

גשר שנקר - 'נסתר מן העין'

מהנדס מיכה פטרי*



גשר שנקר

כחלק ממערך קווי המטרונית לטובת מעבר קו מספר 3 ממרכזית הקריות, דרך קריית חיים ומרכזית המפרץ להדר בחיפה. אתר הגשר הוא מישורי ונמצא ברום ממוצע של +7.5 מטרים מעל פני הים. דגש רב ניתן בתכנון הפרטים השונים כדי לקיים גשר בסביבה ימית לאורך כל חיי הגשר, שהוא כ-120 שנה. הקרקע מורכבת משכבות של חול, חול כורכר, כורכר וחרסית. הרכב השכבות והימצאות מיתוהום הכתיבו שימוש בביסוס עמוק אל תוך שכבות הכורכר. לאורך כל תוואי הפרויקט קיימת רצועת חומ"ס רחבה הצמודה לגשר ולקירות התמך והיא כוללת תשתיות דלק של חברת תשתיות נפט-אנרגיה המובילות דלק לבתי הזיקוק. מיקום הצנרת הכתיב פתרון של ביסוס מרכז תחת העמודים והגביל את תחום הביצוע לשטח ברחוב הגשר בלבד. מגבלה נוספת אשר היוותה גורם עיקרי שהנחה את טכנולוגיית הגישור היא נושא רצף התנועה. מסילת הברזל העוברת בקו קריות-עכו חוצה את רחוב שנקר ובהמשכו נפגש הרחוב עם רחוב בן-צבי. במהלך כל הביצוע היה הכרח לשמור את תנועת הרכבות ללא הפרעה ולאפשר נסיעה ברחוב בן-צבי העובר תחת הגשר.

תכנון הקונסטרוקציה של הגשר הופקד בידי משרד קדמור מהנדסים בע"מ. קדמור הינה חברת הנדסה אזרחית לתכנון גשרים ומבני דרך מורכבים. תחומי הפעילות העיקריים של המשרד כוללים תכנון גשרים ומבני דרך, ניהול אחזקת גשרים ומבני דרך, חיזוק ושיקום של מבנים, סקירות של גשרים ומבני דרך, הערכת תיסבולות וסיכונים, ליווי הובלות מטענים חריגים, בדיקות לעמידות בעומסי רעידות אדמה.

"גשר שנקר" בקריית חיים הוקם במסגרת הפרדה מפלסית בין מסילות רכבת ישראל לרחוב אריה שנקר. הגשר, שאורכו כ-242 מטרים, הוקם על ידי חברת יפה נוף מעל לפסי הרכבת ורחוב בן-צבי ללא עצירת תנועת הרכבות ותנועת כלי הרכב ברחוב והוא תוכנן תחת מגבלות רבות שהכתיבו שיטת ביצוע מורכבת. הקמת הגשר, הפעיל מזה שנתיים, מאפשרת חיבור בין ציר המטרונית בשדרות ההסתדרות וציר המטרודנית קריות-מערבי

תיאור האתר

במסגרת הפרדה מפלסית מספר 43 בין מסילות הרכבת לכביש רחוב שנקר בקריית חיים אשר במטרופולין חיפה, תוכנן ובוצע גשר הנושא את הכביש מעל המסילות. הגשר נושא את תנועת כלי הרכב של רחוב שנקר ובעיקר את תנועת המטרונית. הגשר נושא גם שביל אופניים כחלק מתוכנית האב המאושרת למסלולי אופניים בקריות. הגשר, שנפתח לתנועה בשנת 2013, ממוקם בשולי קריית חיים בין שכונת מגורים לאזור תעשייה ועל כן אינו בולט לעין וכמעט שאינו מוכר.

"המטרונית" היא מערכת תחבורה ציבורית במטרופולין חיפה הכוללת אוטובוסים בעלי קיבולת גבוהה (BRT-Bus). הגשר תוכנן

* הכותב הוא מנהל סניף יבנה במשרד קדמור מהנדסים בע"מ, משרד תכנון המתמחה בגשרים ומבני דרך מורכבים

גשר שנקר - 'נסתר מן העין'

המשך מעמוד 32



מראה אלגנטי בזכות גובה מיסעה נמוך בשילוב זיזים ארוכים, כרכוב טרומי ומעקה פלדה



מבט אל מיסעת הגשר הכוללת נתיבי תנועה ומטרונית, שבילי אופניים ומדרכה (משמאל מטרונית על הגשר ומימין חוצה רכבת)

תיאור הגשר

תהליך תכנון הגשר היה סדור ועבר את כל ארבעת שלבי התכנון הרצויים: תכנון מוקדם לבחירת חלופות, תכנון סופי לתיאום החלופה הנבחרת, תכנון מפורט להפקת מסמכים לביצוע ושלב ליווי הביצוע הכולל שינויים והתאמות בהתאם לממצאים בשטח ודרישות המזמין. תהליך זה החל בשנת 2009 והסתיים בשנת 2012.

