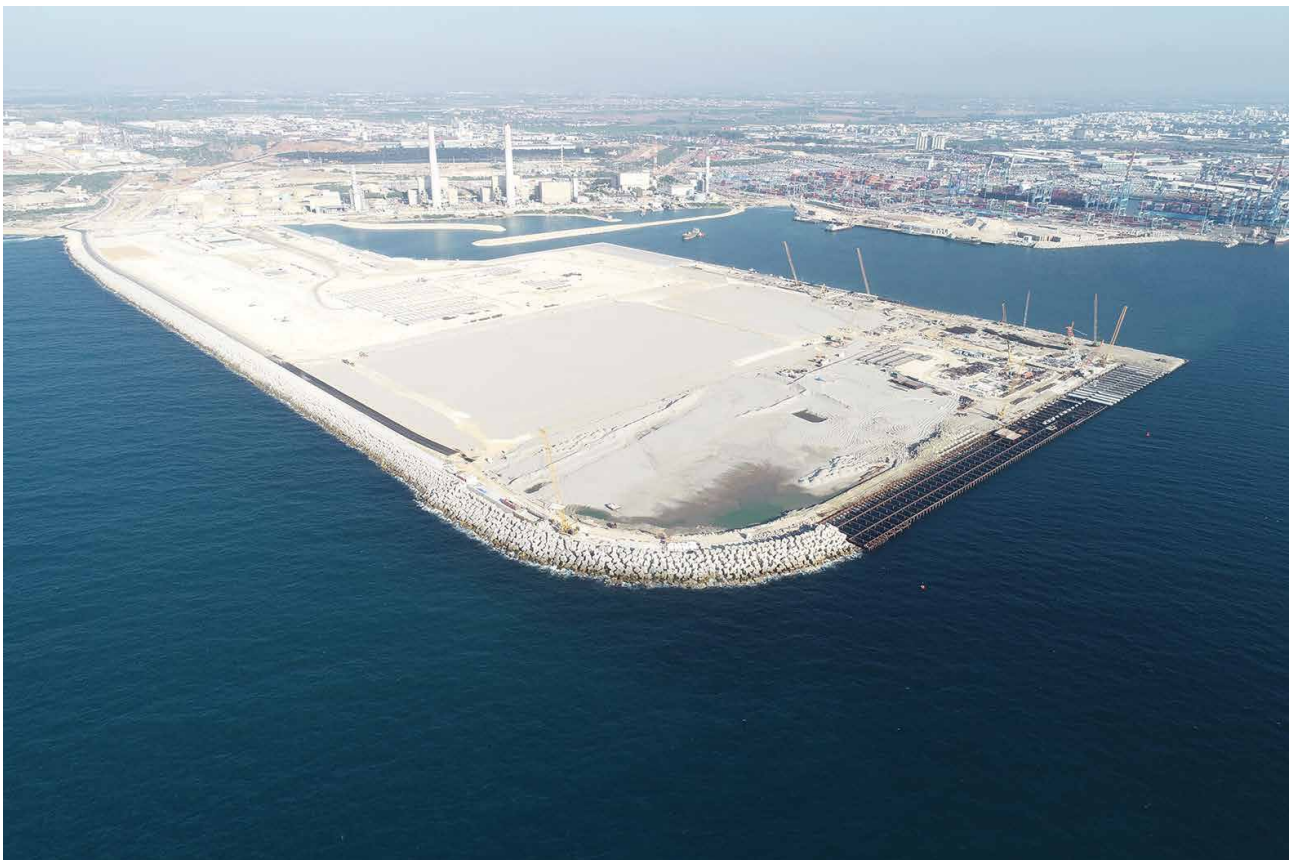


התמודדות הנדסית עם אתגרי בנייה בים פתוח - מגה פרויקט נמל הדרום, אשדוד

בנייתו של שובר גלים במים עמוקים בים פתוח הוא מבצע הנדסי גדול ומורכב המצריך תכנון מדויק לצד ביצוע קפדני. הכתבה הבאה מתמקדת בעבודות שבוצעו בקרקע בתוואי שובר הגלים הראשי שנבנה בנמל הדרום החדש, בתכנון רציף 28 על חלופותיו, ובאתגרי ביצועו של הרציף בים הפתוח תוך התמודדות עם איתני הטבע, כשעיקר העבודה מתבצעת מתחת למים

אינג' נעה אורן*



תרשים 17 - נמל הדרום - תנוחה כללית אוגוסט 2019

רקע

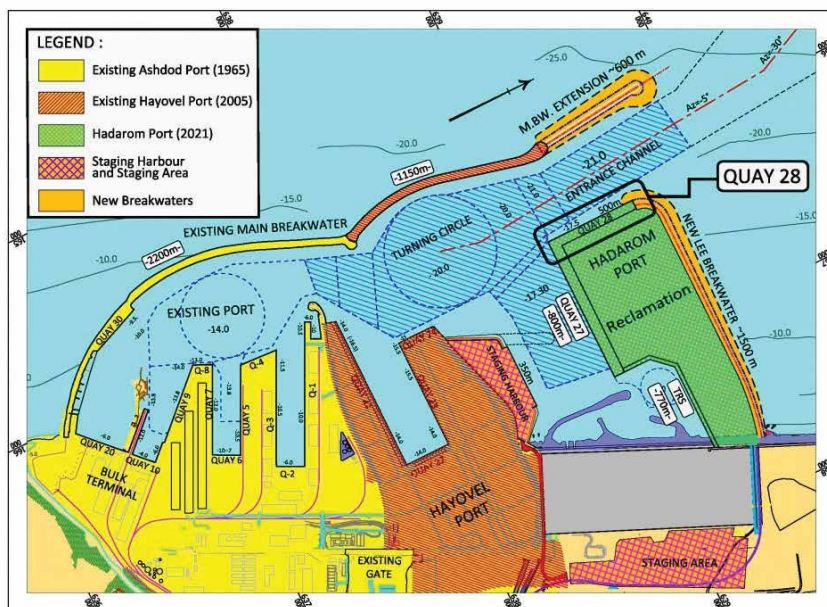
חברת נמלי ישראל פיתוח ונכסים בע"מ (חנ"י) מקימה, מפתחת ומשכללת את נמלי הים המסחריים בחיפה, באשדוד ובאילת ומופקדת על הקמת הנמלים החדשים לתועלת המשק ולקידום כלכלת ישראל. נמלי הים הם שער המסחר העיקרי של מדינת ישראל והם משנעים כ- 99%

ממטעני הסחר הישראלי, אשר צומח בעקביות. הקמת נמל הדרום באשדוד ונמל המפרץ בחיפה הנבנים בימים אלו במקביל, בהשקעה אדירה של מיליארדי ש"ח, נועדו לתת מענה לצורכי המשק בראיית הדורות באים.

