

מבט על שיקום גשרים בניגריה

מעיר הנמל לאגוס בניגריה יוצאים כמה כבישים ראשיים המובילים מהעיר וצפונה אל תוך המדינה. במסגרת פרויקט שדרוג כבישים קיימים והסדרתם נדרש לטפל בעשרות גשרים לאורך הכביש אשר מצבם המבני ירוד ואף מסוכן. במהלך בדיקת מצב הגשרים אותרו תופעות החוזרות על עצמן אשר פגמו משמעותית ביציבות הגשרים, לרבות שריפות תחת הגשרים, קורות גשר שנכשלו עקב התנגשות, התחתרות ובלייט סוללת הגישה לגשר ועוד. בכמה גשרים שבהם המצב הקיים סיכן את התנועה והגשר ננקטו צעדי חירום. לכל הגשרים תוכננו פתרונות שיקום החל מפירוק מיסעות דרך החלפת קורות גשר בודדות ועד להקמת קירות גביונים לייצוב סוללות. בנוסף, בכל הגשרים הוחלפו המעקות, התפרים והמדרכות ותוקנו פגמים לטובת קיים המבנה לאורך זמן

אינג' מיכה פטרי*



עבודות שיקום והחלפת מיסעה בגשרים תחתם התחוללה שריפה

רקע כללי

ניגריה היא רפובליקה פדרלית הממוקמת במערב אפריקה לחופי מפרץ גינאה, שטחה כ-923,768 קמ"ר ואוכלוסייתה מונה כ-180 מיליון תושבים. את ניגריה אפשר לחלק באופן גס לשני חלקים: צפון המדינה ודרום המדינה. חלוקה כוללת זו, אשר גבולה תואם עם קו המשווה החוצה את ניגריה באה לידי ביטוי בכמה אופנים. הצפון כולל מישורים מדבריים צחיחים ואוכלוסייה מועטה (סוואנה), הדרום פורה וירוק ומאופיין באקלים טרופי וגשום. כמו כן, ישנה חלוקה כלכלית ברורה מכיוון שהדרום עשיר במשאבי טבע כדוגמת נפט ובדיל. התעשייה והכלכלה התפתחו בעיקר בתחום זה ורוב העושר הכלכלי הניגרי מרוכז בדרום המדינה. חלוקה נוספת מתאפיינת בהרכב האוכלוסייה, כאשר בצפון המדינה ריכוז מוסלמי גדול בעוד בדרום המדינה ריכוז נוצרי. חלוקה לא רשמית זו יוצרת מתחים רבים באוכלוסייה סביב נושאי דת, שלטון וצדק כלכלי. השלטון בניגריה החליט לעשות מאמצים לשיפור החיבור בין חלקי

הרפובליקה לטובת הפיתוח הכלכלי וקידום האוכלוסיות השונות. מכיוון שהפעילות הכלכלית מרוכזת בחלקה בתחום החוף הדרומי, יש צורך בשיפור ושדרוג מערכת הכבישים הבינעירוניים מעיר הנמל לאגוס אל הערים הממוקמות צפונה, בכיוון פנים המדינה, כדוגמת בנין ואיבאדן. משרד התשתיות הניגרי (Ministry of Works) קידם במסגרת מאמצים אלו פרויקטי שדרוג כבישים לאורך מאות קילומטרים, בדגש על כבישים לאגוס-איבאדן ושגאמו-בנין. השדרוג מקדם באופן משמעותי את הכלכלה בניגריה שכן הוא מאפשר הגדלת נפחי התנועה בין הצפון למרכז הכלכלי-עסקי בדרום.

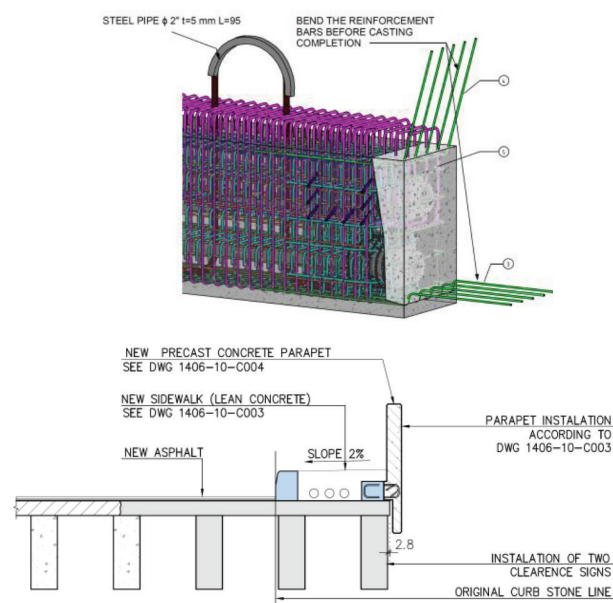
תיאור הפרויקט

הפרויקט יצא במסגרת תכנון וביצוע (DB) כשלמכרז ניגשה חברת Reynolds Construction Company (RCC), חברה בת של סולל בונה ארצות חוץ אשר לה פעילות ענפה בניגריה בעיקר בסלילה וגישור. במסגרת עבודות שדרוג הכביש והסלילה אותרו לאורך