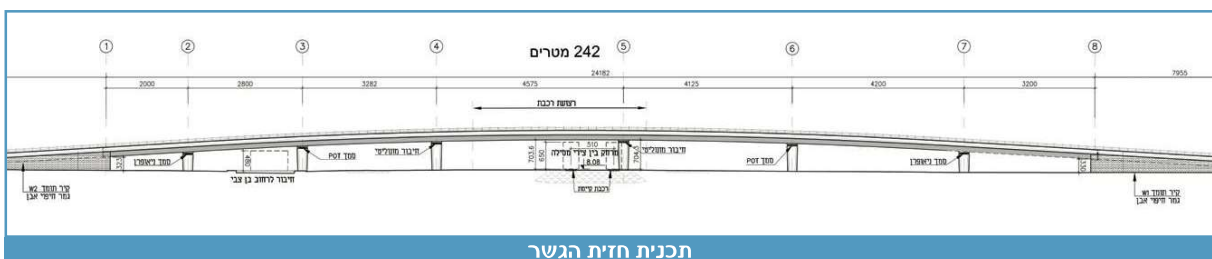
גשר שנקר הוא מסוג Flyover ואורכו הכולל הוא כ-242 מטרים בחלוקה לשבעה מפתחים באורכים של 20.0, 28.0, 32.8, 46.0, 41.2, 42.0 ו-32.0 מטרים. המפתח המרכזי, 46 מטרים אורכו, חוצה שתי מסילות של רכבת ישראל בזווית יחסית של 44 מעלות (SKEW). רוחב המיסעה הוא כ-13.0 מטרים והוא מחולק לנתיבי תנועה לכל כיוון הכולל את תנועת המטרונית, מדרכת הולכי רגל בכל צד וכן נתיב אופניים.

לגשר תוואי פרבולי בכיוון האנכי וגיאומטריית המיסעה בהתוויה האופקית מורכבת מעקומה ברדיוס 260 מטרים כמעט לכל אורך הגשר.

המיסעה מורכבת מחתך ארגזי חלול בגובה של 180 ס"מ בלבד כך שמתקבל יחס מפתח לגובה חתך גדול מאוד אשר עומד על יותר מ-25. המשמעות היא כי מראה המיסעה הוא דק וקליל. תורמים למראה זה גם הזיזים הרחביים של החתך אשר אורכם 340 ס"מ ורוחב תחתית ארגז של 460 ס"מ בלבד. השלמת המראה הדק של הגשר הוא בכרכוב הטרומי המקנה מראה קווי ורציף בחזית בשילוב מעקה פלדה שאליו העין מתייחסת כ"שקוף".

בכל ציר גשר ישנו עמוד בטון בודד בחתך קוני הפוך בשיפוע טיפוסי לכל העמודים, והסכמה הסטטית של הגשר היא המשכית לכל אורך המיסעה. עקב שלביות הביצוע ודרישת רכבת ישראל, העמודים משני צדי המפתח הראשי (4+5) מחוברים מונוליטית למיסעה. כדי ליצור חלוקה שווה של קשיחות ועומסים בין העמודים, העמודים בצירים הרתומים למיסעה הוארכו כלפי מטה עד לעומק של ארבעה מטרים מתחת לפני הקרקע וכך הוגמשו. בשני העמודים הבאים (צירים 3+6) הוצבו סמכי POT מחליקים בכיוון האורכי בלבד, ובעמודים הקיצוניים (צירים 2+7) המיסעה שעונה על העמודים באמצעות סמכי ניאופרן ובנציבי הקצה ישנם סמכים מחליקים. באופן זה הושגה חלוקת עומסים שווה בין העמודים המרכזיים אשר הם גבוהים, גמישים אך רתומים וכלפי חוץ, עם קיצור הנציבים והגמשת הסמכים.

