

פארק איילון - פרויקט ייצוב קרקעות לצרכי סלילת כבישים ודרכי פארק.

דו"ח ביניים - סיכום הפרוייקט עד לתום שלב הביצוע.

דר' רפאל ירון¹, אינג' מוחמד חביב-אללה¹ ואדר' ארז לוטן², 2006
¹אום מהנדסים, ²לוטן אדריכלות ואדריכלות נוף

סקירה כללית:

טכנולוגיות שונות לייצוב קרקעות משמשות לצורך שיפור התכונות ההנדסיות של חומרי קרקע נחותים וזמינים, והבאתם למצב שבו יוכלו להחליף חומרים אחרים, יקרים יותר וזמינים פחות. כשמדובר בייצוב קרקעות לצורך שימוש בדרכי עפר, השכבות המיוצבות נתונות לעומס גבוה עקב קירבתן למקום הפעלת העומס (רכב למשל), ללא הפרדה כאספלט למשל. כמו כן, שכבות אלו חשופות יותר לשינויים בתכולת הרטיבות כתוצאה מייבוש בקיץ והרטבה בחורף. מאידך, יישום של שכבת קרקע מיוצבת מביא לחיסכון כספי בעלות הסלילה כולה.

הנזקים האופייניים ביותר בדרכי עפר ללא ציפוי עליון הם חריצים (שקעים אורכיים), הפוגעים באיכות ובבטיחות התנועה בדרך. נזקים נוספים - תופעת "לוח הכביסה", בורות ודרכי בוציות בחורף. בנוסף קיימת בעיית אבק המהווה מטרד למשתמשים בדרך.

ייצוב קרקעות פירושו תוספת חומרים שונים לקרקע הטבעית או לתערובת אגרגטים אחרת הגורמת לעלייה ניכרת בחוזק הקרקע לגזירה, ומשפרת משמעותית את יכולתה לעמוד בפני מאמצים שונים. בנוסף לחוזק חל שיפור גם בפלסטיות הקרקע, נטייתה לתפיחה, ואף הקטנה ביצירת האבק (ועל ידי כך מניעת איבוד החומר הדק בפני הדרך ומניעת ערעור יציבות מבנה הקרקע). השיטה הנפוצה לייצוב קרקעות נעשית בעזרת ציוד הנדסי מתאים על תוואי הדרך המיוצבת.

החומרים המשמשים בעולם לייצוב (בהרבה מקרים נעשה שילוב של מספר מייצבים):

- צמנט- מוסף תך הגבלה מבוקרת של תכולתו בהתאם לנתוני הקרקע. ייצוב בצמנט דורש אשפרה מסודרת, לרוב למשך שבוע במהלכו יש למנוע ככל האפשר תנועת כלי רכב בדרך המיוצבת.
- סיד- חי או כבוי (מימת הסידן) משמש בעיקר לייצוב קרקעות דקות כחרסית וטין. הוספתו משנה את מבנה מינרלי החרסית, ומביאה להקטנת פלסטיות הקרקע, לשיפור העבידות ומקטינה את הנטייה לתפיחה. בהמשך הקרקע מתחזקת כתוצאה מהריאקציות הפוצולניות (צמנטציה). דרושה אשפרה למשך 14 יום במזג אוויר חם יחסית ו-28 יום במזג אוויר קר, כדי שהתחזקות הקרקע תהיה משמעותית.
- חומרים ביטומנים שונים- משמשים כחומר דבק בין האגרגטים של הקרקע. לעתים מתקבלת שכבה אטימה למים בפני הדרך המיוצבים.
- תמלחות- ייצוב הקרקע מבוסס בעיקרו על נטיית תמיסות המלח לספוח מים מהסביבה, מה שמאפשר לקרקע להישאר ברטיבות גבוהה יחסית גם באקלים חם ויבש, כאשר הרטיבות מגבירה את התאחיזה בין האגרגטים בקרקע ואת חוזק הקרקע, ומקטינה את יצירת האבק.

