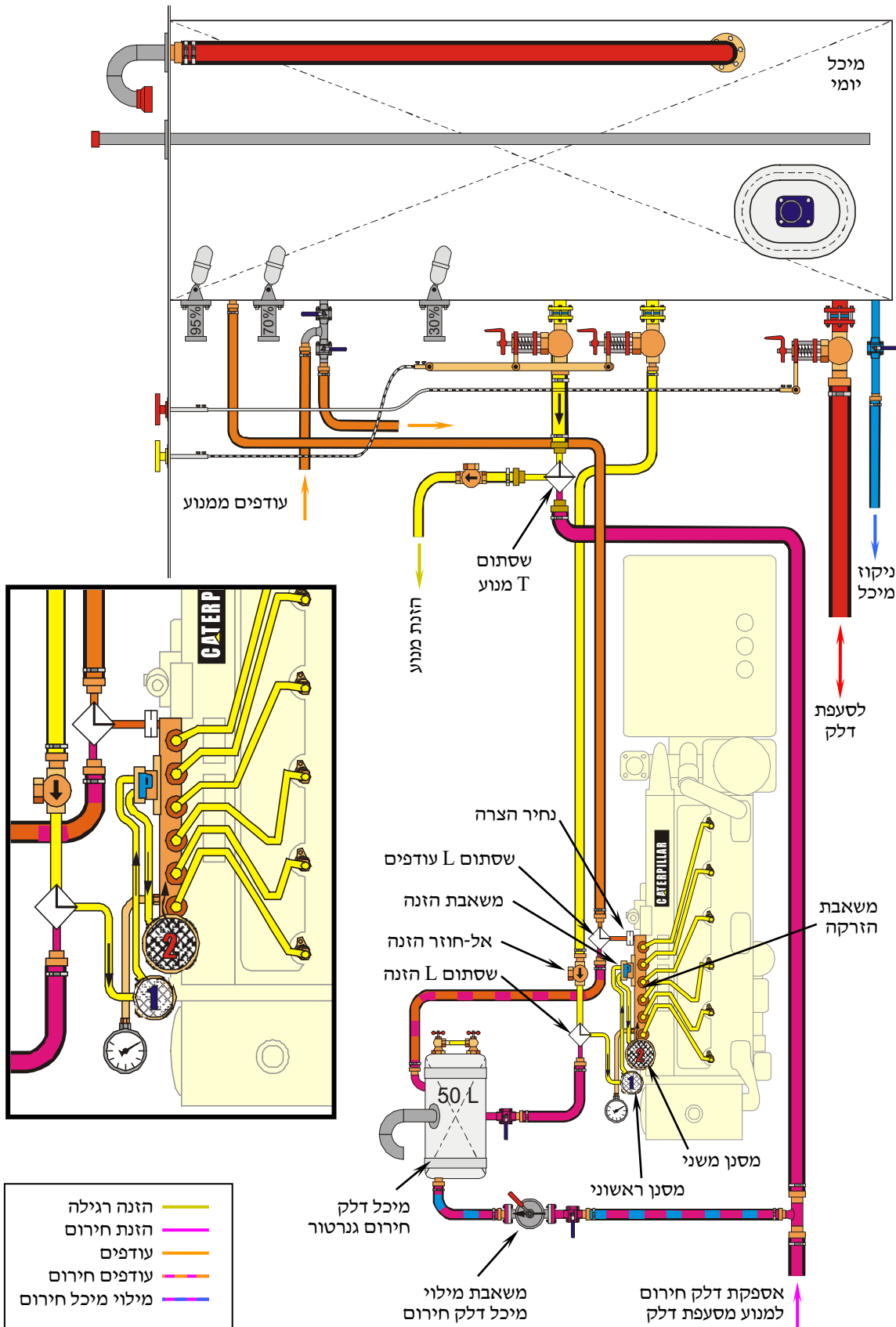
על המנוע מותקן מיכל לאיסוף נוזלות מהמרססים וצנרת ההזרקה. במקרה של תקלה במרסס או בצנרת הדלק, מיכל הנוזלות מתמלא והמצוף שבתוכו נותן התראה.

6.2.5 הזנת דלק לגנרטורים

כמו למנוע, גם לגנרטור יש שתי אפשרויות להזנת דלק. בשגרה הוא מחובר למיכל היומי, ובחירום ניתן להזין את הגנרטור ממיכל דלק חירום מיוחד. לגנרטורים 4, 1 יש מיכל דלק חירום משותף בנפח 100 ליטר, ואילו לגנרטורים 3, 2 יש מיכל של 50 ליטר כל אחד. שרטוט 5 מתאר את צנרת הדלק של הגנרטור. פקודה 4.01 באוגדן מכונה מתארת את הפעולות לביצוע בנוהל דלק חירום לגנרטור.

קווי הזנת הגנרטור מהמיכל היומי וממיכל החירום מגיעים לשסתום L בורר הזנה. ביציאה מהמיכל היומי יש, כמובן, שסתום סגירה מהירה, וביציאה ממיכל החירום יש שסתום קוק (יש להקפיד שהוא שסגור בשגרה). לאחר שסתום ה-L מותקן אל-חוזר ששומר על פריימינג בקו ההזנה. משם הדלק עובר דרך מסנן ראשוני, משאבת הזנה, מסנן משני ובסוף מגיע למשאבת ההזרקה של הגנרטור.

עודפי הדלק יוצאים ממשאבת ההזרקה דרך נחיר הצרה ששומר על הלחץ בתוך חלל המשאבה. משם הדלק מגיע לשסתום L שמאפשר את החזרת העודפים למיכל ממנו יונקים. מילוי מיכל החירום מתבצע ע"י משאבת כנף ידנית שיונקת מקו דלק חירום של המנוע הקרוב. חשוב לא למלא את המיכל יתר על המידה שכן עודפי הדלק שיוצאים מהאוורר של המיכל ניתזים בקרבת סעפת הפליטה של הגנרטור. כמו כן, טעות הפעלה שבה הגנרטור יונק מהמיכל היומי אך מחזיר את העודפים למיכל החירום גם גורמת להצפת מיכל החירום ולסכנת שריפה.



שרטוט 6 ; הזנת דלק גנרטור

6.3 דוגמאות להפעלה

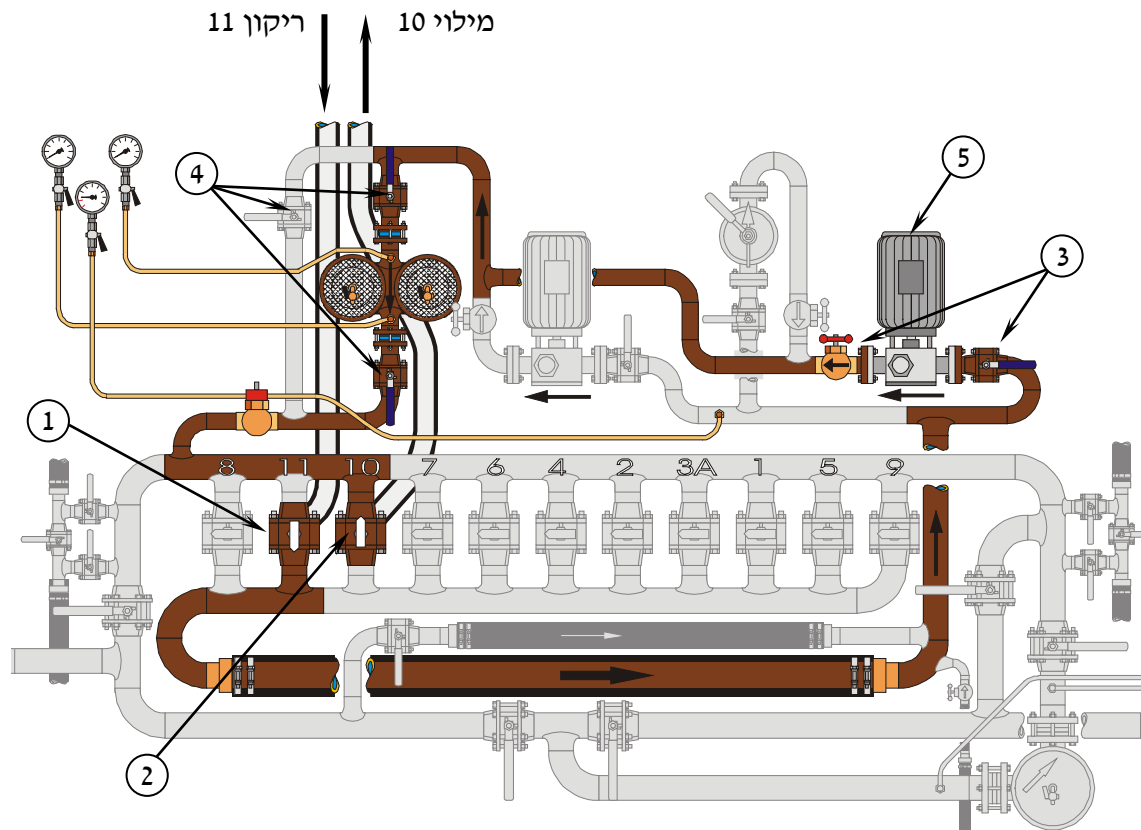
בסעיף זה נסקור מספר אפשרויות להפעלת המערכת, בליווי שרטוטים שמתארים את כיוון זרימת הדלק ומצב השסתומים במערכת לכל פעולה. הפעולות המתוארות מבוססות על פקודות 4.09 באוגדן מכונה, ואינן מהוות תחליף לפקודות שם, אלא רק עזר חזותי להבהרת הפעולות המתוארות הפקודות. על מנת להתמקד בהפעלת השסתומים והמשאבות במערכת לכל פעולה ופעולה, נסקור כאן פעם אחת את הפעולות המשותפות לכל הפעלה של מערכת הדלק, ולא נחזור עליהן בהמשך:

1. מודדים את כמויות הדלק במיכלים.
2. מוודאים אספקת מתח למערכת דלק מלוח חשמל קדמי או אחורי, ומכוונים את בורר מצב הפעולה למצב ידני או אוטומטי.
3. בודקים שסגירות מהירות של המיכלים הרלוונטיים פתוחות.
4. לוח דלק צריך לקבל מתח, אחרת שסתומי הדיאפרגמה של המיכלים היומיים נשארים סגורים. במצב אוטומטי מיכלים יומיים מעל 70% נשארים סגורים. במצב ידני כולם פתוחים.
5. אם מעבירים בין מיכלים, אז דוגמים את הדלק במיכל שנשאב, ואם הוא למלוכלך אז ממשיכים לנקז את המיכל עד שהדלק נקי. אם מתדלקים ממקור חיצוני אז דוגמים את הדלק לפני הכנסתו לספינה.
6. במהלך העברת הדלק בודקים את כמויות הדלק במיכלים ע"מ למנוע מילוי יתר והצפה.
7. כל פעולה שכרוכה בהזרמת דלק לאחד מפקקי התדלוק בסיפון דורשת את הדממת הגנרטור באותה הדופן כשעה לפני הפעולה.
8. בזמן העברת הדלק בודקים את המערכת לנזילות, במיוחד בצינורות שיורדים מהסיפון בקרבת סעפות הפליטה של הגנרטורים.
9. צריך לזכור שהספיקה המקסימלית של המסננים מפרידי המים היא הפעלה של משאבה אחת בלבד. הפעלה של שתי המשאבות דורשת את פתיחת הקו העוקף של המסננים.
10. במקרה של חוסר פריימינג בשאיבה ממיכל נמוך, ניתן תחילה לשאוב מעט דלק ממיכל גבוה (1 או 2) ע"מ למלא את קו היניקה בדלק.
11. בזמן ההעברה צריך לבדוק שאין התראה של חוסר זרימה שמעידה על כך שאין פריימינג, טעות הפעלה, או שנגמר הדלק במיכל שנשאב. כמו כן יש לבדוק לחצים של המשאבה והפרשי לחצים על המסננים.

