

# גשר להולכי רגל – באר שבע

יצחק רוקח, דיון לוין

רוקח אשכנזי מהנדסים ויועצים בע"מ

תכנון גשרים בכלל, ותכנון גשרי פלדה בפרט, שונה מתכנון מבנים בהרבה מובנים, אחד ההבדלים הבולטים הוא עצם העובדה שלרוב בגשרים הקונסטרוקציה גלויה ולא "מוסתרת" מאחורי האדריכליות. העובדה הזאת הופכת את תכנון הגשר לחוויה מאתגרת, מתסכלת ומספקת במיוחד. השילוב הנכון, ועבודה משותפת בין אדריכל ומהנדס יכולים להפוך את הפרוייקט להצלחה גדולה.

במסגרת העבודות הציבוריות ושיפור פני העיר, החליטה עיריית באר שבע לבנות גשר אייקוני לגשר בין אוניברסיטת בן גוריון לבין פארק ההיי-טק. העירייה ערכה תחרות אדריכלית לתכנון הגשר, מבין המוזמים זכתה הצעת בר אוריין אדריכלים בליווי רוקח אשכנזי מהנדסים.



לגשר עצמו שני מפתחים, הגדול מביניהם (צפוני) באורך 100 מ', והקטן (דרומי) 70 מ'. כל אחד מהמפתחים בנוי ממסבכים מישוריים בצורת עיניים (lenticular truss), גובה המסבכים 11 מ' ו-7.5 מ' במפתח הצפוני ודרומי בהתאמה. המסבכים הצדדיים מחוברים ביניהם באמצעות מערכת של מסבכים אופקיים ומשופעים ויוצרים שני מסבכים מרחביים המקבלים את הכוחות האנכיים ואופקיים הפועלים על הגשר. גשרים מבוססים מסבכים מהסוג הזה נבנו כבר במאה ה-19.

רוחב המדרך משתנה לאורך הגשר ורוחבו הממוצע כ-4 מ'. רוחב הגשר משתנה בהתאם לזווית נטיית המסבכים הצדדיים (35 מעלות יחסית לאנך) ומגיע עד ל-15 מ' באמצע המפתח הגדול, גובה המדרך כ-8 מ' מעל רציפי הרכבת. הגשר נשען אנכית ואופקית על עמוד מרכזי ושני נציבי קצה. כדי לאפשר התרחבותו והתקצרותו של הגשר ללא תוספת מאמצים, נציבי הקצה מחוברים לביסוס באמצעות פרטי חיבור פרקיים לכיוון אורך הגשר. בשתי קצוות הגשר קיימים מעליות, מדרגות ודרגנועים לעלייה וירידה מהגשר.

העמוד המרכזי תוכנן כעמוד בטון לבן, ולאחר המכרז הוחלף לעמוד פלדה לבקשת הקבלן הזוכה.

המשקל הכולל של פלדת הגשר הוא כ-750 טון כאשר כ-600 טון מתוכו קורות פחים.

במהלך התכנון נבדקו צורות התנודה הטבעיים של הגשר, עקב הסכימה המאוד פשוטה לכיוון אורך הגשר, כאשר התורם היחידי לקשיחות האורכית של הגשר היתה הקשיחות של העמוד המרכזי בכיוונו החלש, התגלה מוד אורכי עם תדר נמוך של 1.22 הרץ, ומסה מודלית מאוד גדולה של 75 אחוז ממסת הגשר. לאחר התייעצות עם פרופסור י. שיינמן, ונציגי חברת MAURER, התברר שלא שינוי משמעותי בסכימת הגשר, יהיה צורך במערכת מאוד יקרה של מרסני TMD לצורך ריסון התנודות אורכיות של הגשר. השינוי הדרוש היה כרוך בחסימת הכיוון האורכי, דבר שהיה גורם למאמצים מסוכנים במקרה של התפשטות טרמית, ולשינויים אדריכליים. הוחלט להשתמש בקורות התומכות את הדרגנוע בנציב הצפוני ולקבע אותן לצורך חיסום זה, שינוי זה הקטין את המסה המודלית ל-24% והגדיל את התדר ל-1.72 הרץ. לפתרון בעיית התנודות וההתפשטות בזמנית, היה צריך לתכנן פרט לאפשר הזזות המקרה של התפשטות, ולחסום תנודות עקב פעילות הולכי רגל. נציג חברת MAURER הציע שימוש המרסנים וסיקוזיים קטנים המיועדים לריסון תנודות כבלים בגשרי כבלים וגשים תלויים. מרסנים מהסוג הזה מיועדים לאורך חיים בעל מספר רב של מחזורים וניתן לכייל אותם כך שיאפשרו תנועה במהירויות נמוכות (הפרשי טמפרטורה) ויחסמו תנועה במהירויות גבוהות. הרכבת מרסנים מהסוג הזה היה זול משמעותית מהרכבת מרסני TMD לריסון התנודות האורכיות אבל עקב הכמות הקטנה של מרסנים שהינו צריכים הצעה הייתה יקרה גם כן. לאחר התייעצות עם יועץ המתכות של הפרוייקט, מהנדס שרגא ירון, והתייעצות נוספת עם פרופסור שיינמן, תוכנן פרט חיבור של קורות הדרגנוע המבוסס על חיכוך שיאפשר תנועה בכוחות הגדולים של חימום ויחסום את התנועה בכוחות הקטנים יותר של התנועת הולכי הרגל.

