פרויקט גשר אריאל שרון – נתניה

רוקח אשכנזי מהנדסים יועצים בע״מ

רקע

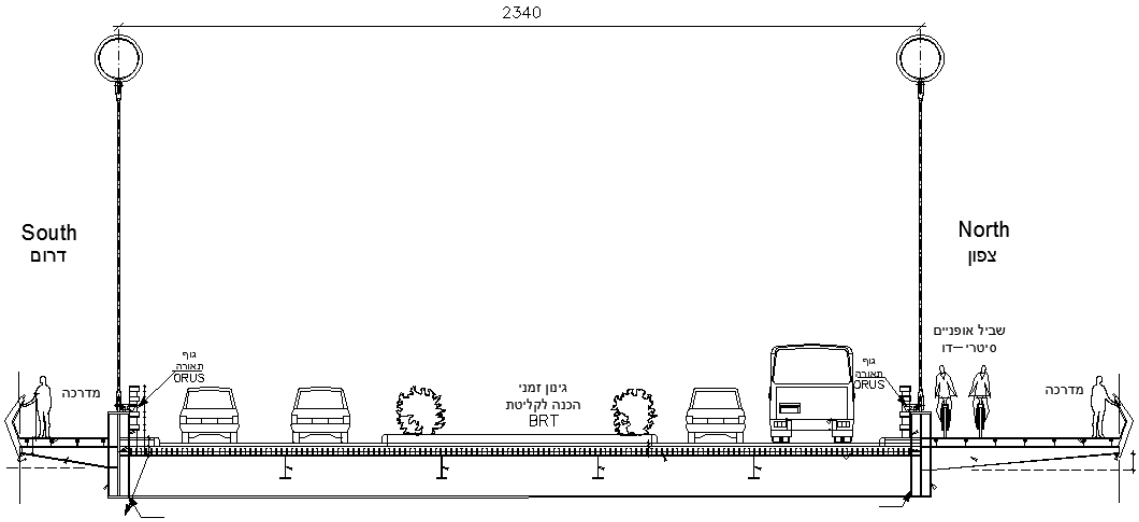
עם התרחבותה של שכונת קריית השרון במזרח העיר נתניה והקמת אצטדיון הכדורגל העירוני, נוצר צורך דחוף להקים גשר מעל מסילת הרכבת החוצה באזור על מנת לתת מענה לבעיית עומסי התנועה שנוצרה במקום.
גשר אריאל שרון מהווה דרך גישה נוספת לכביש 2, והוא מחבר בין שכונת קריית השרון במזרח העיר ובין מרכז העסקים והטכנולוגיות ע״ש ספיר.

האתגר ההנדסי

האתגר ההנדסי בתכנון הגשר לא היה פשוט. מתחת לגשר קיימות תשתיות רבות, החשובות שבהן – רצועת קו הרכבת, רצועת צינורות להעברת דלק ונפט (תש״ן וקצא״א), תשתיות של חברת חשמל ותכנון עתידי של המשך נתיבי איילון לכיוון צפון.
ריבוי התשתיות מתחת לגשר ואי היכולת למקם עמודי ביניים, הצריכו מִפתח נקי וגדול ללא עמודים – באורך של 76 מטר.
כמו כן, כיוון שאין אפשרות לעצור את קו הרכבת העמוס המקשר בין מרכז הארץ לצפונה, על הגשר להיבנות בשיטת ביצוע אשר תאפשר לרכבת לנסוע ללא הפסקתה.
נוסף על אלה, לפי דרישת רכבת ישראל, המרחק בין תחתית קורת הגשר למסילת הרכבת צריך להיות גדול מ-6.5 מטרים ובכדי לעלות לגובה זה מנקודות ההתחברות למערכת הכבישים הקיימת, גם עם רמפות עלייה בשיפוע הגדול ביותר שניתן, נדרש כי גובה קונסטרוקציית הגשר מתחת לרכבים הנוסעים עליו יהיה נמוך מ-1.5 מטרים, וָלא יהיה צורך בהגבהת הכבישים הקיימים – פעולה שיכולה לארוך זמן רב ולגרור עלות כלכלית נוספת לפרויקט.