6.3.1 העברה בין מיכלים

בסעיף זה נדגים העברת דלק בין שני מיכלי שקיעה, למשל ממיכל 11 למיכל 10 בעזרת משאבה #1, כפי שמתואר בשרטוט 6. סדר הפעולות לביצוע היינו:

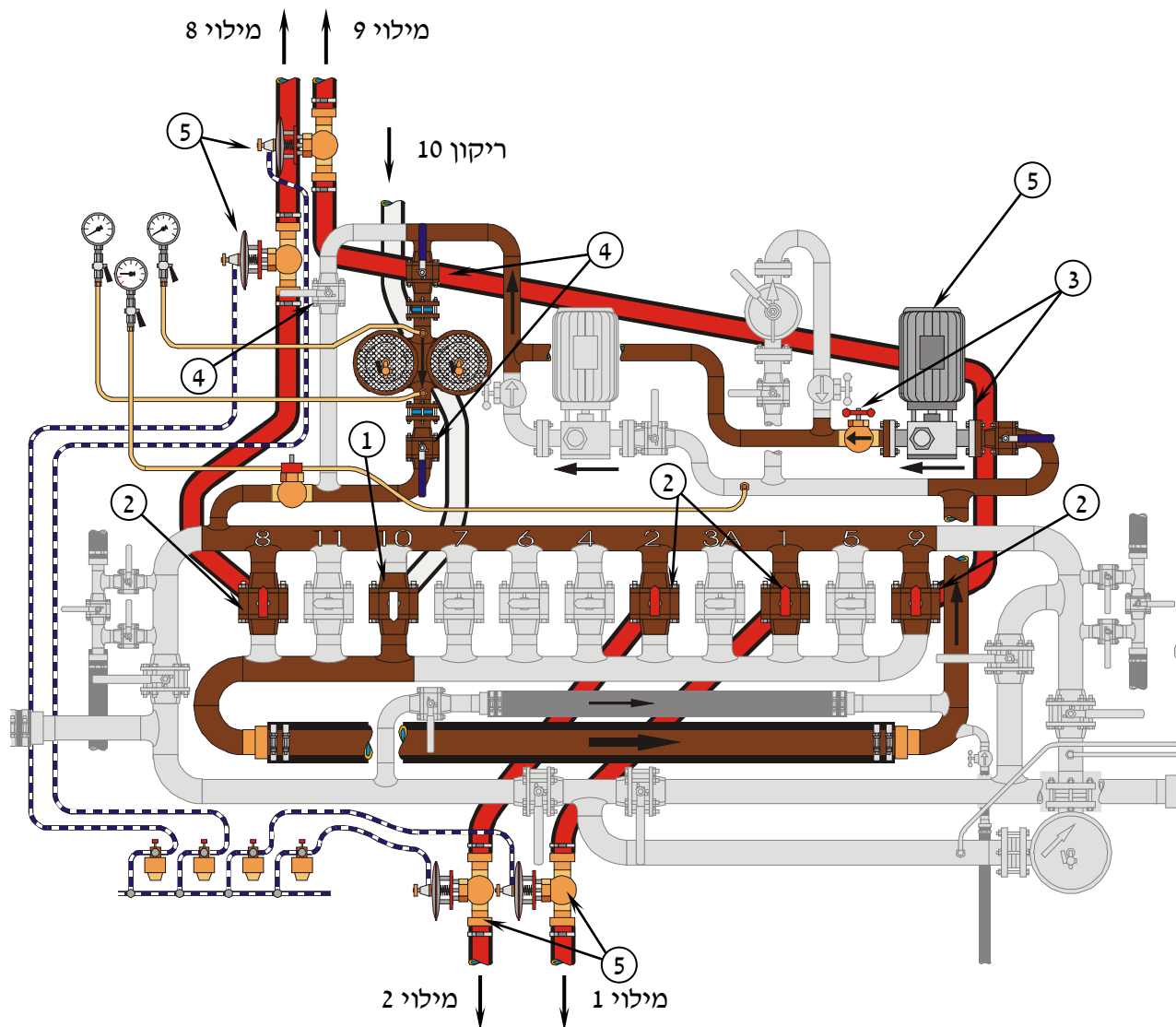
1. מכוונים את השסתום של מיכל 11 להורקה – לכיוון ירכתיים.
2. מכוונים את השסתום של מיכל 10 למילוי – לכיוון חרטום.
3. פותחים שסתומי כניסה ויציאה ממשאבה #1.
4. פותחים את שסתומי הכניסה והיציאה של מפרידי המים, מוודאים שהקו העוקף סגור.
5. מעבירים מערכת למצב ידני, ומפעילים את המשאבה.



שרטוט 7 ; העברת דלק ממיכל 22 למיכל 21

6.3.2 מערכת דלק אוטומטית

מערכת דלק אוטומטית נועדה לשמור על מיכלי הדלק היומיים מלאים. מכוונים את המערכת שתשאב ממיכל השקיעה הרצוי, והמערכת דואגת למלא כל מיכל יומי שכמות הדלק בו יורדת ל-70%. כזכור, על המיכלים היומיים מורכבים מצופים בגובה 30%, 70% ו-95%. כאשר גובה הדלק במיכל מסוים יורד ל-70% אז נפתח שסתום הדיאפרגמה בקו המילוי של המיכל, ומופעלת משאבה (אם מכיל אחר כבר היה בתהליך מילוי, אז המשאבה ממילא פועלת). כאשר כמות הדלק במיכל מגיעה ל-95% הדיאפרגמה נסגרת, ואם אין עוד מיכלים אחרים בתהליך מילוי, אז המשאבה מודממת. מצופ 30% נותן התראה בבקרה שצריך למלא את המיכל (ידינית או לכוון את המערכת למצב אוטומטי).



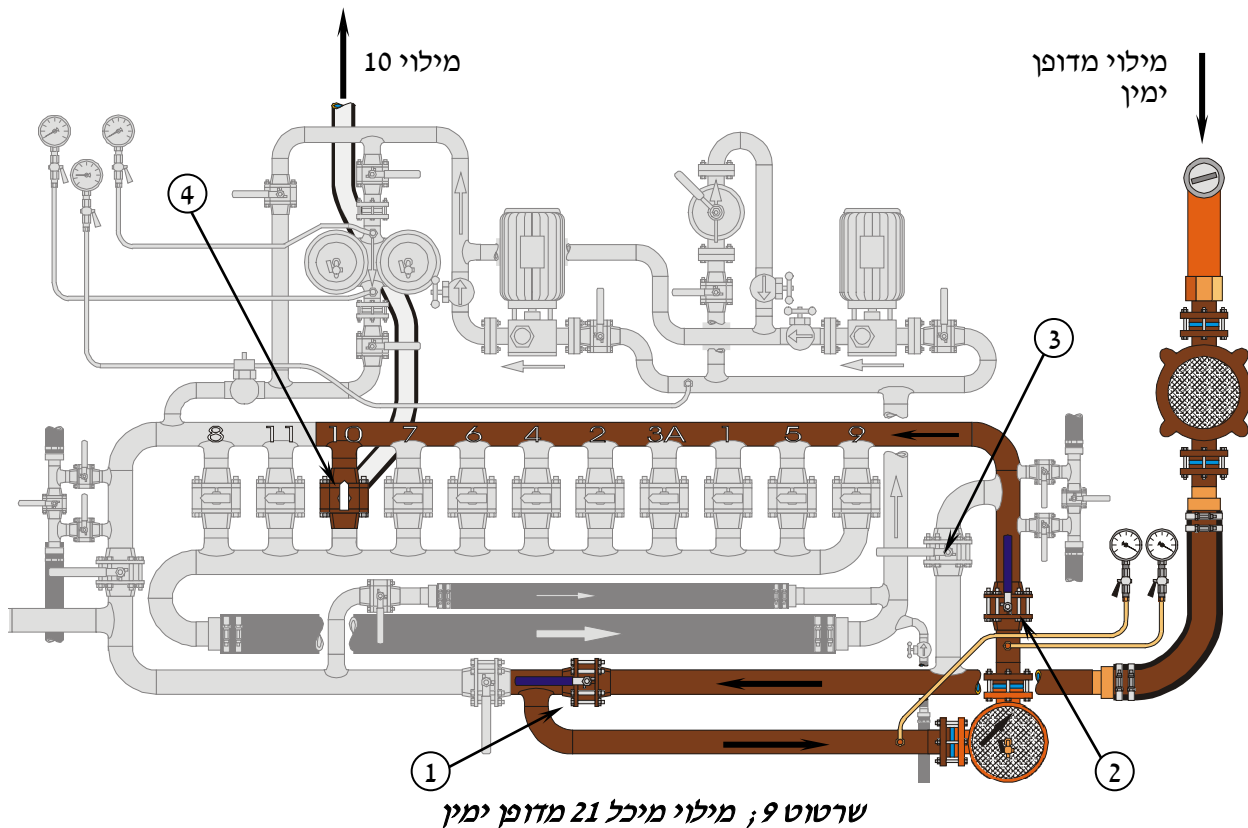
שרטוט 8 ; מערכת דלק אוטומטית

נתאר את הפעולות הדרושות להכנת המערכת לפעולה במצב אוטומטי עבור מילוי ממכל 10 בעזרת משאבה #1, ראה שרטוט 7. נשים לב שבמצב שמתבצע מילוי של יותר ממכל יומי אחד בו זמנית, אז הדלק זורם מהמכל היומי שבו גובה הדלק יותר גבוה למכל היומי הנמוך עקב חוק כלים שלובים. לכן תמיד המיכלים הנמוכים 9, 8 מתמלאים מהר יותר על חשבון המיכלים הגבוהים 1, 2. הפעולות לביצוע הינן :

1. מכוונים את השסתום של מיכל 10 להורקה – לכיוון ירכתיים.
2. מכוונים את השסתומים של המיכלים היומיים 9, 8, 2, 1 למילוי – לכיוון חרטום.
3. פותחים שסתומי כניסה ויציאה ממשאבה #1.
4. פותחים את שסתומי הכניסה והיציאה של מפרדי המים, מוודאים שהקו העוקף סגור.
5. מעבירים את בורר ההפעלה בלוח דלק למצב אוטומטי. יש שני מצבים אוטומטיים, בראשון משאבה #1 מופעלת אוטומטית ואת משאבה #2 ניתן להפעיל ידנית, ולהיפך במצב השני. ברגע שמכל יומי יורד ל-70% אז המשאבה פועלת ונפתח שסתום הדיאפרגמה של המיכל, עד למילוי ל-95%.

6.3.3 תדלוק ממקור חיצוני

נתאר תדלוק של הספינה ממקור לחץ חיצוני (קו דלק ברציף, משאית מיכלית, או ספינה אחרת). כזכור, בתדלוק הספינה תמיד ממלאים מיכלי שקיעה – לעולם לא מתדלקים מיכלים יומיים ישירות. כדוגמה, שרטוט 8 מתאר את תדלוק מיכל שקיעה 10 מדופן ימין דרך מסנן תדלוק 10 מיקרון. יש לשים לב שהפרש הלחצים על המסנן אינו עולה על 1.5 אטמ'.