לאורך הכביש ממוקמים גשרים שונים בעלי מרווח אנכי משתנה. במצב המתואר, אחד המקרים השכיחים הוא התנגשות משאית במיסעת הגשר. למעשה, במרבית הגשרים שנסקרו ישנן פגיעות בקורות החיצוניות הפונות לכיוון ממנו מגיעה התנועה. הנזקים החמורים ביותר אותרו בקורות שנשברו לגמרי, לרבות קריעת כבלי הדריכה. כך שבפועל הן אינן מתפקדות והן תלויות על מיסעת הבטון במקום לתמוך אותה ויש צורך מייד בהחלפתן. ישנם גשרים שבהם עלה צורך בשיקום הקורות בלבד ללא החלפתן. מספר הקורות הפגועות הדורשות החלפה בגשר בודד נע בין קורה אחת ל-12 קורות. תהליך הטיפול והשיקום של גשר שבו ישנם נזקי התנגשות כולל ביקור מהנדס וסוקר מטעם משרדנו באתר לתייעוד ואיתור הליקויים, ולבניית תמונת מצב הנוגעת ליציבות הגשר הכללית ואופן תפקוד הרכיבים הראשיים בפרט. הטיפול כולל גם מתן הנחיות מיידיות לגבי צמצום התנועה על הגשר והגבלתה בין אם בתחום נסיעה ובין אם בהגבלת עומס. אחת המגבלות בפרויקט היא מניעת אישור מבעלי הגשרים לסגירת גשר לתנועה לאור חשיבות הכביש לכלכלת המדינה והיעדר דרך עוקפת. לאחר הביקור הראשוני וסקירת המבנה מבוצעת מדידה מפורטת של רכיב הגשר ונלקחות דגימות בטון ופלדת זיון של הגשר הקיים, לטובת שימוש בנתונים אלו בתהליך החישוב של הרכיבים. בהמשך, עם פירוק הקורה הפגומה אף נדגמים כבלי הדריכה לטובת בחינת התכנון הקיים.



קורת גשר אשר נפגעה מהתנגשות לרבות שברים בבטון וקריעת כבלי הדריכה



פרטי קצה בקורה מלבנית טיפוסית חדשה ותרשים להחלפת קורות פגועות בחתרן

הכביש מספר רב של גשרים במצב קונסטרוקטיבי ותפעולי ירוד. הגשרים הצריכו תשומת לב מיידית לאור בעיות יציבות ופגיעה ברכיבים נושאים, יחד עם עבודות שיקום טיפוסיות כחלק משדרוג הכביש.

לתכנון סקירת הגשרים ותכנון שיקומם נשכר משרדנו, קדמור מהנדסים בע"מ. הפרויקט כלל איתור כל המבנים לאורך הכביש וביצוע סקירה קונסטרוקטיבית לתייעוד מצבם תוך הפקת דוח לבעלי המבנים, משרד התשתיות הניגרי. בהמשך תוכננו תהליכי שיקום ושדרוג ל-43 גשרי רכב שונים.

במאמר זה אסקור את הפרויקט והגשרים השונים, אסביר על סוגי הפגמים ואופן הטיפול בהם ואתמקד במורכבות העבודה בניגריה, לרבות האתגרים שבהקמת מפעל שדה ליציקת קורות טרומיות והאילוצים שבעבודה בכביש פעיל בעל נפח תנועה משמעותי.