נתוני הגשר

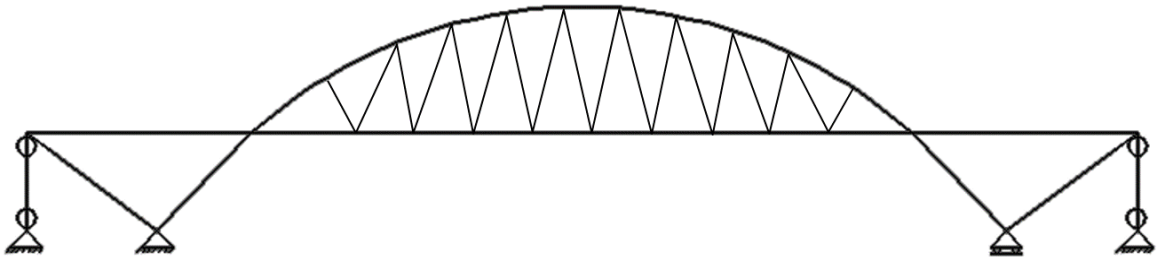
גשר קשתות מקונסטרוקציית פלדה בעל מפתח נקי של 76 מטר ובאורך כולל של 100 מטר. רוחב הגשר משתנה מ- 32 ועד 45 מטר והוא כולל ארבעה נתיבי תנועה לכלי רכב – שניים לכל כיוון, נתיב תחבורה ציבורית (BRT) עתידי נוסף במרכז הגשר וכן מדרך לאופניים והולכי רגל.
מסלולי התנועה תוכננו מקונסטרוקציה המשלבת פלדה ובטון (composite beams) חלק הגשר המשמש להולכי רגל ורוכבי אופניים תוכנן מקונסטרוקציית פלדה ועליה דק עץ.



<u>תמונה של חתך רוחב טיפוסי</u>

סכמה סטטית

בחרנו להשתמש בסכמה הנדסית של קשת הידועה בספרות המקצועית בשם " tied arch ".
בסכמה זו שתי צידי הקשת מחוברים ע"י קורה אופקית בניהם אשר מונעת את פתיחת/פיסוק הקשת לצדדים תחת עומסים אנכיים.
החיבור לקרקע באחד משני בסיסי הקשת מאפשר תזוזה (סמך ניד) ולכן לא מתקבלים כוחות אופקיים בבסיסי הקשתות (להבדיל מקשת חסומה בבסיסים). בנוסף, בסכמה זו לגשר יכולת תזוזה עקב שינויי טמפרטורה ללא תופסת משמעותית של מאמצים.
בכיוון הרוחבי הסמך הנייד מתפקד כסמך מלא וישנם אגדים אופקיים במישור האלכסונים אשר מעבירים את הכוחות לשני צידי ביסוס הגשר.
בכדי לאפשר את התכווצות והתפשטות הגשר תחת שינויי ט"מ, ישנו תפר בצד המזרחי (בו קיים הסמך הנייד) המאפשר תזוזה כוללת של 160 מ"מ.



<u>סכמה סטטית</u>

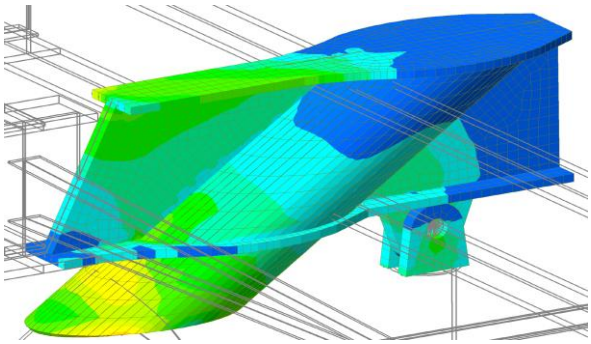
אנליזה

בחישובי הגשר בוצע שימוש במודלים של אלמנטים סופיים מתקדמים שנבנו בתוכנת MIDAS Civil, המודלים מתארים במדויק את המבנה והחיבור בין הרכיבים. בעזרת מודלים אלה ניתן לקבל תוצאות מדויקות עבור התפלגות המאמצים, תופעות קריסה מקומית של פחים וקריסה גלובאלית של המבנה, התנהגות אי לינארית חומרית וגאומטרית וכן חישובים דינמיים בזמן.