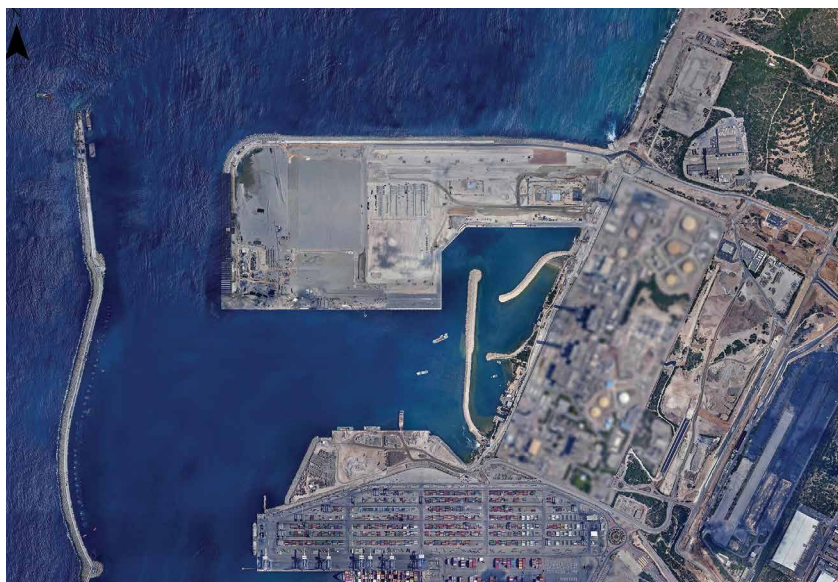
פרויקט נמל המפרץ, בהשקעה של 4 מיליארד ש"ח, מבוצע ע"י חברות ישראליות,

שותפות 'אשטרום-שפיר' הקמת נמל חדש בע"מ, ומנוהל ע"י דניאלה אוסטרובסקי ראש אגף תכנון מבנים ימיים במינהלת פיתוח הנמלים החדשים של חברת נמלי ישראל.

פרויקט נמל הדרום, בהשקעה בהיקף של כ- 4 מיליארד ש"ח, מבוצע ע"י Pan Mediterranean Engineering Company



תרשים 1 - נמל הדרום - תנוחה



תרשים 2 - נמל הדרום - תנוחה עדכנית יולי 2019 (צילום: מדבא)



תרשים 3 - סופר פלטפורמה להחדרת חצץ לקרקעית הים

Ltd. מסין. הפרויקט מנוהל ע"י בני שירזי, ראש אגף ביצוע במינהלת פיתוח הנמלים החדשים של חברת נמלי ישראל. שני המיזמים מבוצעים עבור חברת נמלי ישראל - פיתוח ונכסים בע"מ (חנ"י) ותוכננו ע"י חברת התכנון HPA Engineers P.C. מארה"ב.

חברת הניהול הינה אר.אדיר הקמות בע"מ. אניות גדולות חדשות נכנסות לשירות בקווי הסחר העולמיים ואניות ענק נמצאות בשלבי ייצור. אניות אלה אינן יכולות לפקוד כיום את נמלי הים של ישראל. הקמת הנמלים החדשים תאפשר את פקידתן בנמלינו ותייתר פריקת מטענים לישראל בנמלים אחרים באזור. מערכת נמלים מודרנית בישראל חיונית לצמיחת המשק ולסחר הישראלי - פיתוחה הוא יעד אסטרטגי לכלכלת ישראל, השואפת להגדיל את השתתפותה בסחר העולמי והאזורי, ואשר יכולה גם להפוך מתחנת סחר סופית לצומת סחר, תובלה ימית ולוגיסטיקה מרכזי באזורנו.