תמונה כללית של גשר טיפוסי החוצה את הכביש הראשי

קצת על האתרים והגשרים

הגשרים ממוקמים לכל אורך הכביש ומרוחקים האחד מהשני לעיתים כעשרות ק"מ, מצב המצריך מספר רב של אתרי ביצוע המתואמים עם שלביות הביצוע של שדרוג הכביש והסדרי התנועה השונים. אזור זה של ניגריה מתאפיין בצמחייה טרופית ולחות גבוהה, כאשר בכלל הנחלים הנחצים ע"י הכביש ישנם מים זורמים במהלך כל השנה. הכבישים חוצים אזורים עירוניים צפופים שבהם תנועה מקומית רבה. הכביש שבין הערים ממוקם באזור שבו צמחייה סבוכה ועיקר התנועה הוא משאיות כבדות עמוסות לעייפה ובמצב מכאני ירוד, הגורם להן לא אחת לתקלות. אחד המקרים השכיחים הוא התלקחות של משאיות דלק, כפי שידון בהמשך. הגשרים הטיפוסיים לאורך כבישים אלו כוללים גשרים בעלי מפתח בודד ועד ארבעה מפתחים, הנושאים את הכביש מעל ערוצי מים ולחילופין חוצים מעל הכביש הראשי ומקשרים אותו לכבישים מקומיים. המיסעה מורכבת מקורות טרומיות דרוכות דריכת אחר ועליהן השלמת יציקה, כאשר הסכימה הסטטית היא לרוב דו-פרקית עם סמכים אלסטומריים ותפרי התפשטות. בכמה גשרים ישנה המשכיות טרמית בהשלמת היציקה של המיסעה המצמצמת את מספר התפרים בגשר. משני צידי הגשר ישנן מדרכות להולכי רגל ומעקות פלדה להולכי רגל. יש לציין כי המעקות הקיימים אינם מתוכננים לעומסי התנגשות כלי רכב. לא קיים בקרב בעלי הגשרים תיעוד הנוגע לביצוע הגשרים, לרבות תוכניות ומפרטים. אף אין מידע על מועד הקמתם אך בהתאם לסוג הטכנולוגיה ששימושו ומצב המבנים הם מתוארכים לשנות ה-80.

שיקום נזקי התנגשות במיסעות גשרים

תנועת כלי הרכב לאורך הכבישים בפרויקט מתאפיינת בריבוי משאיות המועמסות לעיתים עד אפס מקום. זאת ללא כל פיקוח על שיעור העומס, העלול להגיע לשישים טון למשאית, ואף ללא פיקוח על ממדי הסחורה המועמסת על גבי המשאית, בדגש על הגובה.





גשר שנפגע משריפה תחתיו, כולל נזק לעמוד ולקורות

באתר הקבלן. החלפת הקורות הפגועות כללה גם החלפת הסמכים האלסטומריים ויציקת מיסעה חדשה על גבי הקורות החדשות. כמו כן הוחלפו המעקות והמדרכות כמפורט בהמשך.

שיקום נזקי חתירה בסוללות ונציבי קצה

עונות השנה בניגריה מתחלקות לעונה יבשה ועונה רטובה, כאשר בעונה הרטובה מפלסי הנהרות עולים בכמה מטרים, לעיתים בקצב מהיר מאוד, ותלויים בכמות המשקעים וגודל אגן הניקוז. מצב זה גורם להגברת הזרימה ולעיתים להטיית ערוץ הנחל. במקרים אלו נוצרת בלייה של סוללת ההגנה בגדות הנהר תוך סחיפת הקרקע בתחום נציבי הקצה ותוך חשיפת הכלונסאות.

טיפול בסוללות הצריך התייחסות ליציבת הסוללה והגנה על הגדה, יחד עם החזרת יציבות תחום הכביש ונציבי הקצה. העבודה כללה הסטת המים והצבת קיר גביונים על גבי מצע אבן בתחום הנחל.



שיקום גשר שנפגע משריפה. בתמונה מעל - מצב הגשר טרם השיקום, בתמונה התחתונה - הגשר לאחר השיקום



גשר מעל הכביש הראשי לאחר החלפת קורות והתקנת מעקות

מכיוון שבמקרים המתוארים נדרשת החלפת קורות בודדות בגשר יש חשיבות תפקודית ואסתטית בשמירה על גיאומטריית הקורה הקיימת, במקרה זה בחתך מלבני. זאת על אף שבתכנון עכשווי חתך זה פחות יעיל כקורת גשר וניתן היה לבצע אופטימיזציה לקבלת חתך יעיל יותר.

לגשרים בוצעה אנליזה וחישוב בתוכנת SOFISTIK לחישוב התנהגות המבנה וההתרחחות הפועלות על רכיביו בדגש על הקורה החדשה, בהתאם לעומסי התקן הבריטי BS5400 הנהוג בניגריה. לטובת ייצור הקורות הוקם מפעל קורות טרומי באתר הקבלן. החלפת הקורות הפגועות כללה גם החלפת הסמכים האלסטומריים ויציקת מיסעה חדשה על גבי הקורות החדשות. כמו כן, הוחלפו התפרים, המעקות והמדרכות. נושאים אלו יפורטו בהמשך.