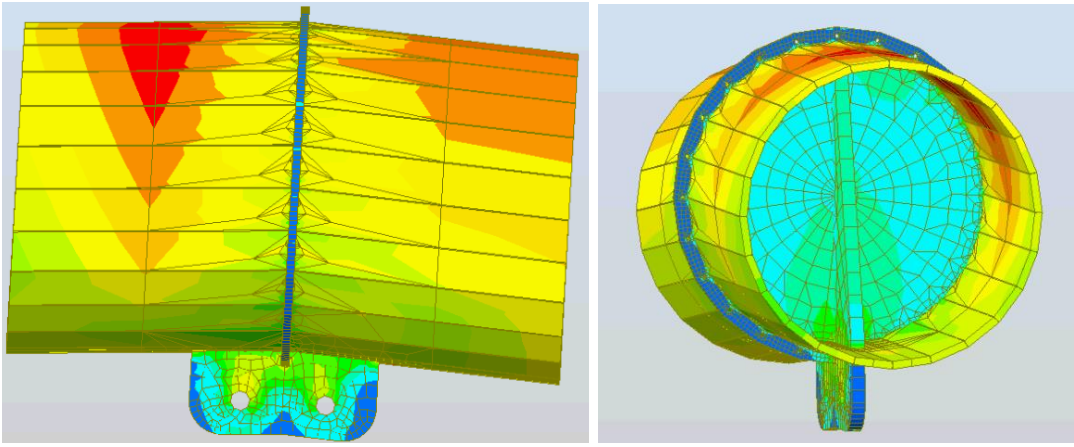
תכנון מחברים

תכנון המחברים נעשה ע"פ הקו המנחה של תכן לתסבולת (Capacity Design). המטרה היא להבטיח כשל משיך (בכפיפה ובכוח צירי) ברכיבי הפלדה עצמם לפני הופעת כשל פריך בגזירה ובאזורי המחברים.
הדבר נעשה ע"י מתן תסבולת גבוהה יותר למחבר מאשר התסבולת הפלסטית של הרכיב אליו הוא מחובר, תוך שמירה על מקדם ביטחון (ערך מומלץ הוא 1.3) לתסבולת גבוהה יותר של המחבר.
תסבולת הרכיבים נקבעה בהתאם להתפלגות הכוחות תחת העומסים הפועלים עליהם, לדוגמה: מתכננים את המחבר בקצה הקורה לכוח המתפתח בו (מוכפל במקדם בטחון) כאשר מתפתח פרק פלסטי בכפיפה במרכז הקורה. גם אם הפרק נגרם מעומסים הגדולים מעומסי התכן וזאת ע"מ להבטיח מניעה של כשל פריך.
בנוסף, תכנון רכיבי הפלדה נעשה בהתאם לתקנים בין לאומיים לגשרי פלדה, אשר מגבילים את תוספת המאמץ באזור המחברים (כתלות בסוג המחבר) וקורות הפחים כתוצאה מעומס שימושי בעל מחזורי העמסה רבים תוך התחשבות בהתעייפות החומר ברכיבי הפלדה.