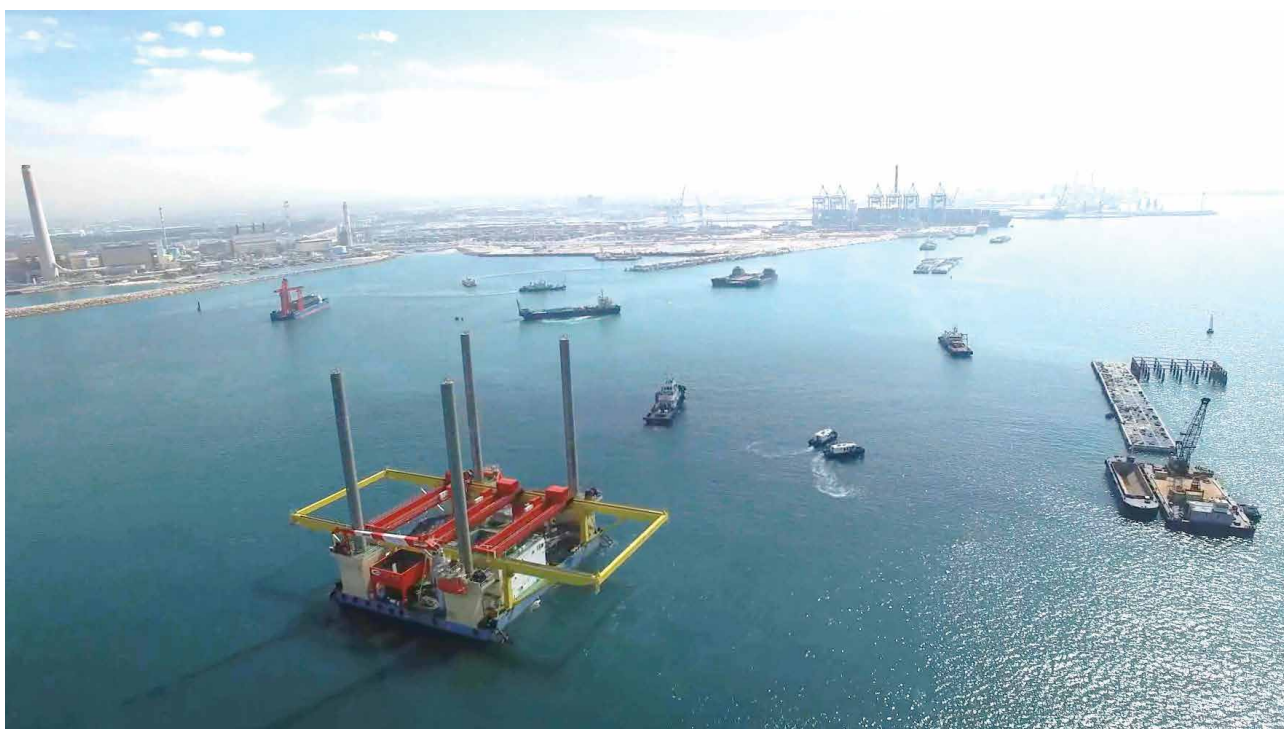
הקמתם של הנמלים החדשים באשדוד ובחיפה אושרה ע"י ממשלת ישראל, שאף אימצה את המלצת הוועדה להורדת יוקר המחיה (ועדת טרכטנברג) בדבר קידום הרפורמה בנמלים באמצעות הקמת נמלים מתחרים ויצירת התחרות החיונית כל כך בענף הנמלים ובמרחב של כל נמל. עם הפעלת הנמלים החדשים יוכלו היצואנים והיבואנים לבחור היכן לקבל את השירות. תחרות זו תוביל להתייעלות ולשיפור השירות וממנה ייחנה הציבור כולו.

מינהלת פיתוח הנמלים החדשים, שהופקדה על בנייתם של שני מיזמי תשתית מן החשובים והגדולים במשק - נמל הדרום באשדוד ונמל המפרץ בחיפה - הוקמה ע"י חברת נמלי ישראל עוד בשנת 2008 במסגרת היערכותה המוקדמת למיזם חשוב זה.

נמל הדרום החדש, אשדוד

נמל הדרום באשדוד - מיזם תשתית מן החשובים למשק, יצא לביצוע בסוף שנת 2014, לאחר חמש שנות תכנון. הפעלתו צפויה במהלך שנת 2021 ועמה כאמור, תתווסף תשתית חיונית לסחר הישראלי, תחל תחרות בענף הנמלים ועמה התייעלות ושיפור השירות ליצואנים, ליבואנים, לתעשיינים ולספנות.

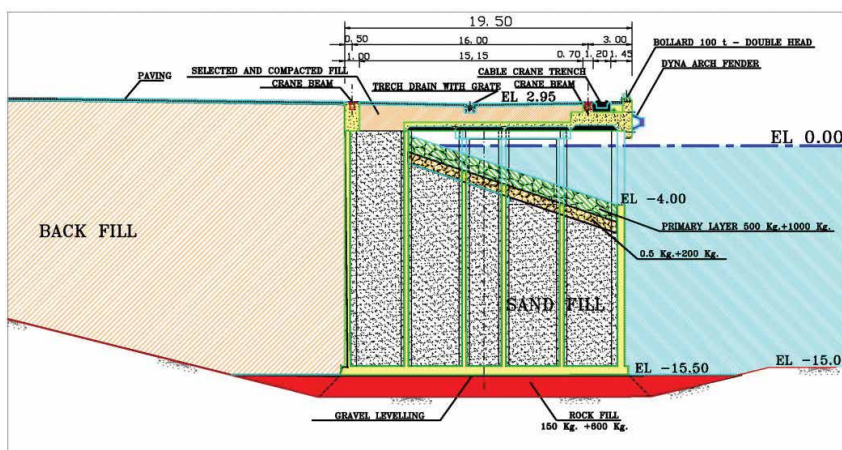
מיזם תשתית עתיר השקעה זה ישמש מנוע צמיחה חדש לעיר אשדוד, ליישובים סביבה



תרשים 4 - סופר פלטפורמה - 3 מנופים מחדירים חצץ בז זמנית



תרשים 5 - סופר פלטפורמה - פתח במרכז הדבורה לעילות מקסימלית



תרשים 6 - חלופה ראשונה - קייסון חצי פתוח בדומה לרציף 24 הקיים

ולאזור הדרום. סביב נמל הדרום יתמקמו מרכזים לוגיסטיים בפארקי תעשייה מודרניים והוא יתרום ליצירת מקומות תעסוקה רבים באזור. הנמל החדש מתוכנן להגדיל את קיבולת נמלי הים של ישראל ויאפשר את פקידתן של אניות הענק החדשות והידידותיות לסביבה. המטענים המיועדים לישראל המצויים באניות אלה נפרקים כיום בנמלים אחרים באזור, שכבר ערוכים להן, ומשם הם משונעים ארצה באניות קטנות המכונות אניות הזנה, הליך המייקר את שינוע הסחורות. נמל הדרום יבטיח את מזעור תלותה של ישראל בנמלים זרים באזור, הודות לקווי הספנות העיקריים שיפקדו את נמל הדרום, הייצוא הישראלי יגיע במהירות ללקוחות חדשים ולשווקים באסיה, באירופה ובארצות הברית. קווי הספנות יביאו את תוצרת ישראל למדינות שונות ומגוון של מוצרים מכל רחבי העולם יגיע במהירות לכל בית בישראל.