- חומרי לוואי מתעשיות הצמנט, הסיד והפחם- מביאים לשיפור הדירוג של הקרקע המיוצבת, לצמצום הפלסטיות של קרקעות חרסיתיות, לשיפור הפוצולאניות ועוד. למרות שאפקט הייצוב של חומרים אלו נמוך יותר בהשוואה לאחרים, יתרונם הוא בהיותם זולים יותר.
 - חומרים ותוספים מייצור מסחרי ייעודי- עקרון הייצוב מבוסס על איטום חלקיקי הקרקע המיוצבת לשם מניעת ירידת החוזק עקב חידור מים, אדהזיה בין האגרגטים בקרקע, שינויים כימיים בקרקע ע"י ריאקציות כחילופי יונים ועוד.
- החומרים:
- א. חומרים אורגניים לא אספלטיים (הנפוץ הוא ליגנין- תוצר לוואי בייצור עץ, המדביק את חלקיקי הקרקע), מרביתם משמשים כמונעי אבק ומוספים בהתזה.
 - ב. חומרים פולימריים שונים- יוצרים רשת פולימרית במבנה הקרקע המגדילה את החוזק ע"י אדהזיה בין גרגרי הקרקע, ואוטמים גם את הקרקע בפני מים.
 - ג. חומרים בעלי השפעה אלקטרוכימית- שינוי מאפייני חלקיקי החרסית, למשל אנזימיים, חומרים יונים, אמוניום כלוריד ועוד.

התהליך התכנוני של ייצוב דרכי עפר כולל מספר שלבים הכוללים בחירת מייצב מתאים, קביעת אחוזו בקרקע המיוצבת וקביעת עומק השכבה המיוצבת. עומק הייצוב נקבע כפונקציה של חוזק הקרקע הטבעית. תהליך הביצוע של ייצוב הקרקע הוא הגורם העיקרי בקביעת הצלחת או כישלון הייצוב. במרבית המקרים תהליך זה כולל את הכנת פני השטח המיועד לייצוב ע"י עיבוד, תיחוח ופילוס הקרקע, פיזור אחיד של המייצב, הרטבה (במידת הצורך) וערבוב המייצב בקרקע, עיבוד סופי של פני הקרקע המיוצבת והידוקה לבסוף אשפחה למשך זמן מסוים לפני שניתן לפתוח את הדרך לתנועה.

רקע כללי של עבודת הניסוי:

עבודה זו מתרכזת בסלילת או בטיפול בדרכים משניות, תוך שימוש בקרקעות מקומיות וחומרים מיובאים (מרביתם נחשבים כפסולת). העבודה מתמקדת בפעולות ייצוב בשכבות עליונות בדרכי עפר בעלות תנועה דלילה של כלי רכב. המטרה הינה לספק למשתמשים בדרכים אלו (הולכי רגל, רוכבי אופניים, רכבים קלים וכן רכבי שירות בהם גם משאיות לפינוי פסולת ועוד) רמת שירות נאותה, מבחינת נוחות התנועה ובעיות אבק מינימליות בקיץ ובוץ בחורף. בנוסף, הדרכים אמורות להשתלב בתכנון האדריכלי של הסביבה, בעיקר כאשר מדובר בפארקים, דרכי יער וכדומה. כל האמור לעיל צריך להתבצע במינימום השקעה כלכלית, הנמדדת הן בהיבט של עלויות הקמה והן עלויות אחזקה לאורך זמן.

מטרת העבודה הייתה לאתר מגוון חלופות אפשרי לסלילת דרכים משניות בתחומי פארק איילון. יעדי העבודה

1. אדריכליים- סלילת דרכים שיעמדו בדרישות האדריכליות, תוך השתלבות מרבית בנוף הפארק.
2. הנדסיים- שמישות הדרכים הסלולות לאורך כל עונות השנה, כולל בחורף. ללא שקיעות בחורף ואבק בקיץ. ללא חריצה משמעותית וללא בורות.
3. כלכליים- ביצוע הני"ל בהשקעה כספית מינימלית, מתוך ראייה כלכלית לאורך זמן
4. סביבתיים- בחינת ניצול חומרי פסולת שונים בחומרי הסלילה- יתרון כלכלי וסביבתי.