באיורים הבאים דוגמאות למודלים שנבנו עבור תכנון אזורי המחברים, מודלים אלה "הושתלו" במודל המרחבי המלא של הגשר ונבדקו לכל שילובי מצבי ההעמסה:



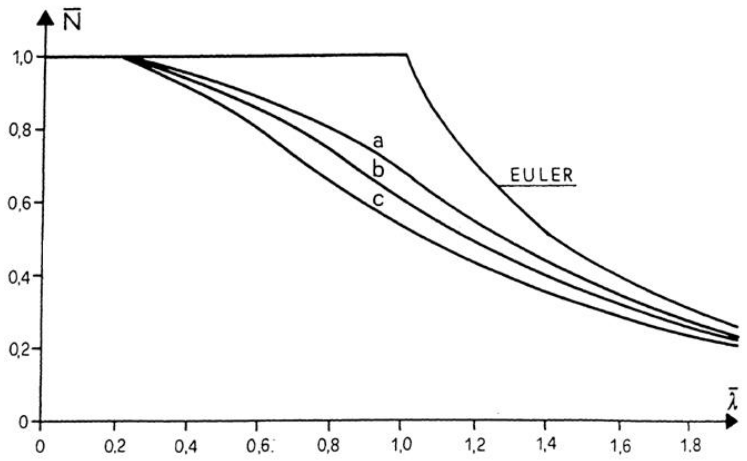
חיבור קורה ראשית לעמוד מתיחה בקצה הגשר



פרט חיבור מוטות מתיחה לקשת

חישובי יציבות

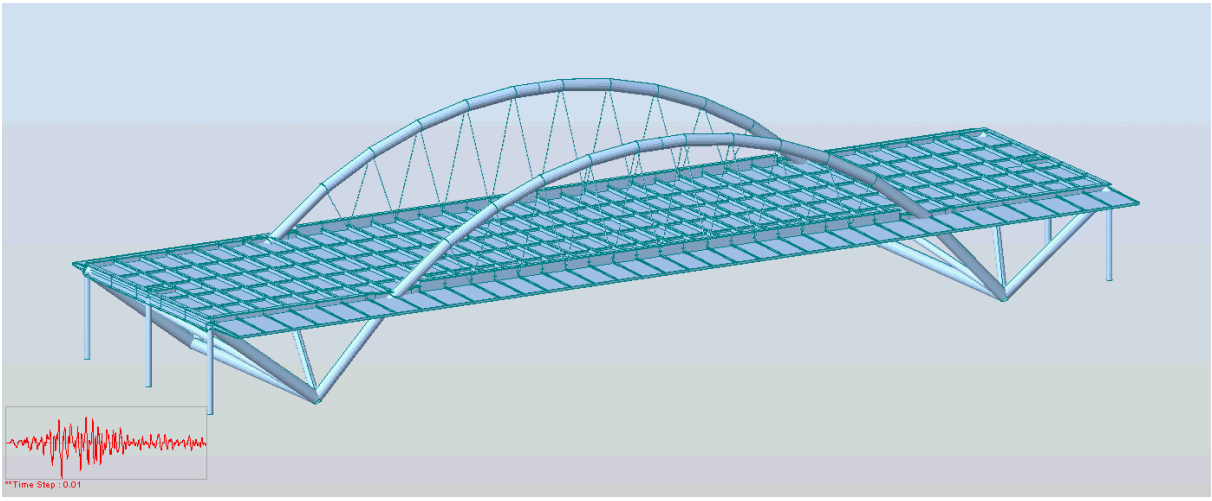
בגשר קיימים פחים אשר סיווגם בהתאם לת"י 1225 הוא פחים תמירים. לאלמנטים אלו רגישות גדולה לתופעה של קריסה מקומית. קשתות הגשר אינם תמוכות אופקית ולכן רגישות לקריסה מחוץ למישורם.
החישוב המדויק, (מעבר להנחיות התקינה בנושא שלא תמיד מתאימות למצב בפועל) נעשה ע"י שימוש באלמנטים סופיים. הפתרון הקונסיסטנטי (שמניבים האלמנטים הסופיים) מתכנס לפתרון המדויק של תופעת הקריסה מלמעלה. מסיבה זו חלוקה לא מספקת לאלמנטים עלולה להניב תוצאות של מקדמי ביטחון הגבוהים מהפתרון הפיסיקלי ואינם לצד הביטחון.
בכדי לקבל פתרון אמין ניתן לבצע מספר הרצות בחלוקה למספר אלמנטים שונה בכל פעם. בהתאם להבדל שמתקבל במקדמי הביטחון בין הרצה להרצה ניתן להגיע לכמות האלמנטים הנדרשת לקבלת תוצאה אמינה עבור צורת הקריסה ומקדם הביטחון להתפתחותה.
חשוב לציין כי מדובר במקדם ביטחון לקריסת אויילר שמתקיימת בתאוריה עבור רכיבי פלדה אידיאליים. לעומת זאת, עקומי הקריסה שבתקינה נבנו עבור רכיבים ראליים בהם קיימים מאמצים משתיירים, אי דיוקים גאומטריים וחוסר הומוגניות של החומר ולכן מחמירים מקריסת אויילר.
בנוסף, תופעות של קריסות מקומיות נדרש לחשב לפי עקום קריסה C שהוא המחמיר ביותר.
מסיבה זו מקדמי הביטחון הנלקחים בחשבון לקריסת אויילר חייבים להיות גבוהים ממקדמי הביטחון החלקיים של התקינה עבור מצב גבולי של הרס. מומלץ לתכנן לערכי מקדם בטחון לקריסת אויילר של -3 לכל הפחות.