פרויקט נמל הדרום כולל את המבנים הבאים (המוצגים בתרשים 1):

- נמל עבודה הכולל 350 מ' רציף עם עומק מים של 8 מ', שובר גלים ושטח מילוי עורפי של 90 דונם.
- 600 מ' הארכת שובר גלים ראשי בעומק מים של 25 מ'.



350 דונם שטחי התארגנות הוקצו לקבלן. ההתמודדות ההנדסית עם אתגרי הבנייה בים פתוח קשה בעיקר בחודשי החורף, מנובמבר עד פברואר, בהם מתרחשות סערות עם גלים גבוהים ותנאי ים קשים. הפרמטרים שנלקחו לתכנון הם: $H_s=8.30$, $T_p=12$ sec, m

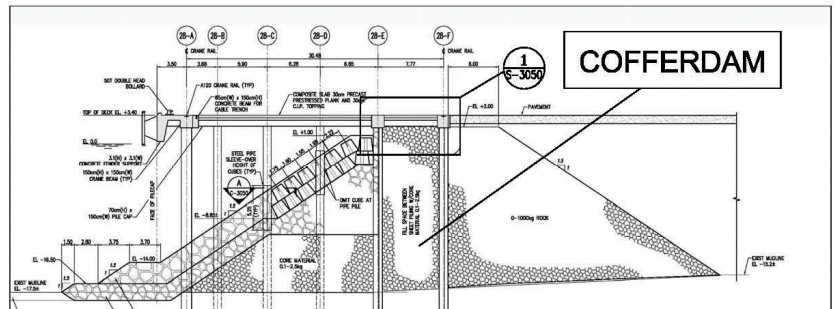
רציף 28 הינו רציף פתוח שתוכנן לאניה של 4,000 מכולות (אורך = 270 מ', רוחב = 32.2 מ', שוקע = 12 מ').

בניית שובר גלים במים עמוקים בים פתוח מהווה אתגר הנדסי גדול ומורכב. על אחת כמה וכמה לאור ממצאי חקר הקרקע שבוצע, שהראו שכבות של חול דק מאוד (אבקה) תחת שובר הגלים הראשי. על מנת להבטיח את יציבות שובר הגלים, ממצא זה חייב טיפול בקרקע על ידי החדרת עמודות חצץ לקרקעית הים באזור המיועד לבניית שובר הגלים. הטיפול בקרקע הביא לדחיית התחלת עבודות בניית שובר הגלים הראשי לשלב מאוחר יותר בפרויקט.

בזמן תקופת הטיפול בקרקעית הים תחת שובר הגלים ובטרם התחלת בניית השובר, עבודות הרציפים ועבודות המילוי היו צפויות להיות חשופות לים הפתוח. במטרה להגן על עבודות ההקמה הללו, נדרש פתרון להגנה זמנית מפני הגלים. רציף 28 הפך לבעל תפקיד מרכזי וקריטי בהגנה הזמנית מפני גלי הים.

הליך התכנון והטיפול בקרקע לייצוב שובר הגלים

במהלך סקר הקרקע והקידוחים שבוצעו באזור שובר הגלים בזמן התכנון, נתגלה כי



תרשים 7 - חלופה שניה - תנוחה, חתך ופרטים למבנה הפלדה הסגור (Cofferdam)

- 1500 מ' שובר גלים משני בעומק מים של 17 מ'.
- 810 מ' קיר תומך מפלדה (TRS) בעומק מים של 17.3 מ'.
- 800 מ' רציף מכולות ראשי (רציף 27) בעומק מים של 17.3 מ' לאניות EEE (18,000 מכולות, אורך = 400 מ', רוחב = 59 מ', שוקע = 16 מ').
- 500 מ' רציף מכולות משני (רציף 28) בעומק מים של 17.3 מ'.
- 9 מיליון מ"ק חפירת חול ומילוי שטח של 640 דונם.
- לביצוע המבנים הללו נדרשו 34,300 יח' של קוביות בטון (אנטיפרים) בגדלים של 4 מ"ק, 7 מ"ק, 16 מ"ק ו-5.8 מיליון טון סלעים בגדלים (0-1) טון ליח', (1-3) טון ליח', (3-6) טון ליח'.

תרשים 8 - מפעל צף ליציקת קיסונים



עגם בונה איתך את העתיד בתיכון, עוצמה ואיכות



תשליבת ספיעלי עגם עם למעלה מ-45 שנות נסיון מהווה חוד החנית
ועסוד השדרה לפתרונות בניית בתי המסורים, מנהרות, כשרים ותעשיות במחוצות.
סערכת התבניות המתועשות של עגם הופכת את החזקן של היום
כשילוב עם התכנון האדריכלי למציאות איכותית ומדהימת, במהירות וביעילות.

agamnt@agammial.co.il

החרושת 4, סעלות טל' 04-9078102/3

www.agam.co.il

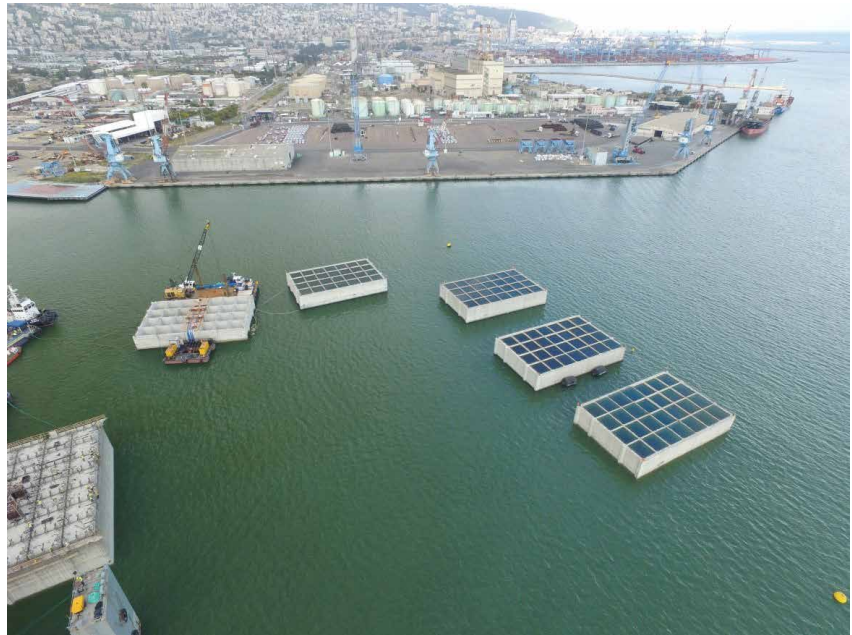
לדוברת 4 עוגנים במשקל 8 טונות כל אחד וכן 2 סירות שירות/גוררות המיועדות לסייע אף הן בעת תמרון הדוברת. הליך התכנון של הנמל כלל מודלים נומריים (ממוחשבים), מודלים פיזיקליים במעבדות: מודל יציבות דו-ממדי בתעלת גלים ומודלים ליציבות ולאגטיציה תלת ממדיים בבריכת גלים, סימולציות לניווט אניות לתוך הנמל. התכנון הועבר לחברת WTM Engineers בגרמניה לחוות דעת שנייה.