תכנון העבודה בקטעי הניסוי החל בספטמבר 2005, תוך רצון לסיים לפני עונת הגשמים של חורף 2005-2006 כדי לבחון את תפקוד הקטעים בחורף. על פי התכנון יוסקו מסקנות במהלך הניסוי לאחר חצי שנה, שיסייעו בתכנון וביצוע יתר הקטעים בפארק. הניסוי בוצע בתחילת נובמבר ודצמבר 2005, וסך הכל יושמו 18 קטעי ניסוי, מרביתם באורך של כ-100 מטר כל אחד ומיעוטם באורך 50 ו-20 מטר. סך קטעי הניסוי כלל מספר סדרות של קטעי משנה, כאשר בכל סדרה משמש מייצב אחד לצורך ייצוב מספר סוגים של תערובות קרקע שונות.

פירוט החומרים ששימשו בניסוי:

בכל אחד מקטעי הניסוי בוצעה חלופה שונה של חומרי בסיס (חומרים עליהם מיושמים חומרי הייצוב) וחומרי הייצוב, שכללו:

א. חומרי בסיס- ששימשו את החומר העיקרי בתוך השכבה המיוצבת, וכללו:

- חומר מקומי- קרקע חרסיתית טבעית, שימשה כמרכיב הבסיס העיקרי.
- חומר מובא- חומר מחצבה מדורג, עם גודל גרגר מכסימלי של עד 19 מ"מ. פסולת בניין גרוסה- עם גודל גרגר מכסימלי של עד 50 מ"מ. אפר פחם תחתי- דרום אפריקאי.

ב. חומרים מייצבים- חומרים ששימשו לצורך ייצוב תערובת חומרי הבסיס, וכללו:

- חומר מסחרי מסוג RBI- מיושם כאבקה בצבע לבן.
- פולימר מסחרי מסוג Soiltac- פיזורו כנוזל מדולל במים בצבע לבן, ע"י התזה על פני השטח המוגמר או בערבוב מכני עם החומר המיועד לייצוב (השיטה שנבחרה לעבודה זו), המבטיח חדירת המייצב לעומק הרצוי, ערבוב טוב יותר בקרקע המיוצבת ועמידות גבוהה יותר לאורך זמן. בשלב האשפחה פוזרה כמות נוספת מהמייצב בהתזה, בעיקר לצורך איטום פני השטח ושיפור האשפחה של התערובת המיוצבת.
- אפר פחם מרחף- בצבע אפור. כמות האפר הייתה גדולה יחסית לכמויות המייצבים האחרים, בעיקר כתוצאה מהאקטיביות הנמוכה יחסית של החומר כחומר מייצב.
- סיד כבוי- אבקה לבנה. השימוש בו נועד לאפשר עיבוד קל יותר של החרסית המקומית ולספק ייצוב לאורך זמן. כמות הסיד הייתה כ-10% מכמות החרסית.

תהליכי הייצוב שילבו שתי שיטות עיקריות:

ייצוב מכני- ערבוב הקרקע הטבעית החרסיתית, בעלת החוזק הנמוך והרגישות הגבוהה למים, עם חומר מובא אחר גרנולרי גס יותר. המטרה היא שיפור יציבות הקרקע והקטנת רגישותה לשינויי רטיבות. ייצוב כימי- שימוש בפולימר לייצוב, כמעט תמיד על חומרים שעברו ייצוב מכני.

