

בדיקת ניצול אפר פחם לסלילת כבישים (סקר ספרות)

דר' מריו הופמן, 1995

יונה - ייעוץ וניהול הנדסי בע"מ

מבוא ורקע

חברת כביש חוצה ישראל בע"מ מעוניינת לבחון את ההיתכנות ההנדסית-כלכלית של ניצול עודפי אפר פחם לסלילת כבישים. הסיבות לכך הן רבות, וחלקן מפורט להלן:

- קטעים רבים של כביש חוצה ישראל עוברים בקרקעות חרסיתיות פעילות ורכות.
 - בכביש מתוכננים מילויים וסוללות רבים, בעיקר באזורי גשרים ומחלפים.
 - חומרי מילוי נבחרים וחומרי מחצבה הינם יקרים ואולי רחוקים מאתרי הסלילה.
 - קיימים עודפי אפר פחם מתחנות הכוח בחדרה ובאשקלון שצריך לסלקם לים או לאתרים מרוחקים בנגב.
 - הניסיון הקיים במדינות אחרות בניצול אפר מרחף לסלילת כבישים.
- נתונים אלו הביאו את חברת כביש חוצה ישראל בע"מ להזמין מחברת יונה - ייעוץ וניהול הנדסי בע"מ ביצוע בחינה ראשונית אשר תיתן בידה את הכלים לקבלת החלטה באם ניתן לראות באפר פחם מרכיב בביצוע הכביש. העבודה בכללותה מתייחסת לאיסוף, ריכוז וניתוח ידע קיים בנושא השימוש באפר פחם לסלילת כבישים, והיא מבוצעת בשלושה שלבים:

1. שלב א': סקירה כללית, המרכזת את הקריטריונים לבחינת ההיתכנות לשימוש באפר פחם וניתוח כללי של משמעותם.
 2. שלב ב': בדיקת התכונות ההנדסיות של השימוש באפר פחם למילוי ו/או לטיוב.
 3. שלב ג': בחינת הכדאיות הכלכלית של השימוש באפר פחם.
- הסוגיה האקולוגית-סביבתית, שמלווה לעיתים קרובות את השימוש באפר פחם, לא תידון במסגרת הבדיקה הנוכחית. נושא זה יטופל במקביל על ידי מנהלת אפר הפחם יחד עם גורמי המשרד לאיכות הסביבה.

מטרה והיקף דו"ח זה

דו"ח זה מציג את ממצאי שלב א': סקירה כללית, של בדיקת הניצול של אפר פחם לסלילת כבישים. בסעיפיו השונים, הדו"ח מכסה את הנושאים הבאים:

- הגדרת סוגי האפר השונים, תוך ציון תהליך ייצורם והרכבם המינרלוגי, הכימי והפיזיקלי.
- סקירת השימושים השונים של אפר פחם (מרחף ותחתית) בתעשיות שונות ובמיוחד השימושים לסלילת כבישים, לרבות בתערובות אספלטייות, בייצוב שכבות תשתית, מצע וקרקעות שתית, ולבניית סוללות ומילויים.
- הצגת תחזיות לכמויות אפר פחם עודפות בארץ ומידת התאמתן להיקפי סלילה מתוכננים.

סיכום

אפר פחם הינו פסולת תעשייתית הדומה מאוד לקרקע טינית עם פוטנציאל שימוש לסלילת כבישים. שימוש זה מתחלק לשלושה תחומים עיקריים:

- ייצור תערובות אספלט.
- ייצוב שתית, מצע או תשתית.
- הקמת סוללות ומלויים מבניים מאפר פחם.

בעולם הרחב מושקעים מאמצים וכספים רבים בחקירת השימושים השונים של אפר פחם (מרחף ותחתית) בסלילת כבישים. בדרך כלל, חברות החשמל המפעילות תחנות כוח על בעירת פחם הן הן שלוקחות על עצמן את קידום החקירות על הנושא. הדיבידנד מחקירות אלו יכול להיות עצום: הפיכת מיליוני טונות של פסולת תעשייתית שיש לסלקה, למשאב טבע שימושי בעל ערך כלכלי רב.

ניתן ללמוד על היקפי ותחומי השימוש של אפר פחם לסלילת כבישים בחו"ל מתוך סקר שהקיף את 50 המדינות בארה"ב ופורסם ב-1994. סקר זה מציין כי 35 מתוך 50 מחלקות הכבישים של המדינות בפדרציה מבצעות או ביצעו לאחרונה חקירות על יישומים אפשריים של אפר פחם. מתוכן, 30 מדינות חוקרות את אפר הפחם כתחליף לצמנט בבטון (שלא הוגדר כאן כיישום בסלילת כבישים). 6 מדינות חוקרות את השימוש של אפר פחם כחומר מילוי בסוללות כבישים ו-6 מדינות חוקרות את השימוש של אפר פחם לייצוב תשתיות. 5 מדינות חוקרות שימוש באפר פחם לייצוב קרקע שתית, ו-4 מדינות עורכות מחקר על שימוש באפר פחם כמלאן בתערובות אספלט.

אותו הסקר מציין את היישומים בפועל של אפר פחם לסלילת כבישים במדינות השונות. לפחות 10 מדינות השתמשו באפר מרחף להקמת סוללות כבישים ו-3 השתמשו באפר תחתית כחומר מילוי. אפר מרחף ייושם על ידי לא פחות מ-20 מדינות לייצוב תשתיות ב-35 השנים האחרונות. אפר מרחף - בעיקר סוג C עשיר בסיד - ייושם על ידי 6 מדינות לייצוב קרקעות שתית, במיוחד לטיפול בחרסיתות תופחות. לפחות 4 מדינות השתמשו באפר תחתית כאגרנט באספלט, ו-9 מדינות התנסו ביישום אפר מרחף כמלאן בתערובות אספלטיות. בנוסף לכל אלה, 7 אוניברסיטאות אמריקאיות מבצעות מחקרים על שימושי אפר פחם לסלילת כבישים.