תכנון רציף 28 על חלופותיו ואתגרי הביצוע בים פתוח

רציף 28 תוכנן לגלגל של 1 ל-100 שנים במצב סופי ולגלגל של 1 ל-10 שנים בזמן הביצוע. תכנון רציף 28 עבר כמה אבולוציות. **החלופה הראשונה** הייתה דומה לתכנון רציף 24 הקיים, שממוקם בתנוחה זהה לרציף 28 וחשוף לתנאי ים דומים. הייתה זו חלופה של קייסון חצי פתוח (תרשים 6) שבתוכו מסודר שיפוע של סלעים בגדלים שונים.

חלופה זו נדחתה מהסיבות הבאות:

- חקר הקרקע גילה כי למרות המרחק הקצר בין רציף 28 לרציף 24 הקיים, תנאי הקרקע שונים לגמרי. תחת רציף 28 התגלתה שכבת חול דק מאוד (אבקה) בדומה לזו המצויה תחת שובר הגלים הראשי, דבר שלא איפשר הנחת קייסון על הקרקעית מחשש לשקיעתו, ובעקבות כך לשקיעת מסילות המנופים



תרשים 9 - אחסון קיסונים לאחר יציקתם

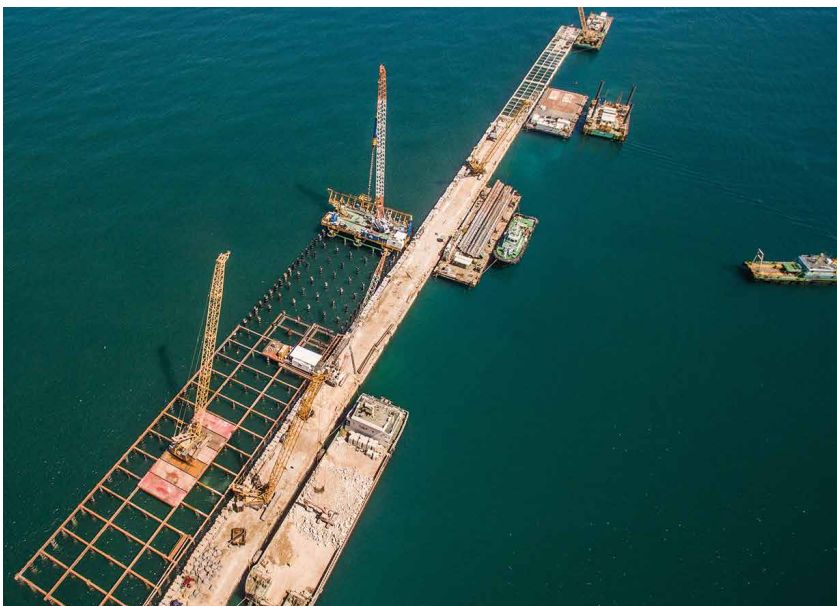
על ידי 3 מנופים (תרשים 4). על הדוברת יש שני סילוסים האוגרים חצץ בקיבולת 300 מ"ק כל אחד ומערכת מסועים ומשאבות המספקת חצץ בקצב של עד 600 מ"ק בשעה. דוברת משנה מספקת את החצץ. גודל הסופר-פלטפורמה הוא 52 מ' על 42 מ'. אורך כל רגל כ-60 מ' וקוטר 5.2 מ'. כל רגל מצוידת בארבע בוכנות המסוגלת לייצר דחף של 350 טון על מנת להרים את הדוברת, או לחלף את הרגליים מהקרקע בעת העברתה ממיקום אחד למיקום אחר.

קיימת שכבה עבה של בין 10 מ' ל-20 מ' של חול דק מאוד (אבקה). ברור היה שכדי לייצב את שובר הגלים המאסיבי שאמור להוות אלמנט כובד שסופג את אנרגיית הגלים, נדרש טיפול בקרקע. הוחלט כי יוחדרו אלפי עמודות חצץ בתוואי שובר הגלים הראשי, לעומק של 10 מ' מתחת לקרקעית הים, שהינה כ-25 מ' עומק. עמודות החצץ משמשות לטיוב קרקעית הים ותפקידן לשפר את חוזק הקרקע להתמודדות עם רעידות אדמה ולהגביר את יציבות שוברי הגלים. עבודה זו הייתה הפעולה הראשונה בשובר הגלים הראשי ולכן בוצעה בים פתוח ללא הגנה מתנאי הים הקשים.