חלוקת העומסים בהתאם לקשיחות אפשרה שימוש במערכת ביסוס מצומצמת הכוללת ראש כלונס בכל עמוד השעון על שתי דיאפרגמות בטון בעובי 100 ס"מ, ברוחב של 280 ס"מ ובעומק של 26 מטרים לרבות דיוס קצה. מכיוון שלגשר רדיוס אופקי,



תכנון הנדסי

גשר שנקר - 'נסתר מן העין'

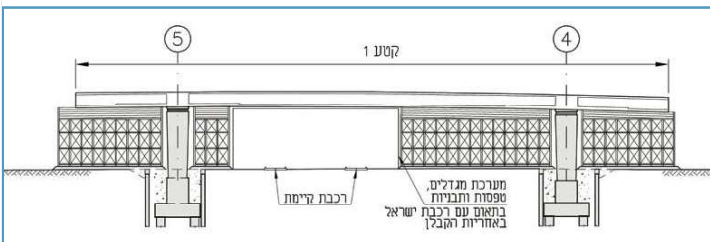
המשך מעמוד 34



מבט על תחתית הגשר בתחום חציית הרכבת (בעבר חצה כאן כביש)



שלב היציקה הראשון במודל החישובי



שלב היציקה הראשון בתכנית



שלב היציקה הראשון באתר

צמד הדיאפרגמות אינן ניצבות לציר הגשר אלא מסובכות ביחס לכיווני התנודה הראשיים ברעידת אדמה. בכך, הכפיפה האופקית מתקבלת בעזרת צמד כוחות בכיוון אחד ובכפיפה בדיאפרגמות בכיוון הניצב. נציבי הקצה הם מסוג קיר ומבוססים על כלונסאות ובהמשכם קירות תמך.

שלבי ביצוע המיסעה

מיסעת הגשר תוכננה בשלב הראשון להיבנות בטכנולוגיית ה-Long Line. בשיטה זו מרכיבים באתר טפסות במיקום המיסעה הסופי ויוצקים על גביהן מיסעת גשר במקטעים טרומיים. הטפסות ממוקמות בתחום השטח הפתוח ולאחר השלמת יציקת מקטעים באורך השווה לשני חצאי מפתחים, מרכיבים מקטעים אלו בשיטת היזי המאוזן הטרומי מעל תחום הרכבת שבו לא ניתן להציב תבניות. לאחר הרכבת המקטעים הטרומיים יוצקים בתבניות את יתרת המיסעה. באופן זה, המיסעה תוכננה לכלול תחום מקטעים טרומיים באורך של 90 מטרים ו-152 מטרים יצקים בתבניות. במהלך הביצוע השתנו מספר תנאים מגבילים באתר בעיקר בהתייחס למגבלת יציקה מעל מסילות רכבת פעילות. לאור העובדה כי הושג אישור יציקת מיסעה מעל המסילות התבקשו על ידי המזמין, יפה נוף, לעדכן את שלבי תכנון המיסעה ליציקה בתבניות באתר בשלושה שלבים ובכך לקצר את לוחות הזמנים ולפשט את תהליך הביצוע.

שלבי הביצוע החדשים כללו יציקת המפתח המרכזי, מעל מסילות הברזל בתבניות, לרבות זיזים של 12 מטרים מעבר לתחום העמוד לטובת ריסון הכסף במפתח המרכזי. אורך היציקה בשלב זה כ-70 מטרים. בשלב שני הועברה מערכת התבניות והמגדלים, נוצק קטע המיסעה הצפוני באורך של 103 מטרים ולבסוף נוצק קטע המיסעה הדרומי באורך של 68 מטרים כולל תמיכת התבניות מעל רחוב בן-צבי ללא עצירת התנועה בו.

מערכת הדריכה

למיסעה מערכת דריכה מרחבית מורכבת הכוללת ארבעה שלבים וכיוונים.

מערכת דריכה לשלבי הביצוע הכוללת דריכת בטון המיסעה בכיוון האורכי בהתייחס לסכמה הזמנית הכוללת זיזים של 12 מטרים מעבר לעמודים ונוסף לכך, הארכות הכבלים בקטע הראשון אל יתר הקטעים בעזרת שימוש בקפלרים. הדריכה בוצעה לכבלים בעלי 19 גדילים במערכת מתוצרת DSI.

מערכת השלמת דריכה אורכית לאחר גמר יציקת המיסעה. הדריכה כוללת דריכת עוגנים בתחתית המיסעה דרך בליסטרים ובקצות המיסעה. כדי לדרוך כבלים עליונים שלא בקצות המיסעה, הותקנו עוגני דריכה בדפנות הפנימיות של הארגז באלמנטי "בוס" (מקביל לבליסטרים אך בקירות).