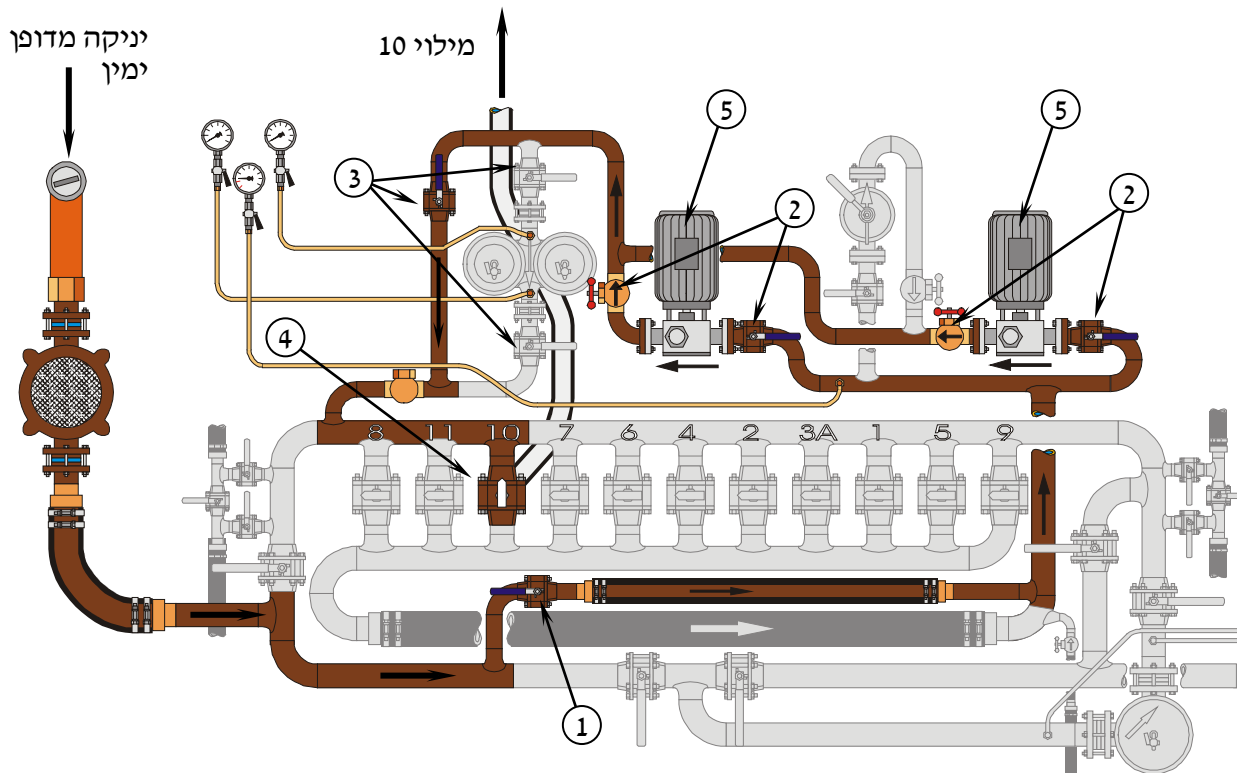


כיוון השסתומים במערכת :

1. פתיחת שסתום כניסה למסנן 10 מיקרון מדופן ימין.
2. פתיחת שסתום יציאה ממסנן 10 מיקרון.
3. לוודא ששסתום עוקף מסנן מדופן ימין סגור.
4. לכוון את מיכל 10 למצב מילוי – שסתום לכיוון חרטום.

6.3.4 יניקת דלק ממקור חיצוני

יניקת דלק ממקור חיצוני בכוחות המשאבות של הספינה אפשרית אך ורק מדופן שמאל. כמו כן, במצב זה אין אפשרות להעברת הדלק דרך מסנן תדלוק 10 מיקרון, אלא רק דרך המסננים מפרידי המים. הגברת הספיקה אפשרית ע"י פתיחת קו עוקף של מפרידי המים והפעלת שתי המשאבות. לצורך ההמחשה נתאר יניקת דלק מדופן שמאל למילוי מיכל 10 בעזרת שתי המשאבות ועקיפת מפרידי המים. מצב המערכת מתואר בשרטוט 9.



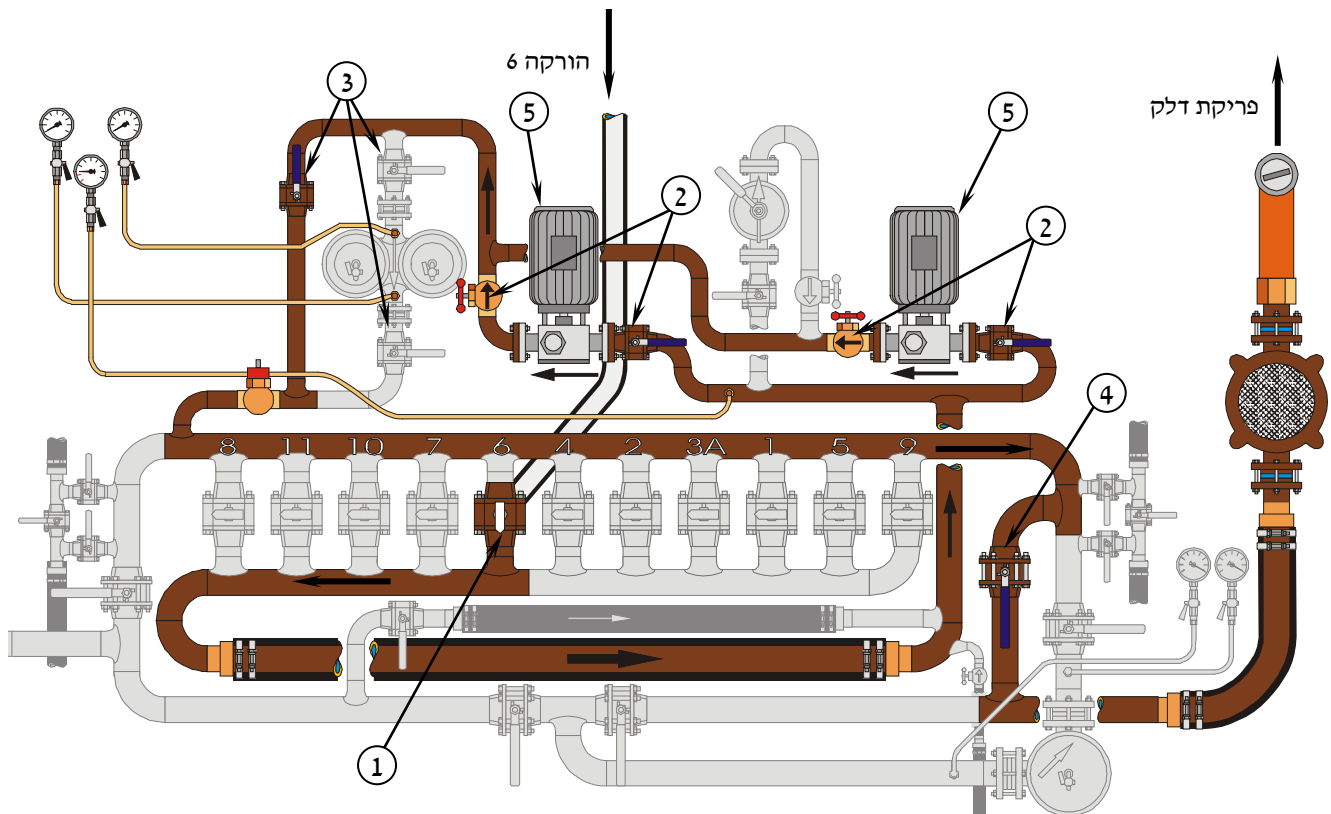
שרטוט 9: יניקת דלק מדופן שמאל למיכל 21

הפעלת המערכת מבוצעת לפי השלבים הבאים:

1. פתיחת שסתום יניקה מדופן שמאל.
2. פתיחת שסתומי יניקה ופליטה של המשאבות.
3. סגירת שסתומים של מפרידי מים ופתיחת קו עוקף.
4. כיוון מיכל 10 למילוי – לכיוון חרטום.
5. העברת לוח דלק למצב ידני והפעלת שתי המשאבות.

6.3.5 העברת דלק לספינה אחרת/פריקת דלק מהספינה

הוצאת דלק מהספינה אפשרית משתי הדפנות, אך אם נדרשת יכולת יניקה לריקון צינור התדלוק עבור סודרים בים אז חייבים לעשות זאת מדופן שמאל (ראה סעיף 6.3.4). עבור פריקת דלק בספיקה גבוהה משתמשים בשתי המשאבות ועוקפים את מפרידי המים. עבור תדלוק כלים קטנים בים עדיף להשתמש במשאבה אחת וסינון במפרידי המים. נדגים פריקת דלק ממיכל 6 לדופן ימין בעזרת שתי המשאבות ללא סינון במפרידי המים, כפי שמתואר בשרטוט 10.



שרטוט 21; פריקת דלק לדופן ימין

הפעלת המערכת מבוצעת לפי השלבים הבאים:

1. כיוון שסתום מיכל 6 להורקה – לכיוון ירכתיים.
2. פתיחת שסתומי יניקה ופליטה של המשאבות.
3. סגירת שסתומים של מפרידי מים ופתיחת קו עוקף.
4. פתיחת שסתום עוקף מסנן תדלוק דופן ימין.
5. העברת לוח דלק למצב ידני והפעלת שתי המשאבות.