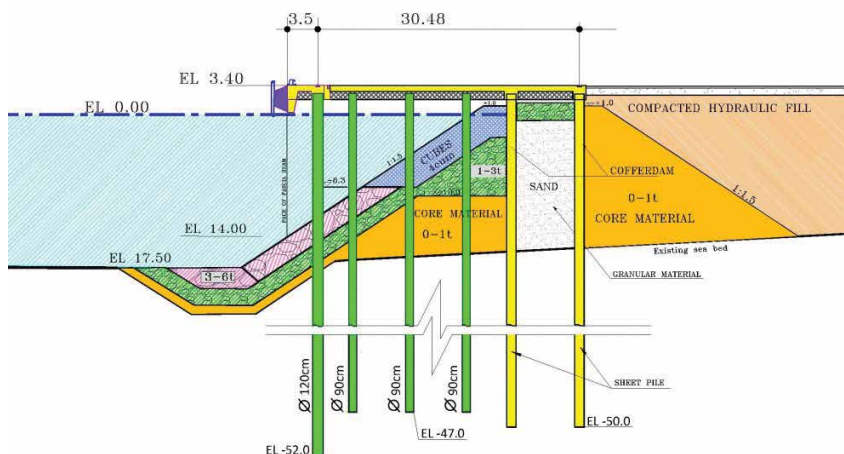
לצורך ביצוע החדרת החצץ בים פתוח במים עמוקים ייצר הקבלן המבצע סופר פלטפורמה ייחודית לפרויקט.

הסופר פלטפורמה הינה דוברת ענק מתרוממת בעלת כושר ציפה של 4,000 טונות, שהגיעה ארצה בפברואר 2016. יתרונה הגדול טמון ביכולתה להתרומם עד לגובה 15 מטרים מעל פני הים וכך היא מסוגלת לבצע את העבודה גם בתנאי ים קשים.

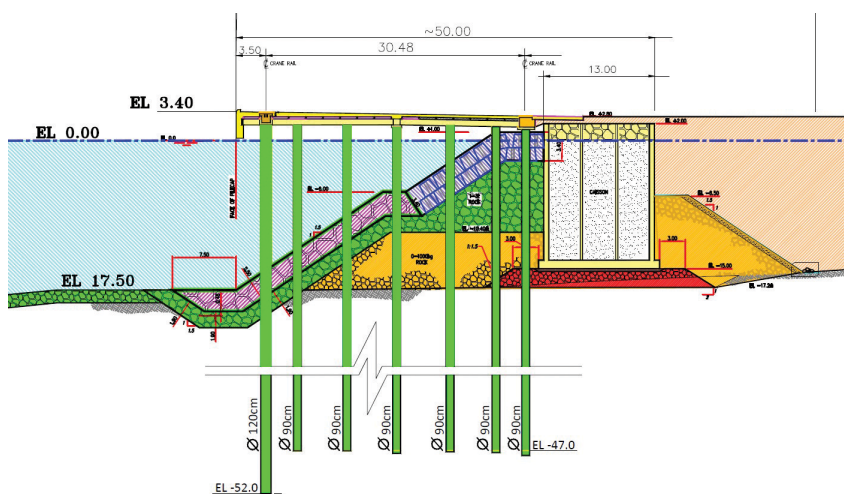
הדוברת היא מסוג POOL MOON - דוברת עם חלל פתוח במרכז (תרשים 5), שדרכו מבצעים את החדרת עמודות החצץ. בעלת שני זיזי ענק משני צדדיה, באורך 16 מטרים כל אחד, אשר על כל אחד מהם מותקן מנוף המחדיר אף הוא עמודות חצץ. סה"כ במיקום אחד מוחדר חצץ, בו זמנית,



תרשים 10 - מיקום קיסונים ליצירת רציף



תרשים 11 - חלופה שניה - מבנה פלדה סגור (Cofferdam)



תרשים 12 - חלופה שלישית, שאומצה - קייסון בחלקו האחורי של הרציף

שיותקנו על הרציף.

- רוחב שיפוע הסלעים בתוך הקייסון לא היה רחב מספיק בשביל לספוג את אנרגיית הגלים וגרם לגלים בתוך בריכת הנמל הקיים (אגיטציה). בנוסף, נוצרו לחצים גבוהים מאוד על רצפת הרציף.
- החלופה השנייה** התבססה על רציף פתוח עם עומק מים טבעי של 17 מ'. חלופה זו כללה מבנה פלדה מרובע סגור (Cofferdam) לאורך חלקו האחורי של הרציף, המורכב מקירות שיגומים באורך 53.4 מ' כל פרופיל. משקל מבנה הפלדה הסגור היה 26,000 טון. מצידו האחורי ישמש קיר תומך למילוי החול ומצידו הקדמי תמיכה לשיפוע הסלעים. מבנה הפלדה יחזק ע"י קורות פלדה אלכסוניות. לפני מבנה הפלדה יוחדו ארבע שורות של צינורות פלדה, ביניהם יסודר שיפוע של סלעים בגדלים שונים ומעליהם שתי שכבות של קוביות בטון (תרשים 7).

אין ספק שזה מבנה מסובך מאוד לבנייה בים פתוח, שהיה עלול לגרום לעיכוב משמעותי בבניית הרציף. כמובן שלא יכול היה להיבנות מהר דיו כדי לשמש הגנה זמנית בתקופה הראשונית של בניית הנמל. משום כך, חלופה זו נדחתה.

במטרה לפשט את המבנה של רציף 28, כך שיוכל להתבצע במהלך קיץ בודד ולשמש במהירות האפשרית הגנה זמנית לעבודות הקמת הנמל, הוצעה חלופת קייסונים בחלקו האחורי של הרציף במקום מבנה הפלדה הסגור.