השימוש של אפר פחם בכבישים היה בעבר מלווה בחשש שמתכות רעילות שכלולות באפר עלולות לחלחל ולזהם מקורות מי תהום. כיום מסתמנת מגמת הגמשה ברשויות העוסקות באיכות הסביבה לגבי השימוש של אפר פחם בכבישים. בארה"ב הוסרו לאחרונה מחסומים אקולוגיים רבים ואפר הפחם הוגדר כ- non-hazardous.

תחזית חברת החשמל לגבי עודפי אפר הפחם בארץ בחומש 1994-1998 מצביעה על כמויות הולכות וגדלות כל שנה. "נשר" תצרוך בין 500,000 ל-600,000 טון אפר פחם כל שנה לתעשיות המלט

שלה, המהווים בין 100% ו- 65% מסך הייצור. עד סוף החומש ב- 1998 תצטבר בתחנות הכוח בחדרה ובאשקלון כמות אפר עודפת של כ- 900,000 טון.

היקפי הניצול של אפר פחם בכבישים ביישומים השונים הם כדלקמן:

- סוללת כביש חד-מסלולי דו-נתיבי בגובה 5 מ' יכולה להכיל כ- 140,000 טון אפר מרחף בקילומטר אחד.
- קילומטר חד-מסלולי דו-נתיבי אחד של תשתית מיוצבת יכול לצרוך כ- 1300 טון של אפר מרחף ועוד 400 טון סיד. כמויות דומות נצרכות לייצוב קילומטר אחד של קרקע שתית.
- בתור מלאן בתערובת אספלט, אפשר ליישם כמות של 2% אפר מרחף ממשקל התערובת, או 20 ק"ג אפר לכל טון אספלט. בשיא הייצור של אספלט בארץ, שהגיע לאחרונה ל- 5 מיליון טון לשנה, אפשר היה לצרוך 100,000 טון אפר מרחף לשנה.

מסקנות והמלצות

1. לשימוש באפר פחם בתערובות אספלט בארץ פוטנציאל נמוך מהטעמים הבאים:
 - אין בעיות מיוחדות עם המלאנים המינרלים הרגילים.
 - סקטור האספלטים בארץ מושקע היום במאמצים לשיפור דירוג התערובות, טיב הביטומנים וסוגי התערובות.
 - אין עדיין בארץ תשתית מעבדתית מתאימה לחקירה מתקדמת של תערובות אספלט.
2. קיים פוטנציאל, אף הוא קטן, בהחדרת אפר פחם לתחום ייצוב קרקעות ואגרגטים למצעים ותשתיות. הסיבות לכך הן מובנות:
 - מתחייבת התארגנות קבלנית מיוחדת ללימוד טכניקות הייצוב באתר, כולל הבאת ציוד מתקדם מתאים
 - היקפי היישום של טכניקות הייצוב בארץ הם קטנים ויתכן ולא יצדיקו את ההתארגנות הנ"ל. ייצוב חרסיתות פעילות עם סיד - שזאת טכניקה מוכחת וידועה - לא הצליח להיקלט עדיין בארץ.
 - טיוב אגרגטים "שוליים" עם אפר פחם וסיד, בתנאי מפעל מרכזי, יכול להיות מעניין ומעשי. דרושה חקירה מעבדתית ייעודית על התכונות ההנדסיות של החומרים המיוצבים כשלב ראשון לקידום הנושא.
3. השימוש של אפר פחם לבניית סוללות ומילויים מבניים בכבישים הוא התחום בעל הפוטנציאל הגבוה ביותר בארץ. הסיבות לכך הן:
 - מילוי או סוללה מבניים ברמפה של מחלף, או בגישה לגשר, יכולים לצרוך כמויות ניכרת של אפר מרחף באתר מרוכז תוך ניצול מרבי של סילוק העודפים של חברת החשמל, מחד, וחיסכון לרשות הסוללת במילוי מובא יקר, מאידך.
 - ביישום הזה, אפר הפחם מפיק את התרומה המבנית שלו בעצמו, ללא אינטרקציה מורכבת עם אגרגטים וביטומן באספלט, או עם אגרגטים, קרקע וסיד בייצוב.

- בתנאי ביצוע ובקרה הולמים ניתן כנראה להקים סוללת אפר פחם יציבה שתעמוד בדרישות התכנון. תנאים מוקדמים הכרחיים ליישום כזה הם:
 - יש להשלים את הסקר הספרותי לגבי התכונות ההנדסיות של אפר הפחם.
 - יש לבצע במקביל חקירה מעבדתית לבחינת התכונות ההנדסיות של סוגי האפר השונים בארץ.
 - יש לכתוב מפרטי ביצוע, נוהלי בקרת איכות והנחיות למפקח באתר הסלילה.
 - רצוי לבצע ניסוי שטח של סוללה בהיקף קטן ובכביש משני על מנת לבחון את קשיי הביצוע ולאמוד את ההתנהגות של החומר בתנאי שטח.
- 4. קידום כל יוזמה של שימוש באפר פחם בכבישים מותנה בקבלת אישור מהמשרד לאיכות הסביבה. יש לתאם את כל הפעילויות בתחום זה עם אנשי המשרד ולעבוד בצורה משותפת.