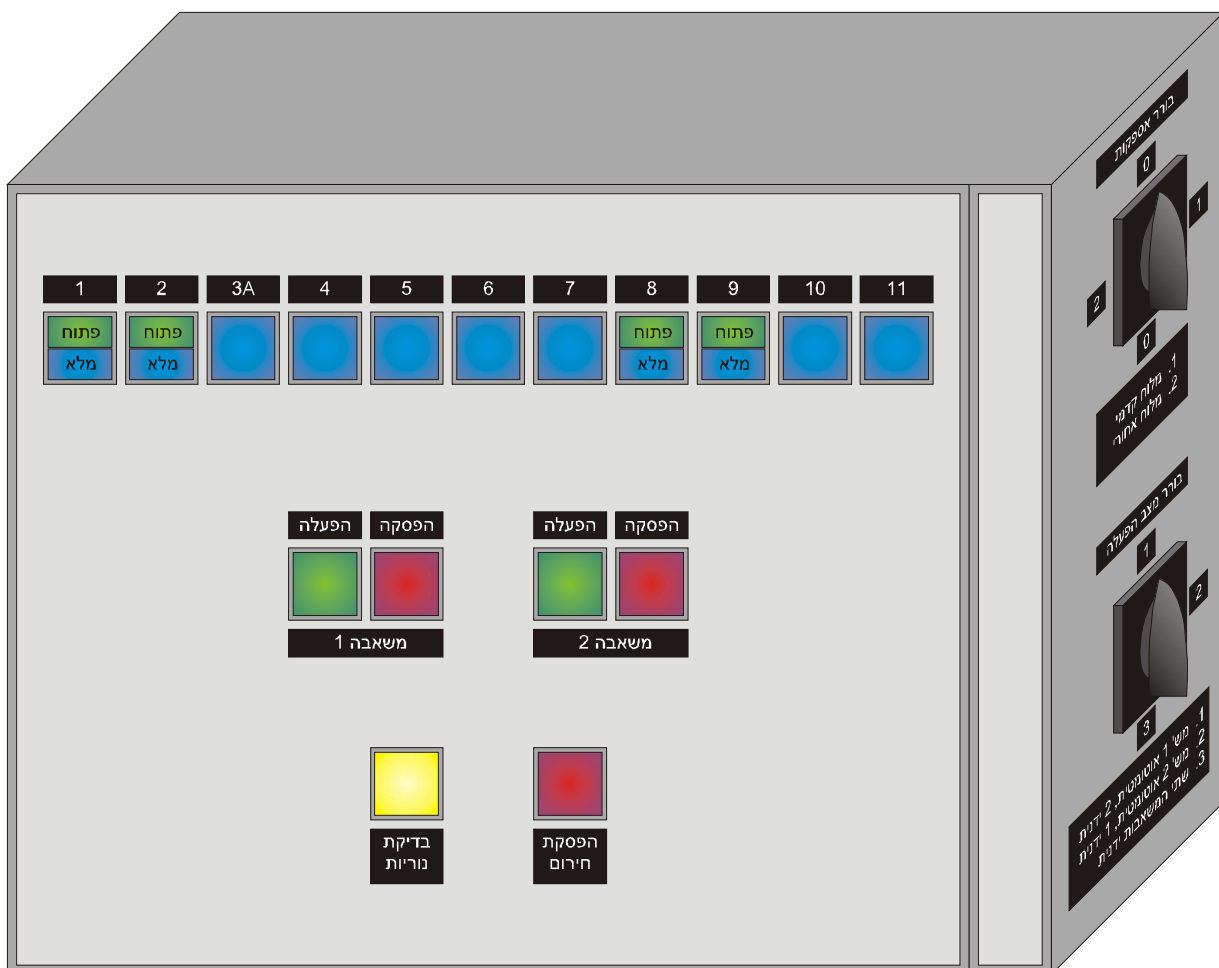
6.4 מכלולים במערכת

6.4.1 לוח הפעלה

לוח ההפעלה של מערכת דלק נמצא בחזמ"ק על חזוץ הקדמית של תא הבקרה. הלוח מוזן במתח 551071 משני לוחות החשמל הראשיים- כאשר על הלוח יש בורר אספקות ידני- ראה

שרטוט 11. מתחת לבורר אספקת המתחים יש בורר מצב הפעלה:

1. משאבה 1# במצב אוטומטי, משאבה 2# במצב ידני
2. משאבה 2# במצב אוטומטי, משאבה 1# במצב ידני
3. שתי המשאבות במצב ידני



שרטוט 22; לוח הפעלה ובקרה מערכת דלק

על הלוח יש נוריות שמצינות את מצבם של מכלולים שונים במערכת. עבור מיכלי השקיעה יש נוריות כחולות שנדלקות כאשר כמות הדלק במיכל מגיעה ל-95% (החיווי ניתן ע"י המצוף שעל גבי כל מיכל). למיכלים היומיים יש נוריות מפוצלות. החצי התחתון ("מלא") כחול ונדלק כאשר המיכל מגיע למילוי של ל-95%, ולאחר מכן הנורית נשארת דלוקה עד שכמות הדלק במיכל יורדת ל-70% עקב צריכת הדלק של המנוע/גנרטור של אותו מיכל. כאשר כמות הדלק יורדת ל-70% אז נורית

"מלא" כבה, ונשארת כך עד שהמיכל מתמלא שוב (ידנית או אוטומטית). החצי העליון ירוק ("פתוח") ונדלק כאשר הדיאפרגמה של המיכל נפתחת. החיווי למצב הדיאפרגמות ניתן ע"י המיקרוסוויצ'ים שמותקנים על כל שסתום דיאפרגמה.

לכל משאבה יש לחצן הפעלה והדממה שמאפשרים שליטה על המשאבה כאשר היא במצב ידני. כמו כן יש לחצן בדיקת נוריות, ויש נורית שמציינת אם לחצן הפסקת משאבות דלק בחירום הופעל בגשר. בכל מקרה של שריפה לוחצים על הלחצן בגשר ע"מ להפסיק את משאבות הדלק של הספינה. בתא הבקרה יש חיווי של חוסר זרימה מרגש הזרימה שמותקן לאחר מפרידי המים.

6.4.2 משאבת העברת דלק

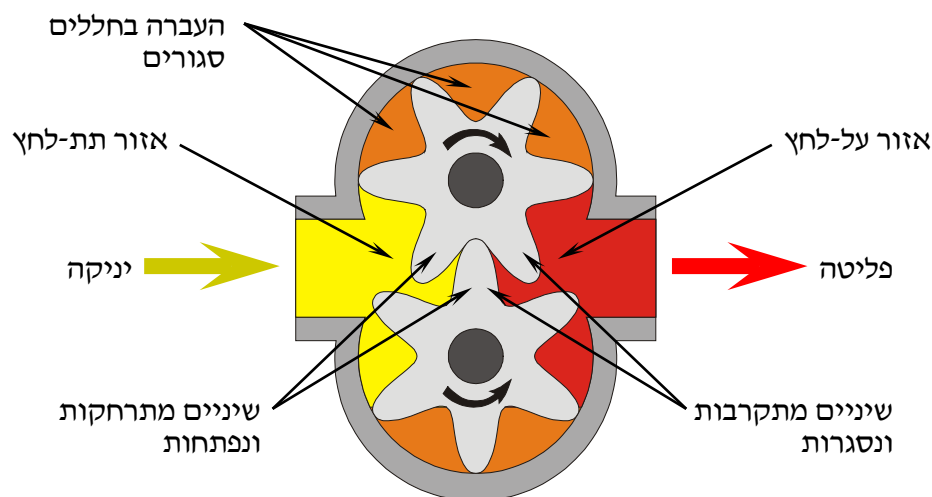
6.4.2.1 כללי

משאבת העברת דלק היא משאבה מסוג ג"ש אשר מונעת ע"י מנוע חשמלי אסינכרוני תלת פאזי 440V/60Hz. מכיוון שזוהי משאבת שינוי נפח, אם פליטת המשאבה נחסמת אז נוצר לוק הידראולי. לכן מותקן שסתום בטחון שפורק בחזרה לחלל היניקה. להלן נתונים כללים:

הספק	3 כ"ס
סל"ד	1740 סל"ד
ספיקה	5.4 מ"ק/שעה
לחץ עבודה	1.5 אטמ'
לחץ שסתום בטחון	3 אטמ'
כיוון סיבוב – במבט מלמעלה	עם כיוון השעון

6.4.2.2 עקרון פעולה

משאבת ג"ש היא משאבת שינוי נפח ולכן היא יכולה ליצור תת-לחץ ביניקה אפילו ללא פריימינג, והיא יעילה גם בסל"ד נמוך. הספיקה היא ביחס ישר למהירות הסיבוב, והלחץ תלוי בלחץ הנגדי בפליטת המשאבה וביכולת המנוע להתגבר עליו. בספינה משאבות העברת דלק ושמן הן מסוג ג"ש. כמו כן, ברוב מנועי בעירה פנימית משאבות ג"ש משמשות למשאבות שמן והזנת דלק. מפוח האוויר במנועי 2 פעימות (Blower, Super-charger) פועל גם כן על אותו עקרון. שרטוט 12 מתאר מבנה סכמטי עקרוני של משאבת ג"ש.



שרטוט 23 ; עקרון פעולה של משאבת ג"ש

המשאבה מורכבת משני גלגלי שיניים (גג"שים) שמשולבים ביניהם ויושבים בתוך בית. ציר ההנעה של המשאבה מסובבת את אחד הגג"שים, והוא מניע את הגג"ש השני. בצד היניקה השיניים המשולבות של הגג"שים מתרחקות אחת מהשניה וכך נוצר תת-לחץ שיונק את הנוזל פנימה לנפח שנפתח בין השיניים. הגג"שים ממשיכים להסתובב והנוזל שבחלל שבין שתי שיניים סמוכות על אותו גג"ש נכלא ע"י דופן בית המשאבה בחלל סגור (החללים הסגורים נוצרים גם בגג"ש העליון וגם בתחתון). סיבוב הגג"שים מעביר את הנוזל הכלוא בחללים הסגורים לצד הפליטה. בצד הפליטה דופן הבית מתרחקת מהגג"שים והחללים הסגורים נפתחים. במקביל, השיניים מתחילות להשתלב זו בזו והנפח ביניהן קטן. הקטנת הנפח מעלה את לחץ הנוזל וכתוצאה מכך הוא זורם בכיוון הפליטה.

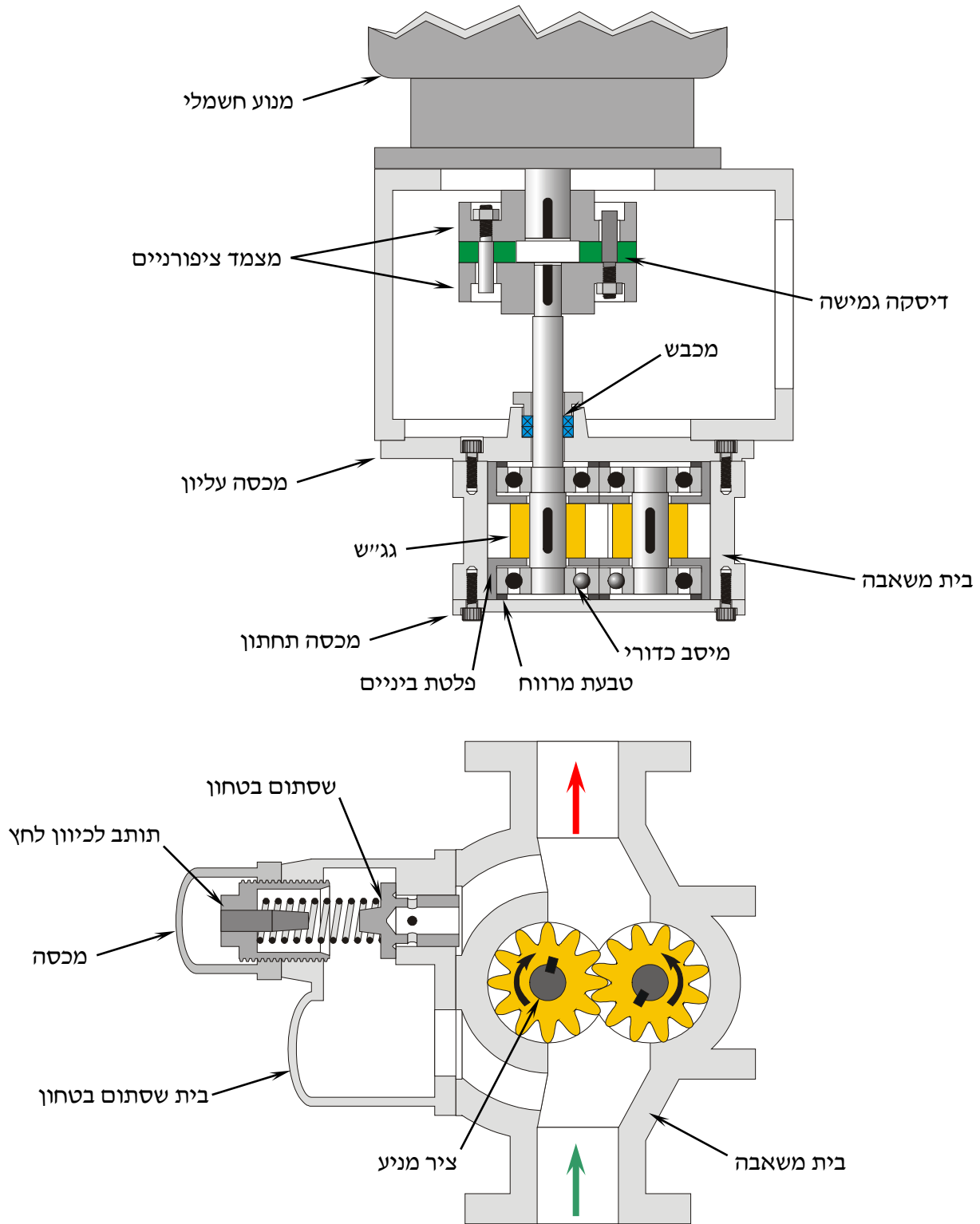
יש אטימת שטח בין קצוות הגג"שים לבית המשאבה וגם באזור שילוב הגג"שים. כמו כן, בית המשאבה סגור ע"י פלטות משני צידי הגג"שים (הפלטות מקבילות לדף של השרטוט). גם כאן האטימה היא אטימת שטח. לכן נדרשים מרווחים קטנים ומדויקים בין הגג"שים לבית המשאבה ע"מ להבטיח אטימה טובה, אחרת לחץ הפליטה יכול לברוח לצד היניקה דרך אזור השילוב של הגג"שים או מסיב לגג"שים במרווחים שביניהם ובית המשאבה והפלטות הסוגרות. כמו כן הסיכה של הגג"שים אל מול הבית היא ע"י הנוזל שנשאב, ולכן משאבות גג"ש כמעט תמיד משמשות לשאיבת דלקים ושמינים בלבד (במקרה של מפוח אוויר אין מגע בין החלקים הנעים).

