

מדינת ישראל
מחלקת עבודות ציבוריות



האגף לחומרים ומחקר

מפרט כללי להקמת סוללות כבישים
עם אפר פחם מרחף או תחתי

דצמבר 2000

3	כללי	.1
3	הגדרות	.2
4	מסמכים ומפרטים תומכים	.3
4	דרישות כלליות לאפר הפחם	.4
4	העמסה והובלת אפר הפחם	.5
5	ביצוע סוללות מאפר הפחם	.6
7	בקרת איכות	.7
7	שימוש חוזר של אפר פחם	.8
8	אפר פחם וקירות תומכים	.9
8	מדידה ותשלום	.10

נספחים

9	נספח מס' 1 : הנחיות למתכנן
12	נספח מס' 2 : הנחיות למפקח

כללי .1

מפרט זה מציג את הדרישות, ההנחיות והתנאים להקמת סוללה מבנית בכבישים ע"י הנחה, פיזור וכבישה של אפר פחם מרחף או אפר פחם תחתי המיוצרים בתחנות הכוח כתוצר לוואי משרפת הפחם ליצירת חשמל.

2. הגדרות

א. אפר פחם תחתי : Bottom Ash. החומר דומה לחול גס בגוון אפור. מצטבר בשוקת מים בתחתית תנור המשמש לשרפת פחם לשם יצירת חשמל בתחנות כוח. האפר מאוחסן בערמות בחצר תחנת הכוח או באתר אחסון אחר.

ב. אפר פחם מרחף : Pulverized Fly Ash. החומר דק מאוד, דומה לאבקה או קמח בגוון אפור. נאסף במסננים אלקטרוסטטיים של תחנת הכוח. בארץ קיימים שני סוגים של אפר פחם מרחף: מותאם ומערימות.

1. **אפר פחם מותאם :** Conditioned. אפר "טרי", יבש, מאוחסן בסילו. בזמן העמסה לכלי ההובלה האפר מורטב במים למניעת פליטת אבק.

2. **אפר פחם מערימות :** Stockpiled. אפר הנערם בחצר תחנת הכוח או באתר אחסון אחר. האפר מוחזק רטוב למניעת פליטת אבק.

ג. ספק אפר הפחם : הספק של אפר הפחם המרחף והתחתי הוא חברת החשמל ישירות מתחנת הכוח בחדרה ובאשקלון או מאתר אחסון אחר.

ד. מנהלת אפר הפחם : להלן "המנהלת". גוף בין-משרדי לתאום, אישור וקידום השימוש של אפר פחם לסלילת כבישים בארץ.

ה. הקבלן : הקבלן הוא הגורם האחראי בפני מע"צ להקמת סוללת הכביש עם סוגי אפר הפחם השונים בהתאם להנחיות ודרישות של מפרט זה.

3. מסמכים ומפרטים תומכים

- א. המפרט הכללי לעבודות סלילה וגישור (מע"צ) במהדורה מעודכנת ביותר, פרק 00 "מוקדמות" ופרק 14 "עבודות עפר".
- ב. תקן ישראלי ת"י 1865 חלק 3, מאי 1999, פרק ב' בתקן "בדיקת יחסי צפיפות –רטיבות לקרקע ואגרטים", פרק ג' "בדיקת הצפיפות לקרקע, לאגרנט ולתערובות קרקע-אגרנט באתר".
- ג. ASTM-E-1861-97:
"Standard Guide for Use of Coal Combustion by-Products in Structural Fills"
ASTM-C-618
"Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete"
- 4. דרישות כלליות לאפר הפחם**
להקמת סוללת כבישים יסופק אפר פחם תחתי, אפר פחם מרחף (מותאם או מערימות). אפר הפחם המרחף יהיה מסוג F (Non-Cementitious Fly Ash) - המיוצר משרפת פחם ביטומני עפ"י תקן ASTM-C-618.
- 5. העמסה והובלת אפר הפחם**
- א. כל סידורי העמסת אפר הפחם, כניסת משאיות לתחום תחנות הכוח, אישורים לנהגים, שקילת המשאיות הריקות והמלאות וכד' הם באחריות הקבלן.
- ב. אפר הפחם יועמס על משאיות עם ארגזי מתכת חלקים לאחר שטיפה וניקיון יסודי מכל חומר אחר.
- ג. לא יועמס אפר פחם מרחף עם תכולת רטיבות מתחת ל- 20% ואפר פחם תחתי עם תכולת רטיבות מתחת ל- 14%.
- ד. מייד עם סיום ההעמסה תכוסינה המשאיות עם ברזנט לשמירת הרטיבות באפר פחם ומניעת פליטת אבק בזמן ההובלה.
- ה. כיסוי המשאיות יוסר אך ורק בזמן פריקת האפר באתר הסלילה. במשך כל זמן ההמתנה לפריקתה תשארנה המשאיות מכוסות.