עקומי קריסה תקניים מול קריסת אויילר

חישוב רעידת אדמה

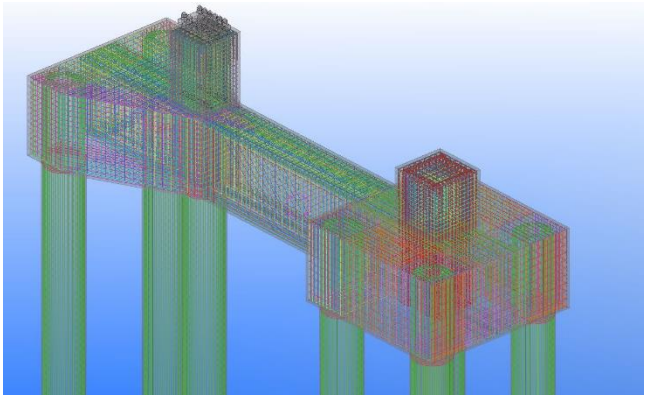
הגשר מאופיין בזמני מחזור קצרים יחסית וזאת בעקבות קשיחותו הגדולה ומשקלו הנמוך ביחס לגשרי בטון המונחים על סמכי נאופרן.
מיקומו הגאוגרפי של הגשר מאופיין במקדם תאוצת קרקע נמוך יחסית של 0.1(g) .יחד עם זאת סוג הקרקע השולטת היא חרסית וחול חרסיתי בעלת חוזק בינוני, המתאים להגדרת קרקע מסוג D לפי ג״ת 3 של ת״י 413 מימנו נבנה ספקטרום התגובה לתכן.
הספקטרום שהתקבל הניב תאוצת תכן ספקטרלית מקסימאלית של 0.375(g) מה שאומר שבהנחת מוד דומיננטי יחיד בכל כיוון, ברעידת התכן עתידים לפעול על מבנה שיגיב אלסטית, כוחות בסדר גודל של 37.5% ממשקלו הכולל .
בעקבות הסכמה הסטטית בכיוון אורך הגשר, היסודות בצד המזרחי המחוברים באופן קשיח לקשתות מקבלים את כל הכוחות האופקיים (בכיוון זה). בסיסי הקשתות חוברו ע״י קורת קשר גדולה לבסיסי העמודים בקצה הגשר ע״מ ליצור שיתוף פעולה של כל הכלונסאות בקבלת כוחות גזירה אלו.
על מנת לקבל אינדיקציה נוספת להתנהגות המבנה ברעידת אדמה בדקנו את תגובת הגשר לרעידות אדמה שתועדו בעבר. רעידות אלה נורמלו בהתאם למקדם התאוצה וסוג הקרקע באתר הגשר (PGA) ונבדקו ההזזות המקסימאליות והמאמצים שהתפתחו ברכיבי הגשר.
תוצאות החישוב הן לפי האנליזה המודלית הספקטרלית והן לפי Time History Analysis הניבו כי המבנה (העליון והתחתון) עתיד להגיב אלסטית לרעידת התכן. יחד עם זאת, צריך תמיד לזכור שקיים סיכויי להופעת ר״א החזקה מרעידת התכן ולכן גם כאן נלקחה בחשבון המתודולוגיה של תכן לתסבולת.