6.4.2.3 מבנה

שרטוט 13 מתאר חתך-צד וחתך-על של משאבת העברת דלק בספינה. ההנעה מהמנוע החשמלי מועברת ע"י מצמד ציפורניים. הציפורניים מכל אוגן משתלבות בדיסקה גמישה שמעבירה את מומנט הסיבוב מהמנוע למשאבה – אין מגע ישיר בין הציפורניים של אוגן אחד לקדחים באוגן השני. גמישות הדיסקה סופגת רעידות, מכות לחץ וחוסר ליין מושלם בין ציר המנוע לציר המשאבה. רעשים בזמן הפעולה מעידים על בלאי של הדיסקה הגמישה, כי אז הציפורניים של אוגן אחד באות במגע ישיר עם הקדחים באוגן השני. הציר המניע של המשאבה נאטם עם מכבש וחבל חלב. המכבש מהודק לבית המשאבה בשני ברגים. כל אחד משני צירי המשאבה (ציר מניע וציר משני) ממוסב בשני מיסבים כדורים. כל אחד מהמיסבים יושב בתוך פלטת ביניים. המכסה העליון והמכסה התחתון של בית המשאבה מהדקים את המיסבים על הצירים בעזרת טבעות מרווח. כל אזור המסבים מוצף בנוזל שנשאב שמספק קירור וסיכה למכלולים הנעים.

לצידה של המשאבה מחובר בית שסתום הבטחון שפורק את עודף הלחץ בפליטה בחזרה ליניקה. לאלמנט השסתום יש אטימת שטח כנגד בית השסתום. כאשר השסתום מתרומם מהתושבת הנוזל זורם דרך קדחים בצדדים של האלמנט. ניתן לשנות את לחץ הפריקה ע"י הברגת תותב כיוון הלחץ שקובע את הלחץ הראשוני של הקפיץ. אבטחת התותב כנגד סיבוב היא ע"י המכסה שמתברג על התותב ומתהדק כנגד בית השסתום.

כהערה, נציין שמשאבות העברת שמן בספינה הן זהות למשאבות הדלק, פרט למנוע החשמלי השונה שמסתובב בסל"ד יותר נמוך, והכיוון של שסתום הבטחון ללחץ יותר נמוך.

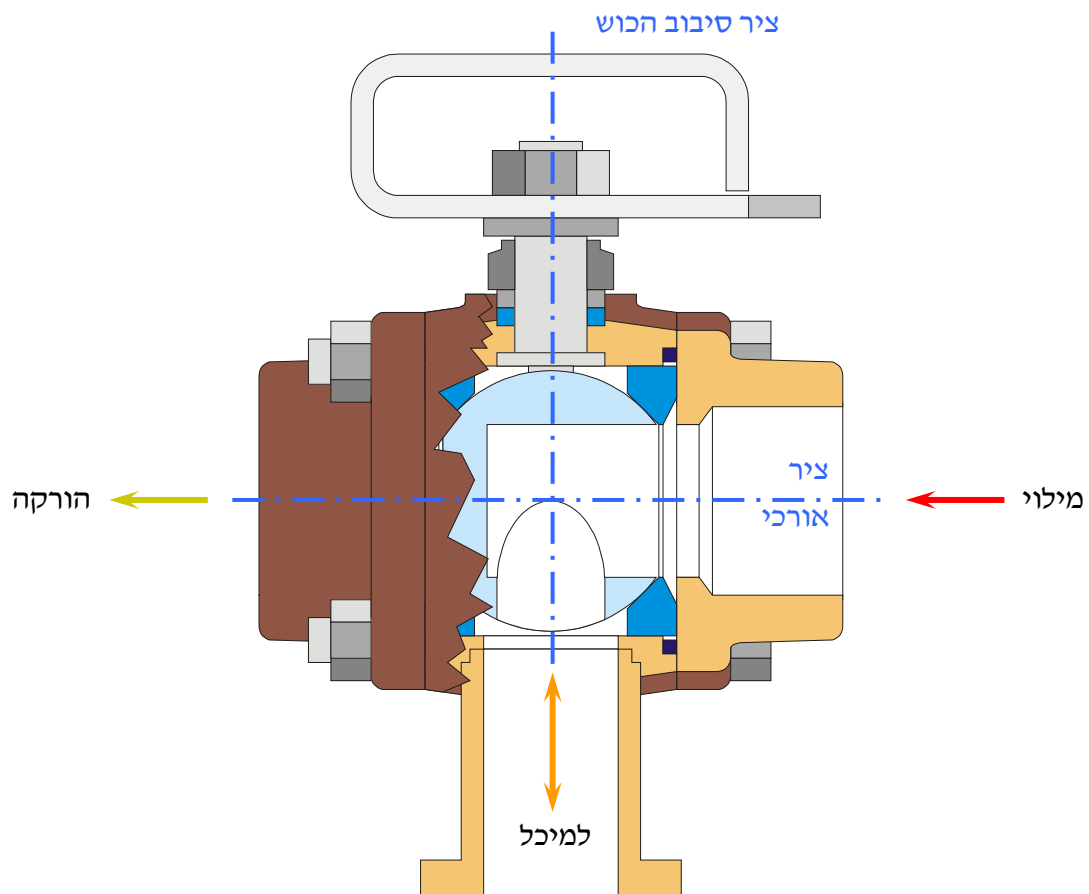


שרטוט 24 ; משאבת העברת דלק

6.4.3 שסתום קוק סעפת דלק

לשסתומי הקוק של סעפת הדלק יש פונקציונליות כמו של שסתום L- ראה

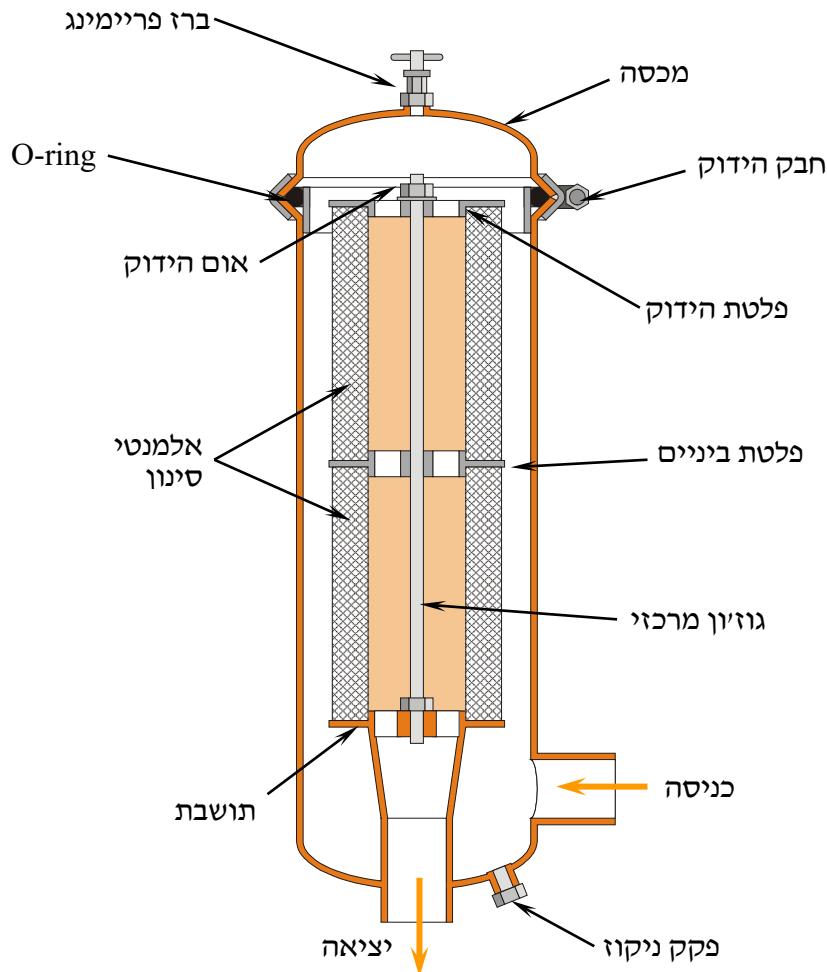
שרטוט 14. הצינור שמוביל למיכל הדלק מחובר לצידו התחתון של השסתום, והחיבורים לסעפת המילוי ולסעפת ההורקה הם בצידי השסתום. אלמנט האטימה הוא כדור פלבי"ם עם קדח בצורת L שמסתובב על ציר אנכי. קצה אחד של ה-L תמיד פונה כלפי מטה (מתלכד עם ציר הסיבוב), והקדח השני הוא אופקי. ע"י בסיבוב האלמנט ניתן להפנות את הקדח אופקי לכיוון סעפת המילוי או ההורקה, וע"מ לסגור את השסתום מפנים את הקדח האופקי בניצב לציר האורכי של השסתום. מבנה השסתום, האטימות ופירוק והרכבה זהים לזה של שסתום קוק טיפוגי. פירוט נמצא בסעיף 5.2.2.3 בפרק על קו כיבוי אש. ההבדלים היחידים הם בקדחים באלמנט האטימה ובתוספת הכניסה התחתונה לבית השסתום.



שרטוט 25; שסתום קוק סעפת דלק

6.4.4 מסנן תדלוק 10 מיקרון

מסנן התדלוק נועד לבצע סינון של הדלק עד לרמה של 10 מיקרון בספיקות גבוהות של עד 40 מ"ק/שעה. הפרש הלחצים המקסימלי המותר על פני המסנן הוא 1.5 אטמ". שרטוט 15 מציג חתך של המסנן.