1. כל משלוח של אפר פחם לסלילת כבישים במע"צ ילווה בתעודת משלוח בה יצויין:

- סוג אפר הפחם (מרחף- (מותאם או מערמות), או תחתי)
- תאריך ושעת האספקה
- משקל המשאית ומשקל האפר שבמשאית.

6. ביצוע סוללות מאפר הפחם

תהליך ביצוע סוללות מאפר הפחם כולל הכנת השטח, עבודות ניקוז (אם יש צורך), פיזור והידוק האפר וכיסוי מדרונות בקרקע טבעית.

6.1 הגבלות הביצוע

יש להימנע מפיזור אפר פחם מרחף כאשר נושבות רוחות חזקות או כאשר יש חשש שלא ניתן יהיה להדקו מייד לאחר פיזורו. איסור זה לא חל על אפר פחם תחתי.

6.2 אחסון האפר באתר

- א. אין לאחסן אפר פחם מרחף באתר הסלילה לפיזור במועד מאוחר יותר בגלל רגישותו לתכולת הרטיבות ונטייתו לגרום לפליטת אבק.
- ב. אפר פחם תחתי ניתן לאחסן באתר ולפזר מאוחר יותר. החומר יאוחסן בערמות נפרדות מחומרי סלילה אחרים על גבי שטח נקי ומיושר. במשך כל זמן האחסון ועד לפיזור תישמר הערמה במצב רטוב.

6.3 הכנת השטח

השטח יוכן בהתאם לדרישות המפרט הכללי של מע"צ, פרק 14, כולל ביצוע עבודות ניקוז תת-קרקעי (אם יידרש בתוכניות או במפרט מיוחד).

6.4 פיזור

- א. פריקת אפר הפחם המרחף מהמשאיות תיעשה בסמוך למקומו המיועד בסוללה. אפר הפחם יפוזר מיד לאחר פריקתו.
- ב. שני סוגי האפר יפוזרו באמצעות מפלסת בלבד בשכבות לכל רוחב הסוללה המתוכננת. עובי השכבות לא יעלה על 20 ס"מ לאחר הידוק.

בזמן הפיזור יש להבטיח שמירת רטיבות גבוהה באפר הפחם למניעת התעופפותו ברוח.

- ג. אם לא נאמר אחרת בתוכנית או במפרט המיוחד, אין לפזר את שני סוגי אפר הפחם באותו חתך בכביש (אחד על גבי השני).
- ד. אם לא נאמר אחרת בתוכניות או במפרט המיוחד, אין מניעה לפזר את שני סוגי האפר הפחם לסירוגין לאורך הכביש בחתכים שונים.
- ה. אם לא נאמר אחרת בתוכניות או במפרט המיוחד אפשר למלא שכבות אפר פחם מרחף עד לגובה של 1.0 מ' מתחת למפלס המצעים. שכבות אפר הפחם התחתי, לעומת זאת, יכולות להגיע עד לתחתית שכבת המצעים.
- ו. אין להשתמש באפר פחם מרחף או תחתי להחלפת קרקע מקומית או באזורי חפירה. אפר הפחם לא יימצא מתחת למפלס הקרקע הסובבת ואין ליצור "אמבטיות" מאפר פחם שיכולות לאגור מים לפני הקרקע.

6.5 הידוק

- א. הקבלן יספק למפקח נתוני צפיפות-רטיבות מעבדתיים לפי ת"י 1865 (נתוני " 100% צפיפות") של כל מקורות אפר הפחם המרחף והתחתי בתדירות של פעם ביום, או כל פעם שסוג החומר או מקורו משתנים במהלך האספקה והפיזור.
- ב. אפר הפחם המרחף יהודק מייד עם פיזורו עד דרגת צפיפות מינימלית של 92% מהצפיפות היבשה המקסימלית עפ"י שיטת מודיפייד פרוקטור (ת"י 1865) ברטיבות אופטימלית.
- ג. אפר הפחם התחתי יהודק מייד עם פיזורו עד דרגת צפיפות מינימלית של 95% מהצפיפות היבשה המקסימלית עפ"י שיטת מודיפייד פרוקטור (ת"י 1865) ברטיבות אופטימלית.