המערכת השלישית כללה דריכה רוחבית של הדיאפרגמה מעל העמודים באמצעות 16 כבלים לטובת הפעולה הרוחבית של המיסעה מעל העמוד.

המערכת הרביעית כוללת דריכה רוחבית לכל רחב המיסעה, ובכל תחום המיסעה באמצעות כבלים שטוחים מתוצרת פרסינה

גשר שנקר - 'נסתר מן העין'

המשך עמוד 36



מעקה הגשר במודל החישובי ובאתר

אליפטית ייחודית. המעקה תוכנן כמעקה אלסטי-פלסטי בעל יכולת קבלת דפורמציה בהתאם לתקן האירופי EN-1317. לפי מנגנון זה, בעת התנגשות באזונים האליפטיות הם יקבלו דפורמציה. חיבורי האזון לנציב המעקה מתוכננים להיגזר תוך כדי ספיגת אנרגיה ורק לאחר עיוות בצינורות האזון תוך כדי מתיחתם, יועבר עומס ההתנגשות לעמודי המעקה.

הדבר דומה לחבלים המקיפים זירת אגרוף. כאשר המתאגרף נשען עליהם הם נמתחים ובדרך זו משככים את עוצמת החבטה. חישוב מעקה זה בוצע בשיטות לא ליניאריות הכוללות את מנגנון הכשל ברכיבים השונים.

סיכום

גשר רחוב אריה שנקר תוכנן תחת מגבלות רבות שהכתיבו שיטת ביצוע מורכבת. גיאומטריית המיסעה ייחודית בחזות הדקה שלה שהתאפשרה הודות לדגש על צמצום גובה המיסעה, זיזים ארוכים ומעקות פלדה. התחשבות בסכמה המחלקת את העומסים בין הנציבים אפשרה מערכת ביסוס מצומצמת ועילה. הגשר פעיל מזה שנתיים ומשרת את כלל תושבי אזור מפרץ חיפה. על אף היותו של גשר שנקר 'נסתר מן העין' אין ספק שהוא מבנה אסתטי וייחודי והקמתו שידרגה את מערך התחבורה באזור.

פרויקט גשר שנקר

- יזם: חב' יפה נוף - תחבורה, תשתיות ובנייה
- קבלן מבצע: טר-ארמה
- ניהול התכנון: א. אפשטיין ובני
- ניהול הביצוע ופיקוח: אידאה הנדסה
- תכנון כבישים וניקוז: ינון תכנון יעוץ ומחקר
- אדריכלות נוף: בתיה קשת
- אדריכלות מבנים: מיכה ורטהיימר
- יועץ קרקע וביסוס: גיא הנדסת קרקע וביסוס
- תכנון קונסטרוקציה: קדמור מהנדסים



מערכת הדריכה במיסעה

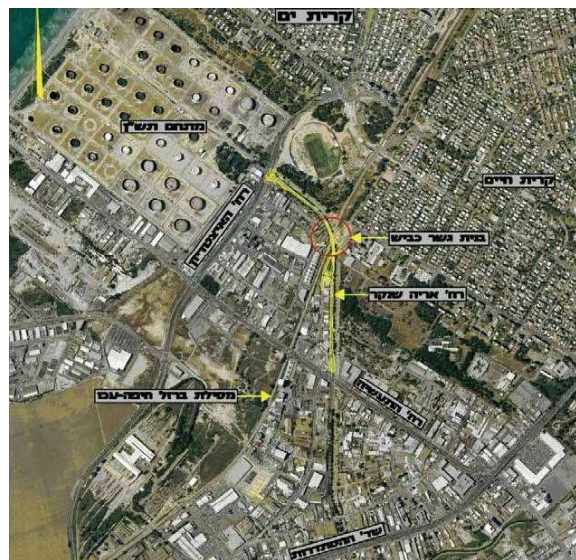


סיזור הדריכה הרחבית לפני היציקה. ברקע חולפת רכבת תחת הגשר

לטובת הפעולה הרחבית של הזיזים הארוכים בגשר. בשיטת הביצוע הראשונית תוכננה גם דריכה אנכית לטובת ריתום מקטעי המיסעה לעמוד. עם המעבר ליציקת המיסעה באתר בוטלה דריכה זו והחיבור המונוליטי מתקבל בהמשכות פלדת הזיון.

מעקה הגשר

מעקה הגשר מורכב מארבע אזני פלדה בעלות גיאומטריה



הקמת הגשר שדרגה את מערך התחבורה באזור בתמונה: מיקום הפרויקט