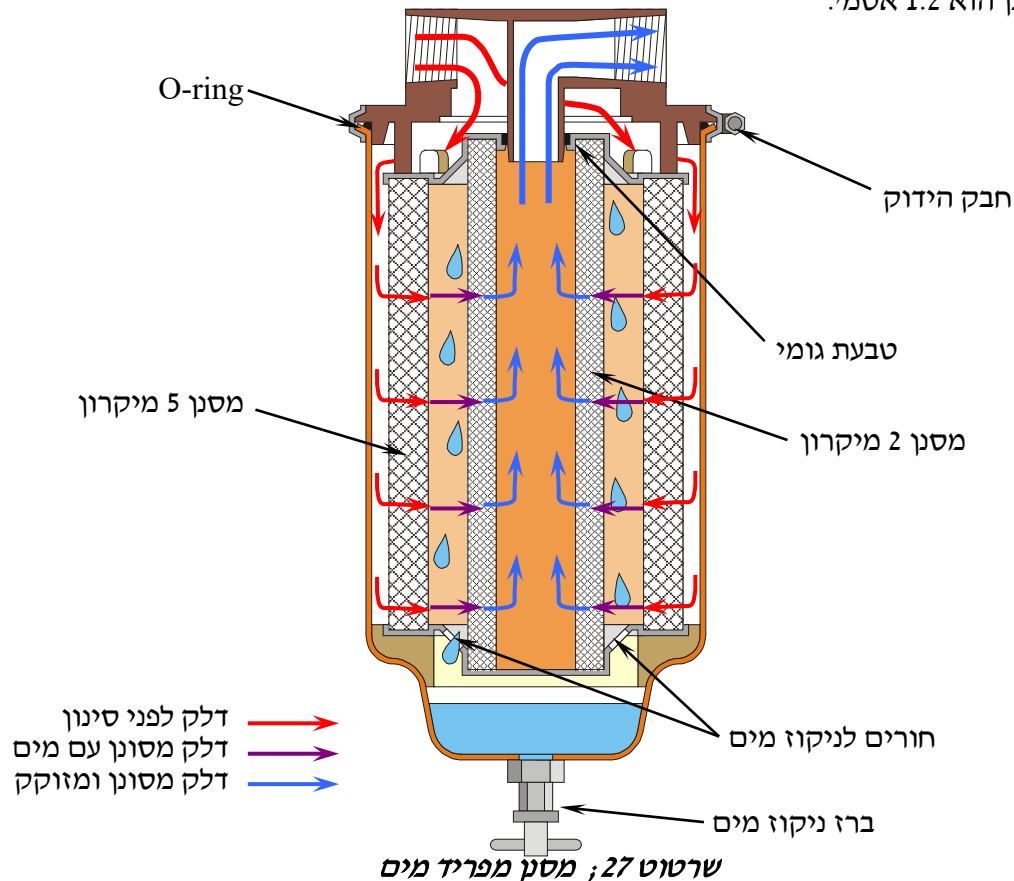


שרטוט 26 ; מסנן תדלוק 21 מיקרון

למסנן שני אלמנטי סינון מניר שמורכבים על גוזיון מרכזי. האלמנטים מהודקים לתושבת בגוף המסנן בעזרת פלטת ביניים ופלטת הידוק. הסינון מתבצע מכיוון חוץ כלפי פנים. מכסה המסנן מהודק בעזרת חבק קוני ונאטם ב-O-ring. בתחתית המסנן יש פקק לניקוז לכלוך שהצטבר, ובמכסה יש ברז פריימינג לסילוק בועות אוויר.

6.4.5 מסננים מפרידי מים

מסנן זה משמש לסינון עדין של הדלק והוצאת המים שבו. במערכת מותקנים שני מסננים במקביל, כאשר ספיקת כל מסנן היא 3 מ"ק/שעה. הפרש הלחצים המקסימלי המותר בין הכניסה והיציאה של המסנן הוא 1.2 אטמ'.



למסנן יש אלמנט סינון בעל שתי דרגות, והסינון מתבצע מהחוץ כלפי פנים, ראה שרטוט 16. לדרגה הראשונה רמת סינון של 5 מיקרון שמאפשרת מעבר מים ודלק. הדרגה הראשונה נועדה למנוע סתימה של הדרגה הבאה שיש לה דרגת סינון של 2 מיקרון. מתח הפנים של טיפות המים בדלק לא מאפשר את מעברן דרך הדרגה השנייה, ולכן רק הדלק יכול לעבור. המים שכלואים בין שתי דרגות הסינון שוקעים כלפי מטה, מתנקזים דרך חורים בתחתית אלמנט הסינון ונקווים בתחתית בית המסנן. את המים שהצטברו ניתן לרוקן בעזרת ברז ניקוז.

בית המסנן מהודק בחבק קוני עם אטימת O-ring. אלמנט הסינון נשען על תושבת בתחתית בית המסנן, וסגירת החבק מהדקת את בית המסנן ואת האלמנט כלפי מעלה. החלל המרכזי של אלמנט הסינון (שמכיל דלק לאחר סינון וזיקוק) מושחל על צינור מרכזי שמוביל ליציאה מהמסנן, ונאטם עם טבעת גומי שמותקנת באלמנט הסינון.

6.4.6 שסתום סגירה מהירה

שסתום סגירה מהירה בנוי כמו שסתום כדורי רגיל שעליו מורכב מנגנון סגירה מהירה קפיצי. המנגנון כולל תותב הברגה שמחליק על שני מוטות החלקה ונלחץ כלפי מטה ע"י קפיץ. כוש

השסתום מתברג בתותב, כך שמצב אלמנט האטימה של השסתום תלוי במצב היחסי בין התותב והכוש (נקבע ע"י ההברגה של הכוש), ובמצב של התותב שמחליק לאורך המוטות. שרטוט 17 מתאר את השסתום במצב סגור לאחר משיכת ידית הסגירה המהירה בסיפון (ימין), ואת השסתום במצב פתוח ונצור, מוכן לפעולה (שמאל). במצב הסגור התותב נמצא למטה (בכוח הקפיץ), והוא לוחץ את הכוש ואת אלמנט האטימה על התושבת בבית השסתום, וכך השסתום סגור. דריכת השסתום ממצב סגור מבוצעת ע"י סיבוב ידית הכוש בכיוון סגירה (עם כיוון השעון). מכיוון שהכוש לא יכול לרדת יותר (האלמנט כבר נשען על התושבת שלו), אז תותב ההברגה מתרומם כנגד כוח הקפיץ.

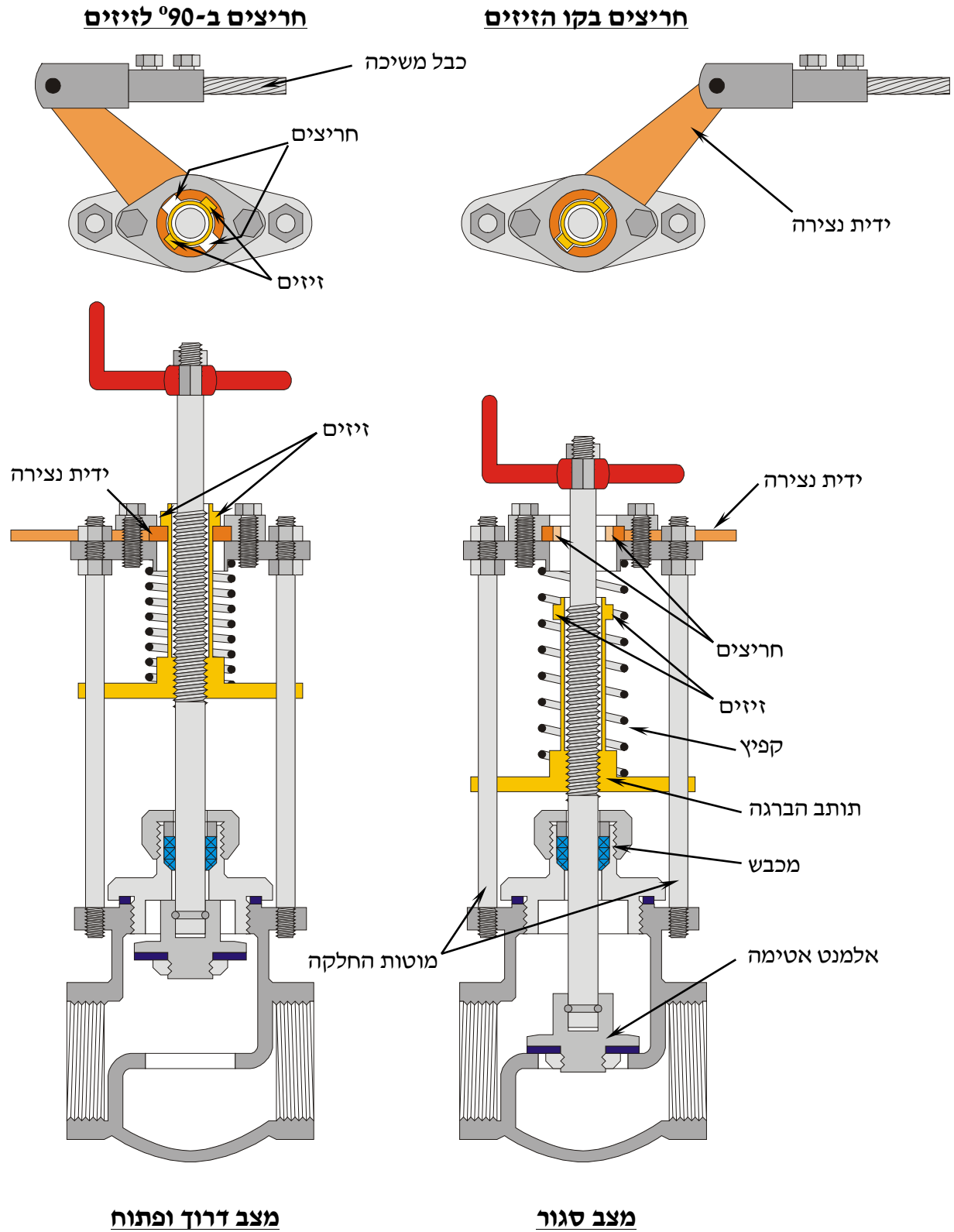
בקצה העליון של תותב ההברגה ישנם שני זיזים שמאפשרים לנצור את התותב במצב עליון. ידית הנצירה יכולה להסתובב בקשת של 90° ~ מסביב לכוש. בידידת ישנם שני חריצים שמאפשרים מעבר אנכי של הזיזים דרך הידית, כל עוד הידית מסובבת כך שהחריצים הם בקו של הזיזים. לכן בזמן הדריכה של הקפיץ צריך לוודא שידית הנצירה מאפשרת לזיזים להתרומם מעליה, אחרת הזיזים נתקעים בצד התחתון של הידית ולא ניתן לנצור את השסתום. לאחר שהזיזים התרוממו מעל לידית, מסובבים את הידית כך שהחריצים כבר לא מול הזיזים, ומסובבים את הכוש לכיוון פתיחה ע"מ לנצור את השסתום. התותב יורד מעט עד שהזיזים נתפסים מעל הידית, ואז הכוש מתחיל להתרומם ופותח את השסתום, ראה את השרטוט של המצב הפתוח. במצב נצור ניתן לפתוח ולסגור את השסתום ע"י סיבוב הכוש.

כאשר מושכים את הידית בסיפון, הכבל שמחובר אליה מסובב את ידית הנצירה כך שהחריצים נמצאים מול הזיזים, והתותב משתחרר ונע כלפי מטה בכוח הקפיץ. לא משנה מהו מצב ההברגה שבין הכוש לתותב (פתוח/סגור), מפני שלתותב יש מספיק טווח תנועה ע"מ לסגור את השסתום במלואו.

רוב חלקי המתכת של השסתום עשויים מברונזה, למעט מוטות ההחלקה שעשויים מפל"ב, והקפיץ שעשוי מפלדה. אלמנט האטימה עשוי משני חלקים מתברגים שלוכדים ביניהם דיסקת גומי לאטימה. לבית השסתום יש מכסה מתברג שמאפשר גישה לאלמנט האטימה. הכוש נאטם בחבל חלב ומכבש רגילים שיושבים במכסה בית השסתום.