ד. לאחר אישור שכבת אפר הפחם המרחף מהודקת, ועד לכיסויה בשכבה חדשה של אפר פחם או חומר אחר, ידאג הקבלן על שמירת פני השכבה במצב רטוב. לשם כך תוחזק מכלית מים באתר הסלילה שתפזר מים באופן רצוף על פני השכבה המהודקת. יש להימנע מהרטבת יתר שעלולה להזיק לשכבה ולשבש את עבירותה. הדרישות הללו לא חלות על שכבת אפר פחם תחתית.

ה. יש להדק את שכבות אפר הפחם באמצעות מכבש פלדה ויברציוני עד להשגת דרגת הצפיפות הנדרשת.

6.6 הגנת מדרונות אפר פחם מפני ארוזיה

הקבלן יכסה את מדרונות אפר הפחם בקרקע טבעית או חומר מילוי טבעי אחר תוך כדי הקמת הסוללות ובהתאם לתוכניות, ו/או למפרט מיוחד או לפי הוראות המפקח.

אין להשאיר מדרונות אפר פחם חשופים ללא כיסוי מחשש לארוזיה של פני המדרון והתעופפות ברוח של אפר הפחם. בהעדר הנחיות אחרות, יבוצע כיסוי בצידי סוללת אפר הפחם ברצועות של 2 מ' רוחב לכל הפחות עם חומר מילוי מאושר, בשכבות מהודקות ומאושרות בבקרה מלאה. רוחב רצועות הכיסוי יהיה כזה שיאפשר תנועתם ועבודתם של כלים מכניים כבדים.

רצועות הכיסוי עצמן תוגנה מפני ארוזיה כדי להקטין חדירות מים לתוך הסוללה. הגנת שכבת כיסוי תבוצע בשיטות ובחומרים הנהוגים במע"צ למטרה זאת, ובהתאם לתוכניות או להוראות המפקח.

7. בקרת איכות

בקרת האיכות של עבודות הסלילה להקמת סוללות עם אפר פחם מרחף ותחתית תיעשה על פי כל הנהלים המחייבים של פרק 14 של המפרט הכללי של מע"צ.

8. שימוש חוזר של אפר פחם

מאחר והשימוש באפר פחם לסלילת כבישים מותנה באישור המוסדות הממונים על איכות הסביבה, אזי אין להתיר שימוש חוזר של אפר פחם לקוח מסוללות שפורקו ללא אישור מפורש. אם קיים צורך לפרק סוללת אפר פחם קיימת, ואין אישור לשימוש חוזר של החומר במקום אחר, אזי יש לפנות את אפר הפחם לאתר סילוק מאושר. לאור הנ"ל אין להשתמש באפר פחם מרחף ותחתית להקמת סוללות זמניות.

9. אפר פחם וקירות תומכים

שימוש באפר פחם כחומר מילוי מאחורי קירות תמך או מבנים אחרים מחייב אישורה של מע"צ באמצעות המתכנן. הקבלן לא ישתמש באפר פחם מאחורי קירות תומכים ללא תוכניות או מפרט מיוחד המסדירים שימוש זה.

10. מדידה ותשלום

10.1 מדידה

מדידת נפח המילוי בסוללת אפר הפחם תיקבע לפי נוהל המדידה של מילוי מובא בפרק 14 של המפרט הכללי. נפח המילוי יכלול גם את נפח רצועות ההגנה מפני ארוזיה בצדי הסוללה.

10.2 תשלום

סוללת אפר הפחם תשולם עפ"י מחיר מ"ק. המחיר יהווה תמורה מלאה עבור חומר המילוי (אפר הפחם וחומר המילוי ברצועות צדיות), העמסה, הובלה, פריקה, פיזור בשכבות והידוקן, מים להידוק ושמירה על רטיבות השכבות.

המחיר הנ"ל יהווה תמורה מלאה לשכר העובדים והפועלים, החומרים, הכלים, הציוד וכל ההוצאות האחרות הכרוכות בביצוע העבודה.