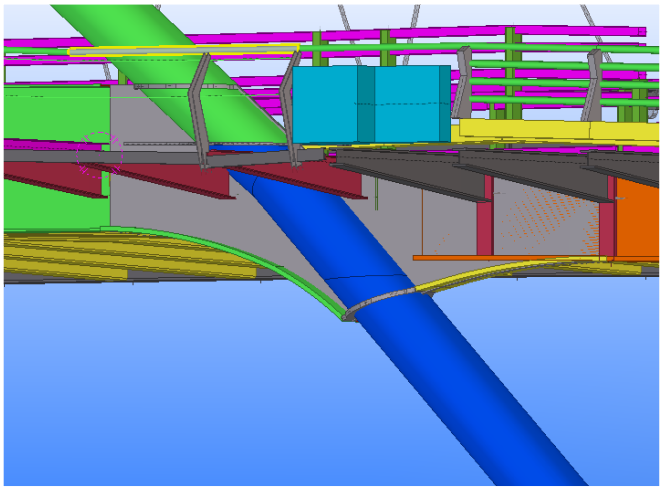
Time History Analysis

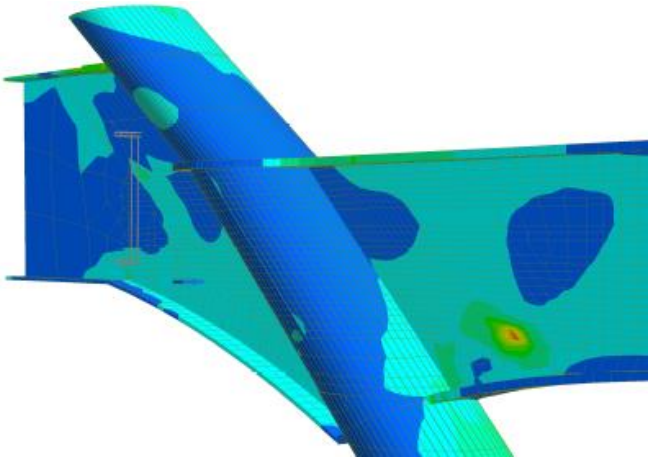
מאנליזות ושרטוטים לביצוע

שרטוטים רבים בפרויקט – גם של רכיבי בטון מזויין וגם של רכיבי פלדה נבנו במודל שרטוט תלת ממדי בתוכנת TEKLA אשר ממנו הופקו חתכים ותכניות עבודה מדויקות וכן נמדדו הכמויות :