שיקום נזקי שריפה בגשרים

כפי שתואר קודם, תנועת המשאיות בכבישים אלו רבה. המשאיות לעיתים במצב מכאני הסובל מהעדר תחזוקה ואנו עדים למספר רב של מקרי דליפת דלק והתלקחות. לצערנו, במקרים רבים הדלק הנשפך ממשאיות יזרום דרך תעלות הניקוז אל מתחת לגשר וכשיתלקח, מוקד השריפה הראשי יהיה תחת הגשר והנזקים בהתאם.

למעשה, לאורך הכבישים ישנם כמה מקרים שבהם השריפה אשר התחוללה תחת הגשר גרמה נזקים כבדים לרכיבי הגשרים. בין היתר, תועדו באתרים דלימינציות ונשירת בטון הכיסוי של קורות המיסעה. בכמה גשרים נמצאו קילופים חמורים בבטון העמודים וקורת הראש, ממצאים אשר מצביעים על ירידה חמורה בתפקוד הרכיבים וביכולתם לשאת את העומסים המתוכננים.

לאחר סקירת הגשר ומצבו נדגמו הבטון ופלדת הזיון לטובת בדיקת תכונות החומר במעבדה. במקרה זה מטרת הבדיקות הייתה להבין את התסבולת העכשווית של החומר לאור השפעות השריפה. בגשרים שבהם נפגעו הקורות, לא ניתן היה לבצע את החלפת הקורות באופן מידי לנוכח מגבלות האתר וזרימת המים העונתית. כמו כן, כדי לאפשר את התנועה עליו באופן זמני עד לשיקום, הגשר חושב במצב מחמיר למצבו הקיים ובוצע לו ניטור למשך כחצי שנה לטובת איתור סדיקה ושקיעה למקרה שיתרחשו.

מיסעה חדשה תוכננה לטובת החלפת הקורות הפגועות ונוסף על כך תוכנן עיבוי קירות בטון נציבי הקצה. המיסעה תוכננה וחושבה באמצעות תוכנת אלמנטים סופיים LUSAS. במרבית הגשרים לא ניתן היה לבצע סגירה מלאה של המיסעה לתנועה ולכן השיקום תוכנן בשלבים תוך שמירה על תפקוד הגשר. תכנון שיקום העמודים וקורות הראש אשר נפגעו הוא באמצעות עטיפתם ברכיב בטון נוסף, אשר תסבולתו זהה לרכיב הפגוע תוך התחברות אליו בעיגון כימי. גם בגשרים אלו לטובת ייצור הקורות הוקם מפעל קורות טרומיות

של הקבלן הוקם לטובת הייצור מפעל ליציקת קורות טרומיות, כאשר מיטות היציקה תוכננו באופן מודולרי להתאמה לממדי הקורות השונים. נוסף לו, הוקם צוות הכולל מהנדסים ומנהלי עבודה מנוסים לטובת ייצור הקורות. הקורות דרוכות דריכת אחר במפעל בכבלי 6-12 או 6-19 ומובלים מהמפעל להצבה בגשרים השונים. הקמת המפעל לוותה ביעוץ משרדנו וכך גם תהליך הייצור והדריכה כמפורט בפרק הבא.

ליווי ביצוע לפרויקט בניגריה

בכל פרויקט הנדסי וודאי שבפרויקט מורכב מסוג זה, הכולל מספר רב של גשרים ואתרים, נדרשת מעורבות גבוהה של המתכנן במשך כל שלבי הביצוע. לאורך כל שלבי הפרויקט נערכים ביקורים באתר מדי כמה חודשים באופן שוטף או טרם תחילת שלב חדש. נוסף לביקורים אלו סוכם עם חברת RCC על מערכת בקרה מלאה הכוללת אישור יציקה לכל אלמנט ואלמנט. אישור שכזה כולל רשימת תיוג חתומה ע"י צוות האתר, מדידה ותמונות המועברות בדוא"ל לאישור טרם היציקה. כמובן שסיוע ומענה לצוות האתר ניתנים באופן שוטף גם בטלפון ובשלל אמצעי המדיה הזמינים, כאשר עיקר העבודה נעשה עם מהנדס האתר. התרבות הארגונית של חברה בסדר גודל של RCC, בשילוב עם אנשי המקצוע אשר מאיישים את התפקידים באתר, יצרו אמון מלא בין הצדדים ואפשרות לליווי הפרויקט ב"שלט רחוק", תוך מעורבות מלאה בכל שלב ועניין.