תהליך הביצוע:

כלל מספר שלבים:

1. ייצוב ראשוני של צורת הדרך ועיבוד הקרקע המקומית-

- א. בוצע עירום של החרסית המקומית לאורך הדרך, לצורך שימוש בהמשך בתערובת המיוצבת.
- ב. עיבוד והידוק הקרקע המקומית לדרגות צפיפות נדרשות, לשם חיזוק השכבה העליונה של החרסית המשמשת כתשתית. שלב זה כלל חרישה הקרקע, תיחוח (לקבלת הומוגניות בקרקע לשם השגת ההידוק הדרוש), הרטבת החומר המתוחח (להשגת רטיבות הקרובה לגבול הפלסטיות של הקרקע), עיבוד מדויק עם מפלסת והידוק עם מכבש.
2. תיחוח וערבוב מכני של מרכיבי הבסיס המיועדים לשמש בתערובות השונות-
- א. פיזור החומר המובא בשכבה אחידה על פני השטח ופיזור החרסית המקומית על פני החומר המובא.
- ב. תיחוח חומרי הבסיס לקבלת תערובת חומר בסיס הומוגנית.
3. הוספת החומרים המייצבים, ערבוב, עיבוד והידוק-
- א. הוספת המייצב על פני תערובת חומרי הבסיס.
- ב. ערבוב המייצב בתערובת הבסיס תוך תיחוח והרטבה קבלת חומר הומוגני ברטיבות הנדרשת.
- ג. עיבוד פני השטח על פי המפלסים ושיפועי הצד כנדרש, והידוק במכבש להגעה לצפיפות הנדרשת.
4. הסדרת צידי הדרך ואשפרה- אשפרה של הקטעים המיוצבים וכן עבודות לעיבוד צידי הדרך, הבטחת ניקוז השטח והכנת צידי הדרך לעבודות זריעה מתוכננות, כדי להקטין את זרימת המים על הדרך ולמזער בכך בעיות סחף על פני המיסעה. בהקשר לאשפרה, קיים יתרון לחומרי ייצוב הדורשים אשפרה קצרה יותר, באופן המקטין את המגבלות על החזרת הדרך הנסללת לתפקוד מלא. ל-RBI נדרשים לפחות 4 ימי אשפרה עד לפתיחת הדרך לתנועה, ול-Soiltac נדרשים 24 שעות. ביחס לשני אלה, תהליך הייצוב בסיד כבוי ארוך יותר, ובאפר המרחף עוד יותר איטי, ויכול להתחיל לבוא לידי ביטוי לאחר מספר שבועות ולהמשיך במהלך חודשים רבים. לאור זאת, בטווח זמן של ימים ושבועות ספורים אין לתהליך החיזוק של חומרים אלו (סיד כבוי ואפר מרחף) משמעות רבה, ויציבות פני המיסעה מתקבלת בעיקר מהיציבות המבנית הטובה יותר המתקבלת מהדירוג של תערובת האגרנטים והרגישות הקטנה יותר להשפעת מים.

תוצאות מעקב ראשוני לאחר סיום ביצוע:

כמעט כל קטע יחסי מתפקדים באופן סביר יחסית, בו ניתן (גם בזמן גשם) לנוע ברכב מסחרי קל על הקטע, ללא השארת חריצים ("קוליס"). יוצא דופן הוא קטע 7 בו נעשה ייצוב של הקרקע החרסיתית עם הפולימר Soiltac. בקטע זה נצפה כשל ומצב הדרך היה גרוע. כמו כן, קטעי הניסוי שיוצבו באפר פחם מרחף נראו חלשים יותר, משום שייצוב באפר הוא ממושך (חודשים) ותנועה של רכב על הקטע ימים לאחר הייצוב, עלולה לגרום נזקים לפני השטח. בקטעים אלה עם האפר המרחף חוזק השכבה העליונה הינו תוצאה של היציבות המכנית של תערובת האגרנטים.

בחלק מקטעי הניסוי חלה התרופפות הייצוב בשכבה העליונה והימצאות אגרנטים חופשיים בפני הדרך. בעיית אי ניקוז פני הדרך בחלק מהקטעים, נובעת מאי דיוק בעיצוב פני הדרך בשלב העיבוד וההידוק, טיפול לא מספק בצידי הדרך לשם מניעת חסימת נתיב ניקוז המים, ושקיעות מקומיות בקרקע הבסיס, בעיקר בקטעים הפחות יציבים בסמוך לגדת הנחל, בהם גם התרחשו רוב ההתמוטטויות, שקיעות וגלישות במדרון הצמוד לדרך.