ידית המשיכה על הסיפון יושבת בבית שמחובר לסיפון בברגים. הבית אטום כלפי הסיפון עם אטם גומי, ויש O-ring שאוטם בין הציר של ידית המשיכה לבית. בתחתית הציר יש קדח אורכי שלתוכו מושחל כבל המשיכה. הכבל מהודק בשני ברגים לידית. הקצה שני של הכבל מחובר לידית הנצירה של שסתום הסגירה המהירה באופן דומה.

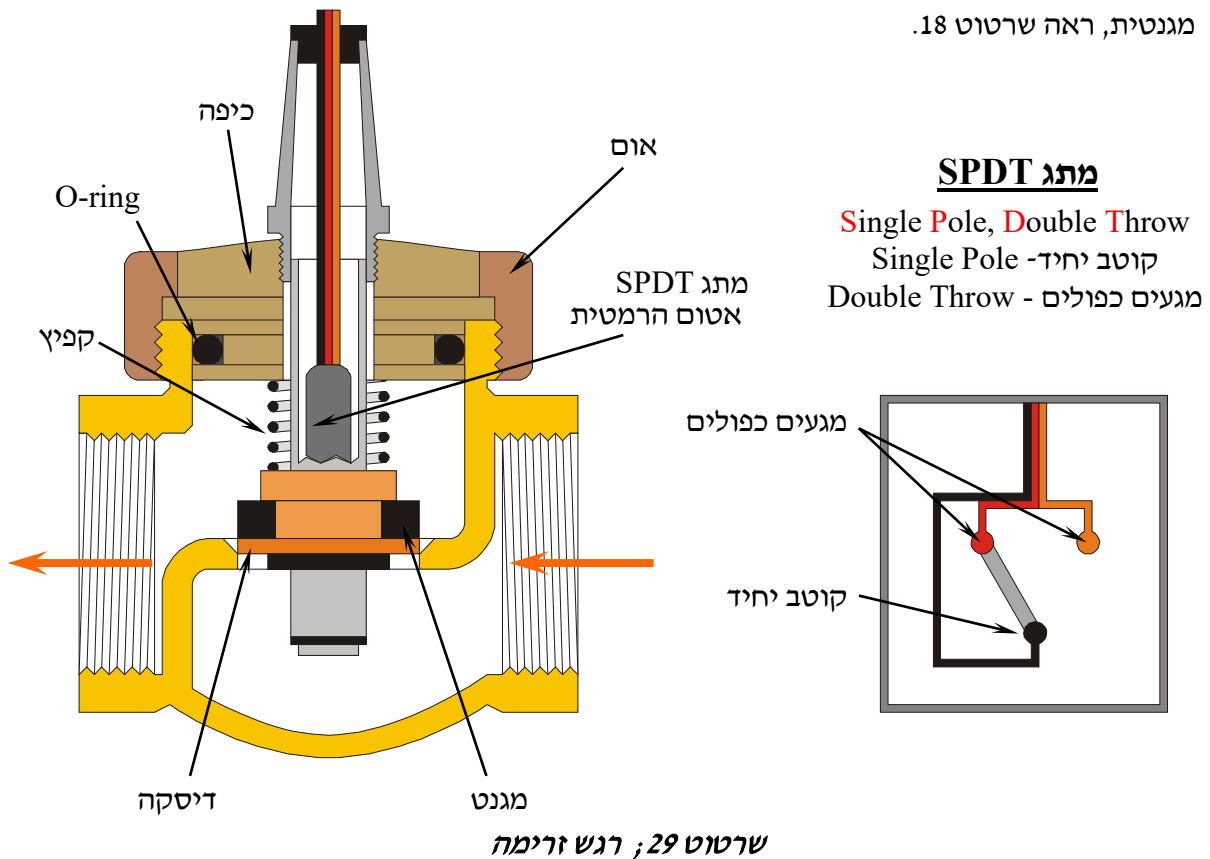
כבל המשיכה הוא כבל פל"ב שזור שרץ בתוך סליל פלדה מצופה פלסטיק (בדומה לכבל מעצורים של אופניים, רק יותר גדול). אמנם כבל הפל"ב לא מחליד, אך סליל הפלדה שבתוכו הוא מושחל מחליד בקלות, ולכן חשוב לבדוק את המערכת ולבצע את טיפולי האחזקה בקפדנות. כבל תקוע שמונע את סגירת השסתום יכול להוביל לאסון בזמן שריפה. בקצוות של סליל הפלדה יש תותבי הברגה שמחברים את הסליל לגוף הספינה, ובעזרתם ניתן לכוון את המתח הראשוני בכבל. כמו כן, ע"מ להפחית את החיכוך, רצוי שהסליל ירוץ בקו כמה שיותר ישר, ללא כיפופים חדים, ועדיף גם לקבע את הסליל לגוף הספינה במספר מקומות לאורכו.



שרטוט 28; שסתום סגירה מהירה

6.4.7 רגש זרימה

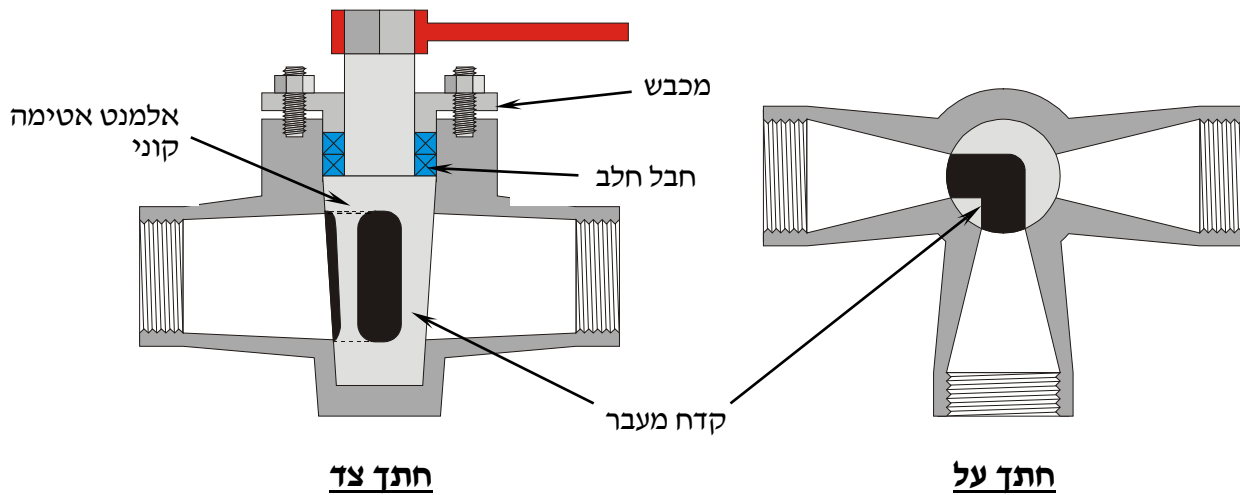
רגש הזרימה מבוסס על אלמנט אטימה שמתרומם כנגד קפיץ כתוצאה מזרימת הנוזל דרך השסתום. אל האלמנט צמוד מגנט והם מחליקים ביחד על צינור שמכיל מתג SPDT אטום הרמטית שמופעל מגנטית, ראה שרטוט 18.



גוף השסתום, הכיפה, האום ודיסקת האטימה עשויים מברונזה, והקפיץ מפלבי"ם 316. האום מהדקת את הכיפה כלפי הבית, ובין הכיפה לבית יש O-ring לאטימה. השסתום מגיע מכויל מהיצרן (Gems FS-200 No. 27087) לספיקה של 5 גלון לדקה, שהם בערך 1 ממ"ק/שעה. חשוב לציין שהשסתום צריך להיות מותקן כאשר כיוון הזרימה אופקי והחיבור החשמלי נמצא למעלה. כמו כן יש להקפיד על כיוון זרימת הדלק (החיבורים מסומנים ב-IN ו-OUT).

6.4.8 שסתום L, T

שסתומי T ו-L של מערכת דלק הם שסתומי קוק עם אלמנט אטימה קוני. שרטוט 19 מתאר חתך צד וחתך על של שסתום L טיפוסי. האטימה בין האלמנט לגוף השסתום היא אטימת שטח שמשופרת עקב המבנה הקוני. קדח המעבר בקונוס הוא בצורת L או T, בהתאם לסוג השסתום. הכוש הוא חלק אינטגרלי מאלמנט האטימה, והוא נאטם בחבל חלב ומכבש שמהודק בשני ברגים.



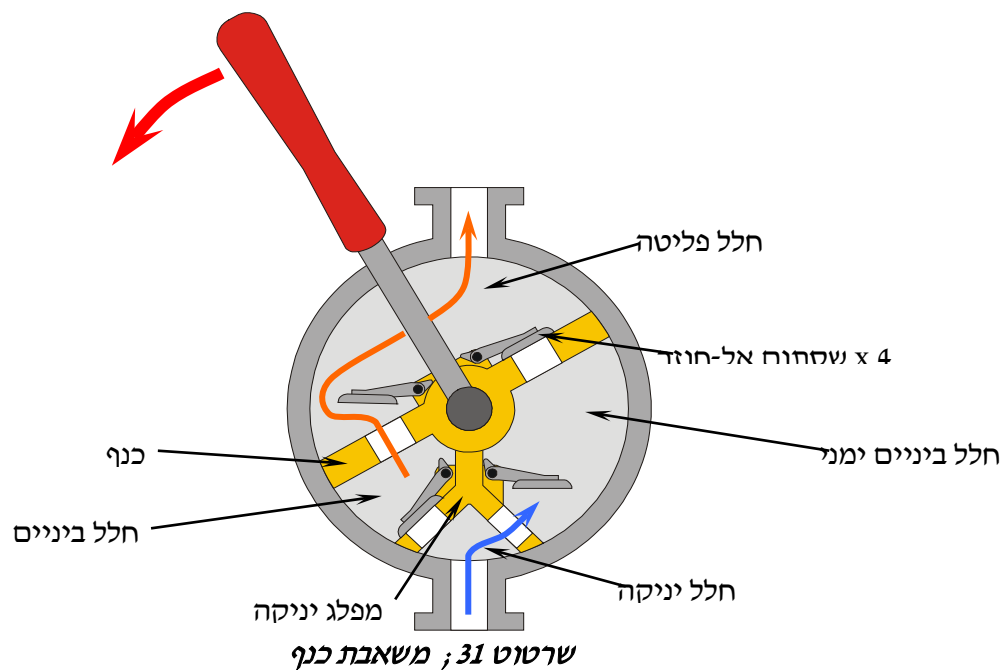
שרטוט 2; שסתום L טיפסי

6.4.9 משאבת כנף

משאבות כנף משמשות למספר תפקידים במערכת דלק:

- 1 x משאבת העברת דלק ידנית
- 2 x משאבת ניקוז מיכלים
- 3 x משאבת מילוי מיכל דלק חירום לגנרטור

שרטוט 20 מתאר חתך של משאבת כנף בפעולה. גוף המשאבה מחולק לארבעה חללים (חלל יניקה, שני חללי ביניים וחלל פליטה) ע"י מפלג יניקה ונכף שמתנדנדת על ציר המשאבה. הכנף יכולה לזוז בקשת של 45° לכל צד, והיא מונעת ע"י ידית שמחוברת לציר.