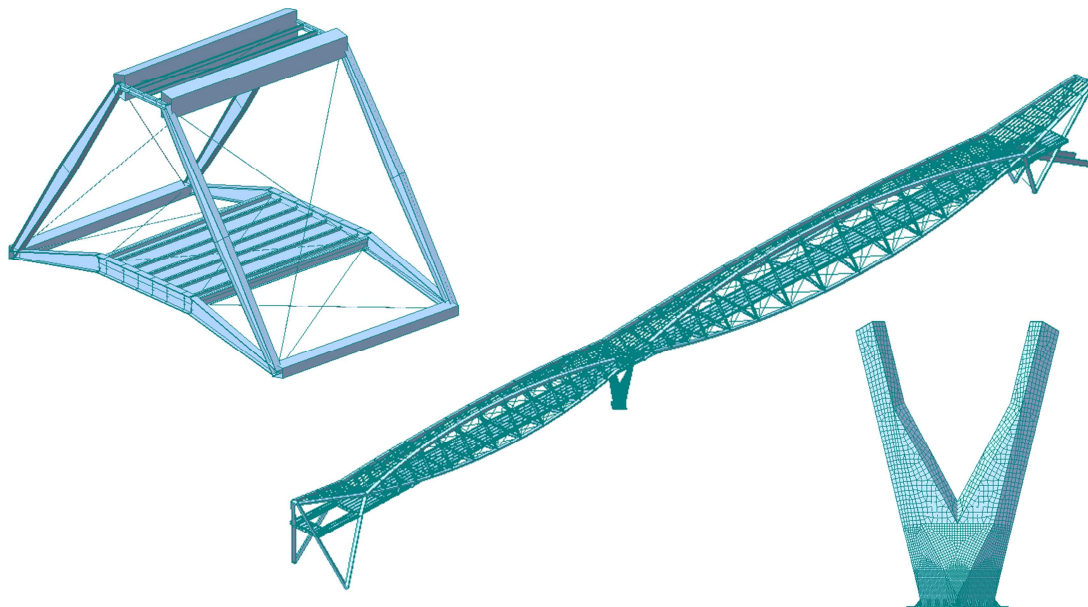
לפי תוצאות המודל המתמטי, בנוסף לבעיית המוד האורכי קיימת אפשרות של בעיית תנודות אנכיות ואופקיות, אומנם במסה מודלית קטנה יותר מהמוד האורכי. חומרת התנודות הנ"ל ייקבע על סמך הריסון הטבעי של הגשר, והגשר תוכנן אם הכנות למערכת מרסני TMD אופקיים ואנכיים. עם סיום בניית הגשר ייערכו בדיקות לקביעת הצורך בהם. הטבלה המצורפת מראה את מהירויות, תזוזות ותאוצות הגשר בהנחת מנת ריסון של 5% (מריסון קריטי) מול מנת ריסון של 1% (הערכת מנת הריסון הטבעי). ללא תוספת מערכת מרסנים, תוצאות החישוב אינן עומדות בדרישות התקנים המתאימים לתנודות גשרים להולכי רגל (BS5400).