קייסון הוא מבנה בטון ענק דמוי אניה מבטון בממדים של כ-30 מ' על כ-20 מ' ובגובה 17 מ', בעל קירות וריצפה

המחלקים אותו לתאים בדומה לכוורת. מבנה בטון זה נוצק במפעל צף במקום מוגן מגלים ותחת בקרת איכות גבוהה (תרשים 8). המבנה פועל עפ"י חוק ארכימדס (משקל

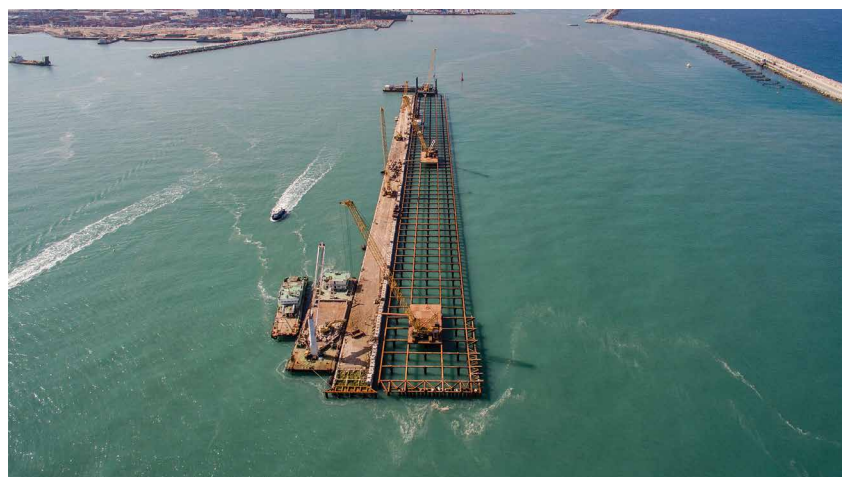
מול נפח). כאשר רוצים לשקע את המבנה, ממלאים את תאיו במים וכאשר רוצים להציפו, שואבים את המים מהתאים. ניתן לייצר כמה יחידות של קייסונים ולאחסנם כפי שניתן לראות בתרשים 9. כאשר מזג האוויר ותנאי הים מאפשרים זאת, גוררים את הקייסון כפי שגוררים אניה עד לנקודת מיקומו.

קובעים את מיקומו עפ"י GPS ומשקעים אותו ע"י מילוי תאיו במים. כאשר בטוחים כי מיקומו מדויק, ניתן למלא את תאיו בחול שדוחק החוצה את המים שמולאו קודם לכן.

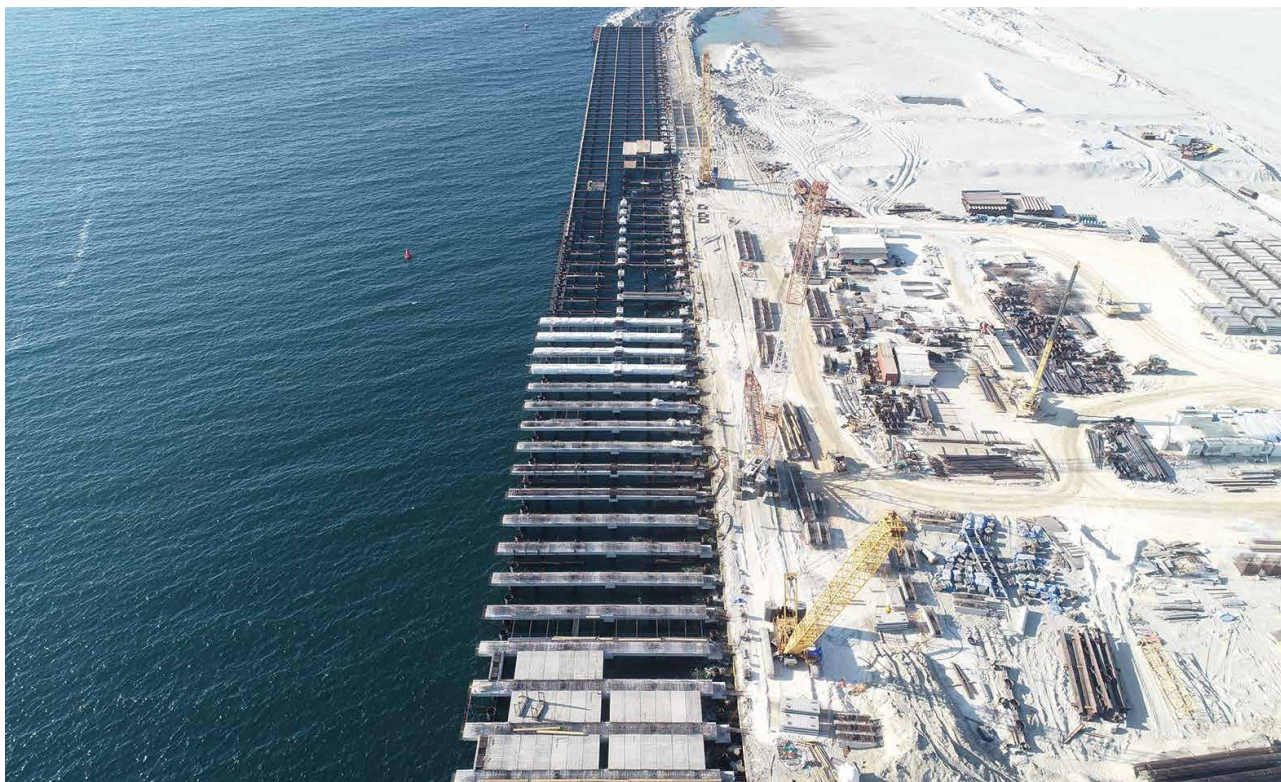
את הקייסונים מניחים אחד ליד השני ליצירת הרציף (תרשים 10).

טכנולוגיה זו היא מהירה מאוד וקלה יחסית להתמודדות בים פתוח מאחר שנדרש חלון זמנים קצר יחסית על מנת למקם קייסון על הקרקעית.

חלופה זו נתנה פתרון ללוחות הזמנים ולביצוע מהיר של ההגנה הזמנית, אך



תרשים 13 - סטטוס הקמת רציף 28 30 חודשים מצ.ה.ע (מרץ 2017)



תרשים 14 - הנחת קורות וקרומים ע"ג הצינורות ברציף 28 (יולי 2019)

אנרגיה טובה יותר וכתוצאה מכך הופחתו באופן משמעותי הגלים בתוך הנמל והופחת הלחץ על ריצפת הרציף. חלופה זו נבדקה במודל פיזיקלי דו ממדי במצב הסופי ובשלבי הביצוע.

לטובת החלופה שאומצה, נוצקו 18 יח' קייסונים מבטון במידות 24 מ' אורך, 13 מ' רוחב, 17 מ' גובה במקום מוגן בנמל הקיים. הנחת הקייסונים ברציף הסתיימה באוגוסט 2016.