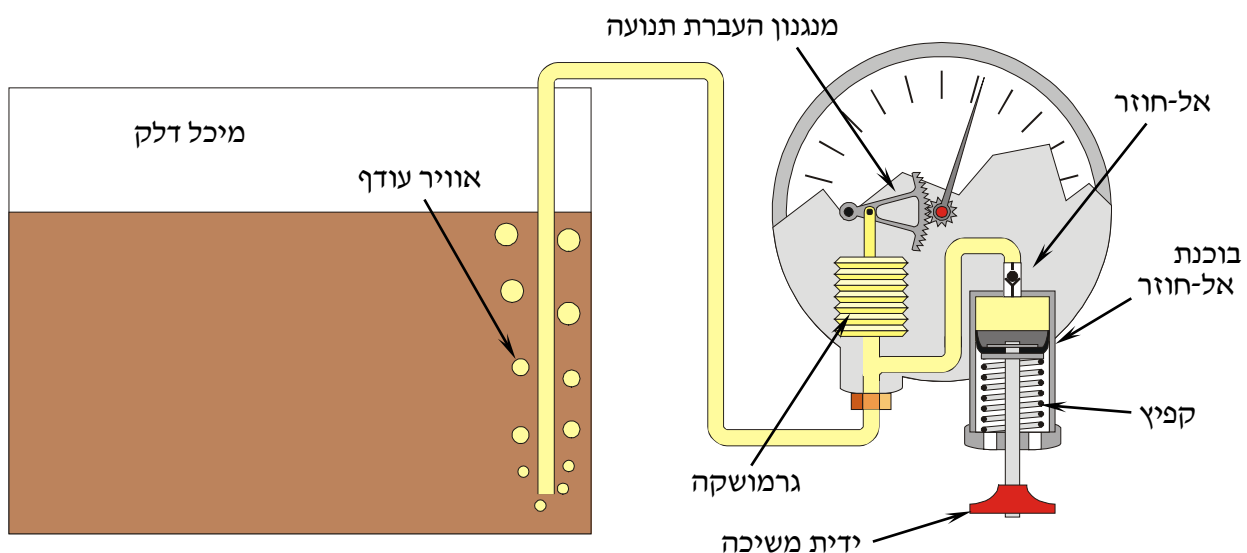


חלל היניקה והפליטה נשארים בנפח קבוע, ואילו חללי הביניים משנים את נפחם בהתאם לתנועת הכנף. החללים מקושרים ע"י ארבעה שסתומים אל-חוזרים, שניים על מפלג היניקה ושניים על הכנף. נניח שהידית נעה שמאלה, כפי שמתואר בשרטוט. חלל הביניים הימני גדל והשמאלי קטן.

עקב הגדלת הנפח בחלל הביניים הימני, הנוזל עובר דרך שסתום האל-חוזר (הימני על מפלג היניקה) מחלל היניקה וממלא את החלל הימני. במקביל החלל השמאלי קטן, והנוזל שהיה בו עובר לחלל הפליטה דרך שסתום האל-חוזר השמאלי שעל הכנף. בגמר התנועה שמאלה, מניעים את הידית ימינה ותהליך השאיבה חוזר על עצמו בתמונת ראי, כך שלמשאבה פעולת שאיבה כפולה. גוף המשאבה בד"כ עשוי מיציקת ברזל, ואילו המכלולים הפנימיים עשויים מברונזה. לגוף המשאבה מכסה עם אטם קלינגריט שמאפשר גישה לחלקים הפנימיים, והציר אטום בחבל חלב ומכבש. הציר עשוי מפלדה, והוא ממוסב בקסוות ברונזה שישובות בגוף המשאבה. בקצה החיצוני של הציר יש הברגה וחתך מרובע לחיבור הידית. הכנף מחוברת לציר בשגם.

6.4.10 פנאומוקטור

הפנאומוקטור הוא מכשיר למדידת כמות הדלק במיכלים הנמוכים (כולם חוץ ממיכלים 1 ו-2) אשר מתבסס על הלחץ של גובה עומד הנוזל במיכל. בפנאומוקטור יש משאבת בוכנה ידנית שמזרימה אוויר לצינורית שמגיעה לתחתית המיכל, ובמקביל מד לחץ שמודד את לחץ האוויר בפליטת המשאבה. הלחץ תלוי בספיקת הדחיסה של המשאבה, בהפסדי הזרימה בצינורית, ובעיקר בלחץ הנגדי שגובה עומד הנוזל יוצר בקצה הצינורית. מד הלחץ מכיל לכל מיכל כך שגובה הנוזל מתורגם ישירות לליטרים של סולר. שרטוט 21 מתאר מבנה סכמטי של פנאומוקטור.



שרטוט 32 ; עקרון פעולה פנאומוקטור

בפנאומוקטור מורכבת משאבת בוכנה עם קפיץ. בהיקף הבוכנה יש שפה מגומי אשר גורמת לבוכנה להתנהג כשסתום אל-חוזר. כאשר מושכים את הידית למטה כנגד הקפיץ, אוויר מתחת לבוכנה עוקף את הבוכנה וממלא את החלל מעל הבוכנה. בפליטת המשאבה מותקן אל-חוזר שמונע שאיבה מהצינורית שהולכת למיכל בשלב משיכת הידית. כאשר משחררים את הידית הבוכנה מתרוממת בכוח הקפיץ. בגלל מבנה השפה של הבוכנה, אוויר לא יכול לברוח בין הבוכנה לדפנות הצילינדר, ולכן האוויר נדחס כשהיא מתרוממת. הדחיסה בכוח הקפיץ נועדה לתת קצב ולחץ דחיסה קבועים שאינן תלויים במפעיל.

לאחר משאבת הבוכנה יש פיצול למד הלחץ. מכיוון שדרושה רגישות גבוהה ע"מ להבחין בהפרשי גובה נוזל קטנים (1 אטמ' היא בערך גובה עומד של 12 מטר סולר), מד הלחץ מבוסס על גרמושקה שמתנפחת. הקצה החופשי של הגרמושקה מחובר למנגנון שמעביר את התנועה למחוג. במזמן שיפוף מכיילים את המחוג בבדיקה מול צינוריות U מלאות סולר עם שנתות שמתאימות לכל אחד מהמיכלים השונים בספינה. חשוב לזכור שהכיוול תלוי בצפיפות הסגולית של הנוזל אותו רוצים למדוד.

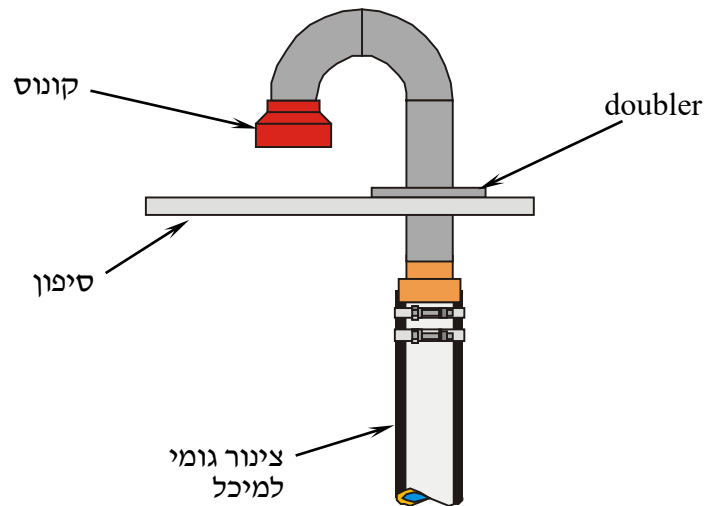
האוויר שהמשאבה דוחסת זורם בצינורית דקה שמגיעה לתחתית המיכל. ברגע שהמשאבה מילאה את כל הקו באוויר ודחקה את הסולר שיש בחלק התחתון של הצינורית, אז הלחץ מתייצב, ושאר האוויר הנדחס יוצא מקצה הצינורית ומבעבע בחופשיות במיכל. כפי שנאמר בהתחלה, הלחץ שהפנאומוקטור ימדוד תלוי בשלושה גורמים:

- הלחץ הנגדי שגובה פני הנוזל יוצר בקצה הצינורית
- ספינת הדחיסה של המשאבה
- התנגדות הצינור לזרימת אוויר

דיוק ואמינות המדידה תלויה במזעור השפעת שני הגורמים האחרונים. לכן הדחיסה מבוצעת בכוח קפיץ ע"מ לקבל ספינת דחיסה אחידה בכל הפעלה. דחיסה בספינה נמוכה דואגת להפחתת התנגדות הזרימה. אם זאת הפנאומוקטור עדיין סובל מחוסר דיוק, וזאת משום שהצינורית במובילה למיכל היא פגיעה, וכל כיפוף חד מידי, סתימה, לכלוך בקצה הטבול במיכל, או מעיכה כתוצאה ממכה, מגדילה את התנגדות הזרימה באופן משמעותי וגורמת למדידה שגויה. כמו כן, בלאי בקפיץ או בשפה האוטמת של בוכנת המשאבה פוגע באחידות הדחיסה, ומכניס אי-דיוקים נוספים. לכן מומלץ לא להסתמך על מכשיר זה לקביעת כמות הדלק במיכלים.

6.4.11 אווררים

כמו כל החללים הסגורים בספינה, גם מיכלי הדלק מאווררים לאטמוספירה. כפי שהוסבר, לכל מיכל יש לפחות אוורר אחד על הסיפון. קוטר וכמות האווררים של מיכל מחושבים בהתאם לסכום הספיקות של הדלק שנכנס/יוצא מהמיכל לפי כמות החיבורים שיש למיכל. הספיקה של האוורר צריכה להתאים לזרימת דלק דרכו ולא דווקא אוויר, שכן ההתנגדות לזרימה של דלק היא הרבה יותר גבוהה. תחשבו על מצב של תדלוק מהרצוף בלחץ 3 אטמ' ובספיקה של 40 קוב/שעה, וכתוצאה מטעות הפעלה המיכל מתמלא עד הסוף ועודפי הדלק מתחלים לצאת מהאוורר. עם הוא היה קטן מידי, אז היה נבנה לחץ גבוה במיכל שהיה עלול לגרום לנזק מבני חמור לספינה. למיכלים היומיים יש אווררים בקוטר גדול יותר מאשר למיכלי השקיעה, וזאת מכיוון שמלבד אפשריות ההעברה/מלוי/ריקון בעזרת הסעפת שיש למיכלי השקיעה, המיכלים היומיים מספקים גם את תצרוכת הדלק של המנועים והגנרטורים. שרטוט 22 מתאר אוורר טיפוסי של מיכל נמוך.



שרטוט 33 ; אוור של מיכל דלק

עבור המכלים הנמוכים, האוורר על הסיפון מחובר למיכל בצינור גומי גמיש. מיכלים יומיים 1 ו-2 מגיעים עד הסיפון, ולכן האוורר יוצא ישר מהסיפון. האוורר עשוי מצינורית פלדה מרותכים, והצינור האנכי שחודר את הסיפון מחוזק בטבעת doubler, שהיא בעצם הכפלה שמרותרת על הסיפון ולצינור. בקצה הצינור מחובר בברגים קונוס שבתחתיתו מרותכת רשת פלבי"ם עדינה. תפקיד הרשת למנוע מגיצים ולהבות להיכנס למיכל דרך האוורר. כזכור, ישנם אווררים לאורך שני דפנות הסיפון בקרבה לרשף של טילים שמשוגרים. תפקיד הקונוס הוא להגדיל את שטח החתך על חשבון הרשת שמקטינה את החתך האפקטיבי.