ריסון של 5%

ריסון של 1%

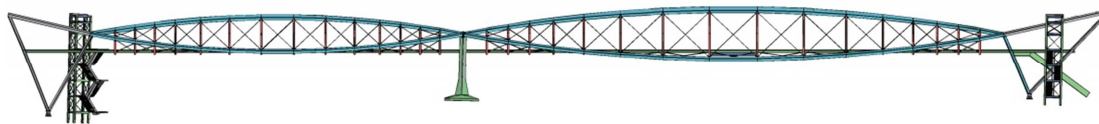
כיוון	הזזה (m)	מהירות (m/sec)	תאוצה (m/sec <sup>2</sup> )	הזזה (m)	מהירות (m/sec)	תאוצה (m/sec <sup>2</sup> )
אורכי כיוון X	0.00815	0.025	0.325	0.00691	0.00602	0.07758
אופקי כיוון Y	0.0132	0.0966	0.748	0.00394	0.0241	0.1835
אנכי כיוון Z	0.08933	0.25	3.246	0.0749	0.0556	0.717

בנוסף נבנו מודלים במשרדנו בתוכנת STRAP, ובתוכנת MIDAS CIVIL לחישוב סטטי ודינמי של הגשר. כ-80 אחוז מאלמנטי הגשר מורכבים מקורות פחים, עקב הצורה הייחודית, לא קיימות שתי אלמנטים זהים לאורך הגשר וכל קורת רוחב תוכננה עם עובי אגף ודופן בהתאם לאורך הקורה, זוויות הקורה, ומיקומה בגשר. פרטי החיבור תוכננו בצורה אינדיבידואלית בהתאם לכוחות וזוויות הקורות בתוכנת MASTER SERIES, ופרטים מרכזיים נבנו ונבדקו באלמנטים סופיים ב-MIDAS.



מודל חישוב – MIDAS CIVIL

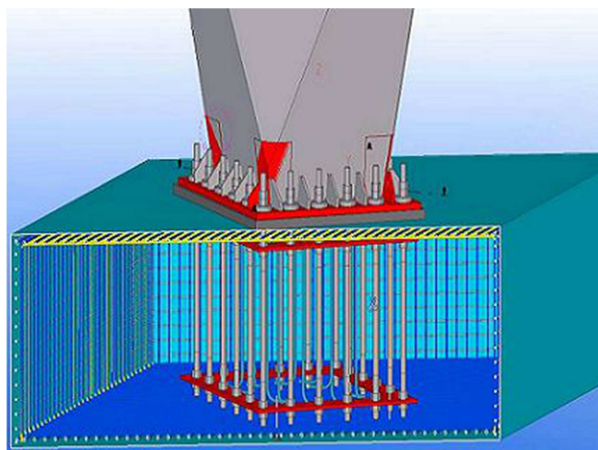
תוכניות הגשר הוצאו ממודל תלת מימדי שנבנה במשרדנו בתוכנת TEKLA STRUCTURES, המודל כולל בתוכו את כל אלמנטי הגשר כולל פרטי חיבור וזיון באלמנטי הבטון. עם הגאומטריה המסובכת של הגשר, השימוש במודל תלת מימדי קונסטרוקטיבי עזר לאתר בעיות ביצועיות במהלך התכנון שכנראה לא היו עולות עם תוכניות דו מימדיות. המודל נמסר למסגרייה לצורך הכנת קבצי ה"שופ דרווינגס", תהליך זה חוסך זמן רב ומונע טעויות במעבר בין תוכניות הקונבנציונליות למודל ממנו המסגריות עובדות.



מודל BIM – TEKLA



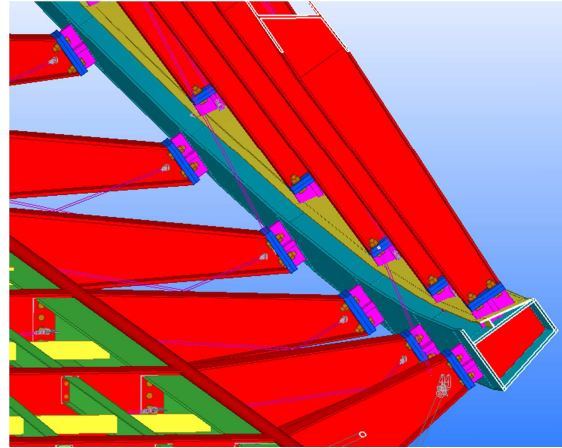
עמוג מרכזי - ברגי עיגון, עדי 2000, 26/06/2013



חיבור העמוד המרכזי לביסוס - TEKLA



קורות רחב, עדי 2000, 28/08/2013



חיבור קורות רחב לקשתות - TEKLA



הרכבת העמוד המרכזי, עדי 2000, 17/07/2013