עבודות החדרת צינורות הפלדה והנחת הסלעים וקוביות הבטון ביניהם הסתיימה בספטמבר 2017 (תרשים 13).

כיום אנו מניחים את הקורות הטרומיות על גבי צינורות הפלדה ועליהן את הקרומים לפני יציקת ה-topping (תרשים 14).

סטטוס הפרויקט

כיום, נמל הדרום נבנה במרץ ושטחים שהעבודה בהם הסתיימה, הועברו למפעיל (חברת HCT של חברת TIL - Terminal Investment Limited משויץ) שגם הוא משקיע ובונה תשתיות, מבנים, מנופי גשר לפריקת אניות וערוגות עם מנופים לאחסון מכולות.

עד כה נמסרו כ-450 דונם למפעיל כולל קטעי רציפים. צפויה מסירה של עוד 200

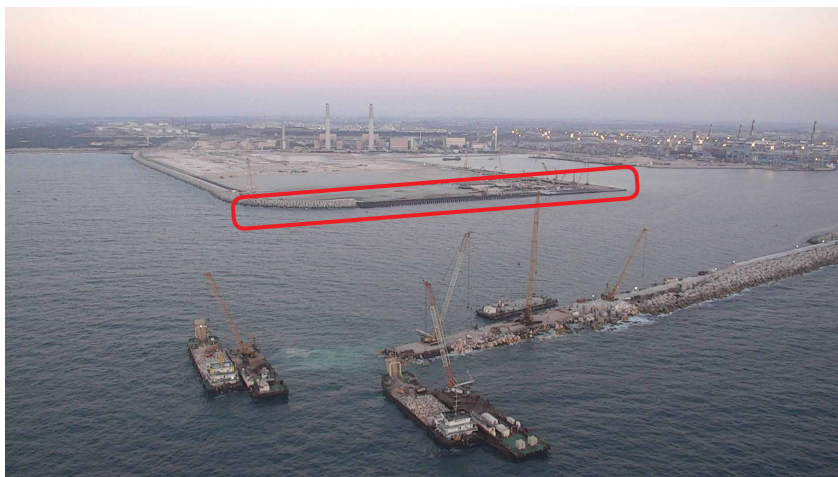
שורות של צינורות פלדה, ביניהם שיפוע של סלעים בגדלים שונים ומעליהם שתי שכבות של קוביות בטון (תרשים 12 לעומת תרשים 11).

בחלופה זו הושגו כמה מטרות:

- יציבות הרציף וביסוס מסילות המנופים, שיותקנו על הרציף, ללא שקיעות.
- הקייסונים מיוצרים ומורכבים באופן מהיר יחסית וכך יוכלו לשמש הגנה זמנית לעבודות הקמת הנמל.
- רוחב שיפוע הסלעים וקוביות הבטון תחת הרציף גדל ובכך איפשר ספיגת

לא נתנה פתרון ליציבות הרציף ולבעיית השקיעות בעקבות תנאי הקרקע הירודים. נוצר מצב כי רגל המנוף בצד הים מבוססת על צינורות פלדה ורגל המנוף בצד היבשה מבוססת על הקייסון שעלול לשקוע, דבר שלא ניתן לקבל.

האתגר התכנוני הזה נפתר על ידי הסטת הקייסון מעבר למסילות המנוף, לעבר המילוי, מקום בו ניתן לקבל שקיעות ולפצות עליהן במבנה העליון של המיסעה. **החלופה השלישית**, שאומצה, הייתה מורכבת משורת קייסונים ולפניהם שבע



תרשים 15 - הקמת שובר הגלים הראשי שיקן על רציף 28 (חסומן), יולי 2019



תרשים 16 - נמל הדרום - תנוחה כללית אוגוסט 2019



תרשים 18 - נמל הדרום - תנוחה כללית אוגוסט 2019

מטר עד סוף השנה. כמו כן, תימסר בהמשך תחנת השנאה מתח עליון. הנחת הסלעים וקוביות הבטון בשובר הגלים המשני הסתיימה. שובר הגלים הראשי מתקדם ונותרו כ-100 מ' לסיומו. פרויקט הקמת המבנים הימיים בנמל הדרום באשדוד, יסתיים מוקדם (!) מהצפי בלוחות הזמנים וללא חריגות בתקציב. סטטוס נוכחי ניתן לראות בתרשים 16, 17, 18.

צילומים לאורך הכתבה: חנ"י/רענן כהן, PMEC, אדיר הקמות

אינג' נעה אורן, בעלת תואר ראשון בהנדסה אזרחית מהטכניון בחיפה, משמשת ראש מינהלת פיתוח הנמלים החדשים בחברת נמלי ישראל פיתוח ונכסים בע"מ (חנ"י) החל מחודש יולי 2013. אורן הצטרפה לחברת נמלי ישראל בשנת 2009 ושימשה ראש אגף ביצוע במינהלת הנמלים החדשים. מאז שנת 2012 ועד למינויה כיהנה כמ"מ ראש המינהלת והובילה את השלמת התכנון ההנדסי המפורט לשני הנמלים.



חברת פיגמנטופ מייצרת ומשווקת טיח אקרילי גמיש, טיח מינרלי וטיח יחודי לחדרים רטובים.

מפעלנו ממוקם באזור התעשייה יד חנה והוא נושא תו תקן של מכון התקנים הישראלי ותו ISO.

כל החומרים המיוצרים ע"י פיגמנטופ קיבלו הערכות ושבחים הן ע"י הקבלנים והטייחים והן ע"י בעלי הבתים.

משרדי החברה, ההנהלה והעובדים ישמחו לעמוד לשרותכם, לייעץ ולתת מענה הולם לכל לקוח.



ייצור ושיווק טיח צבעוני



מכון התקנים הישראלי

אזור התעשייה יד חנה

טל: 09-8666602

נייד: 053-2235370

pigmentop@gmail.com

www.pigmentop.co.il