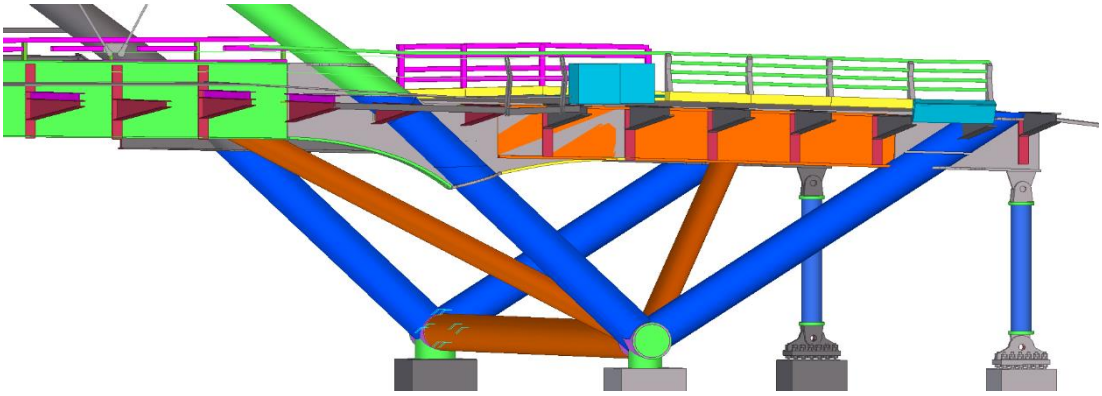


ביסוס הגשר





חיבור קשת לקורה ראשית



נציב מזרחי

שלבי ביצוע הגשר

הגשר נבנה במקביל משתי צידי מסילת הרכבת. הוצבו ארבע מגדלי תמיכה זמניים שתיים מכל צד של מסילת הרכבת. כך, ניתן היה להרכיב את קורת האורך הראשית והקשתות במספר הנפות של משקלים קלים יחסית .לאחר השלמת הקשתות וחיבור המוטות שבין הקשת לקורה הראשית פורקו מגדלי התמיכה הזמניים.
ביצוע החלק המחבר בין שתי הצדדים דרש דיוק רב שכן מדובר בחיבור המבוצע ע״י ברגים רבים. על מנת להגיע לרמת הדיוק הדרושה היה צורך ביכולת להזיז לפחות צד אחד של הגשר.
כיוון שהצד המזרחי של הגשר מחובר ליסודות על ידי סמך החלקה בנקודה אחת ומוט דו פרקי בנקודה השנייה, לא הייתה בעיה להזיז את כל קונס׳ הגשר בצד המזרחי בעזרת ג׳קים קטנים ובכך לחבר את 2 צידי הגשר באופן מהיר, קל ומדויק.
לאחר סיום הרכבת אלמנטי הפלדה, הונחו קרומים טרומיים מבטון בין קורות הרוחב ועליהם בוצעה יציקה משלימה.

סיכום

הבחירה בקונסטרוקציה עילית בה ניתן לגשר על מפתחים גדולים מבלי להגדיל את גובה הקורות עליהן נוסעים הרכבים, אפשר לעמוד בדרישה לגובה קורות הנמוך מ-1.5 מטרים ולא נדרשנו להגביה את מערכת הכבישים הקיימים בשני צדי הגשר, דבר שהיה בלתי אפשרי בחלופת הבטון הדרוך המקובלת שם גובה הקורות שהיה מתקבל עבור המפתח הוא כ-3.4 מטרים. השימוש בקונסטרוקציית פלדה אפשר

לבנות את הגשר בזמן קצר – בתוך שלושה חודשים סיימו את הרכבת אלמנטי הפלדה באתר, כאשר ייצור האלמנטים במפעל והובלתם התבצע במקביל לעבודה על יסודות הגשר.
המשקל הקל של קונסטרוקציית הפלדה (לעומת קונסטרוקציה מבטון) אפשר להניף את הקשתות בעזרת מנופים פשוטים ולחברן לשני צדי הגשר.
מבצע הנפת הקשתות מעל מסילת הרכבת וחיבורן בוצע במשך שעות בודדות, כך התאפשרה בנייתו של הגשר מבלי לפגוע בתנועת הרכבות אף לא פעם אחת.

יתרונותיו ההנדסיים של גשר קשת הפלדה כפי שצויין, תחת כל המגבלות הקיימות, אפשרו עלות בנייה נמוכה ביחס לחלופות ההנדסיות המקובלות.

גשר אריאל שרון (צילום- עמית גירון)

בפרויקט לקחו חלק:

גאומטריה	חברת מהנדסים.
תנועה	אריה הוכברג.
אדריכלות	גונן – אדריכלים.
ניהול פרויקט	אילן חדד שירותי הנדסה.
קבלן ראשי	רולידר.
קבלן הפלדות	הגבעה.
חשמל	דוד ברהום.
יועץ ביסוס	מכטה-גאוטכניקה.
בקרת תכן	ליויתן מהנדסים.
ייעוץ דינמיקה ויציבות	פרופ' י. שיינמן.
מטלורג	שרגא ירון.
קונסטרוקציה	רוקח אשכנזי מהנדסים.