סיכום

העבודה על שיקום הגשרים מבוצעת בימים אלו ומתקדמת בקצב משביע רצון יחד עם התקדמות סלילת הכביש. הפרויקט הצריך



מיילוי בגב הקיר בוצע בחול מקומי כאשר המילוי בתחום נציב הקצה ותחתיו הושלם ביציקת בחנ"מ (CLSM). יציבות הסוללות והנציב נבדקה כמה פעמים מגמר השיקום, לרבות מדידות, ונמצא כי המצב יציב ומתפקד.

שיקום תפרי התפשטות, מעקות ומדרכות

בכל 43 הגשרים בפרויקט נדרש שיקום תפרי ההתפשטות, המעקות והמדרכות. תפרי ההתפשטות הקיימים בגשרים פגועים במקרה הטוב, אך לרוב אינם מתפקדים ואף חסרים. חישוב תפרי ההתפשטות מתייחס להפרשי הטמפרטורה בתקינה הבריטית התקפה בניגריה. עבור ההתקצרות עקב זחילה והצטמקות נלקח מקדם הקטנה הנגזר מגיל הבטון, תוך חישוב העיבור הנוטר עקב תופעות אלו. סוג התפרים הוא Elastomeric cushion במידות D50 עד D80 כתלות באורכי המפתחים ובהימצאות המשכיות תרמית במיסעה. שלבי החלפת התפרים מסונכרנים עם התקדמות הסלילה בכביש כך שבקומות שבהן נדרשת סלילה טרם גמר השיקום הותקנו פרטי תפר זמניים. הם כוללים פרט פלדה לסגירת המרווח בתפר ושיריון מקומי אשר יוחלף בתפר הסופי בגמר השיקום. לאורך הגשרים הקיימים מותקנים מעקות הולכי רגל למניעת נפילה אך ללא בלימת כלי רכב. בגשרים רבים, המעקות הקיימים פגומים ואף חסרים כך שבמסגרת השיקום מוחלפים כל המעקות יחד עם המדרכות ואבני השפה. המעקות הם מבטון טרום ויציקת אבני השפה מבוצעת באתר.

הקמת מפעל ליציקת קורות גשר

לטובת ביצוע השיקומים נדרש ייצור קורות טרומיות בחתכים שונים ובאורכים הנעים בין 18 מטרים ל-24 מטרים. באתר המרכזי



מימין - זרם מים סחף את סוללת נציב הקצה, משמאל - חשיפת כלונסאות נציב קצה ותחתית הנציב



מימין - התחברות וחשיפת כלונסאות לפני שיקום, משמאל - סוללת נציב הקצה אחרי שיקום



חימין - תפר התפשטות במצב קיים, משמאל - תפר התפשטות אחרי שיקום



חימין - מעקה גשר קיים, משמאל - מעקות בטון ומדרכה חדשים

ופגיעות קשות ברכיבי גשרים המצריכות פתרונות יצירתיים אך ככל האפשר טיפוסיים לטובת שיקום הגשרים.

היערכות והתאמות של הקבלן והמתכנן לכל אורך התהליך, שכן עם התקדמות העבודה אותרו מבנים נוספים המצריכים שיקום. חלקם אף נפגעו משריפה או התנגשות לאחר גמר עבודות הסלילה בתחומם, מצב שהצריך התאמת התכנון ולוחות הזמנים לביצוע של הקבלן.

בעלי תפקידים בפרויקט

יזם: Ministry of Works, Nigeria

קבלן מבצע: RCC – Reynolds Construction Company, Nigeria

תכנון תנועה וכבישים: RCC – Reynolds Construction

Company, Nigeria

תכנון שיקומי הגשרים: קדמור מהנדסים

הפרויקט מעניין ומפגיש את צוות התכנון עם שיטות גישור שונות

*אינג' מיכה פטרי – חבר איגוד, תא מבנים, שותף במשרד קדמור מהנדסים, בעל תואר ראשון בהנדסת בניין באוניברסיטת בן גוריון ותואר שני בהנדסה אזרחית בטכניון, בעל תעודת סוקר גשרים מוסמך. מורה מן החוץ באוניברסיטת בן גוריון ובמכללת סמי שמעון.
קדמור מהנדסים בע"מ היא חברת תכנון הנדסי המתמחה בתכנון גשרים, מבנים מורכבים, תכנון בטכנולוגיית BIM ומתן שירותי בדיקה והערכת מבנים קיימים. במשך שנות פעילות החברה תוכננו על ידה מאות מבני דרך ובהם גשרים מכל הסוגים, לרבות גשרי מקטעים רבים, בארץ ובחול"ל.



הקמת מפעל באתר הקבלן לטובת ייצור הקורות הטרומיות השונות