10.3 פריטים לתשלום

תאור	יחידת תשלום	פריט מס'
הקמת סוללה עם אפר פחם מרחף	מ"ק	
הקמת סוללת עם אפר פחם תחתי	מ"ק	

נספח מס' 1

הנחיות למתכנן

- א. החלטת מע"צ להשתמש באפר פחם בפרוייקט סלילה מסוים תלויה בקיום הכמויות הנדרשות אצל הספק, ובקבלת אישור מהמשרד לאיכות הסביבה. מנהלת אפר הפחם או חברת החשמל תסייע למע"צ בבדיקת הכמויות החזויות בהתאם ללוח הזמנים של הפרוייקט ובקבלת האישור הסביבתי.
- ב. האישור הסביבתי יכול להיות מלא או חלקי עם מגבלות מסוימות שיש להקפיד למלא אותן. יתכן ובאזורים מסוימים בארץ לא יינתן אישור לשימוש באפר פחם מחשש לזיהום מי תהום או משיקולים אחרים.
- ג. המתכנן אחראי לבדוק ולאשר את הסוגייה האקולוגית/סביבתית של השימוש באפר פחם בפרוייקט. עם קבלת האישורים הנדרשים יכין המתכנן חתכים טיפוסיים, מפרט מיוחד וכתב כמויות לסעיפי אפר הפחם כמקובל.
- ד. טבלה מס' 1 מציגה תכונות הנדסיות טיפוסיות של אפר פחם מרחף ותחתי כפי שנתקבלו במספר פרוייקטים בארץ

טבלה מס' 1: תכונות הנדסיות טיפוסיות של אפר פחם מרחף ותחתי בארץ

אפר פחם תחתי	אפר פחם מרחף	תכונה / פרמטר
85-100	100	דרוג עם שטיפה, % עובר
30-50	100	▪ נפה #4
10-25	90-100	▪ נפה #40
		▪ נפה #200
NP	NP	גבולות אטברג
A-1-b	A-4	מיון לפי AASHTO *
2.2.0-2.40	2.10-2.40	משקל סגולי, G_s
1,200-1,500	1,000-1,400	צפיפות מכסימלית (מודיפייד), ק"ג/מ"ק
18-25	20-35	רטיבות אופטימלית, %
25-35	20-30	CBR, %
		גזירה מרחבית מנוקזת:
1.0-2.0	0.10-0.30	▪ C, קוהזיה, ק"ג/סמ"ר
30-35	25-35	φ, זווית חיכוך, °

* לתשומת לב: לפי AASHTO בדרך כלל ממוינים רק חומרים טבעיים

in/תשתיות/סלילה/יונה – מפרט מע"צ לסלילה באפר פחם, דצמבר 2000 - 33581

- ה. המתכנן יכין פרט מיוחד המתאר את אופן הכיסוי וההגנה של סוללות אפר פחם מפני ארוזיה של הנגר העילי ושל הרוח. התרשימים הרצ"ב יכולים לשמש דוגמא להכנת הפרט הנ"ל. חלק א' מראה את הפרט עבור המקרה עם אפר פחם מרחף, וחלק ב' מראה את הפרט הטיפוסי עבור המקרה עם אפר פחם תחתי.
- ו. אין לתכנן את שני סוגי אפר הפחם באותו חתך בכביש (אחד על גבי השני).
- ז. אין מניעה לכאורה לתכנן את שני סוגי אפר הפחם לסירוגין לאורך הכביש בחתכים שונים, אך יש לדאוג לתיעוד ורישום החתכים בהם מוכנס כל סוג חומר.
- ח. אפשר למלא שכבות אפר פחם מרחף עד לגובה של 1.0 מ' מתחת למפלס המצעים. שכבות אפר הפחם התחתי, לעומת זאת, יכולות להגיע עד לתחתית שכבת המצעים.
- ט. אין להשתמש באפר פחם מרחף או תחתי להחלפת קרקע מקומית או באזורי חפירה. אפר הפחם לא יימצא מתחת למפלס הקרקע הסובבת ואין ליצור "אמבטיות" מאפר פחם שיכולות לאגור מתחת לפני הקרקע.
- י. חומר המילוי ברצועות הצדדיות יענה לדרישות של מילוי מובא של המפרט הכללי של מע"צ, סעיף 14.6.
- יא. המתכנן יפנה לאגף גשרים ומבנים של מע"צ לקבלת אישור לשימוש באפר פחם מאחורי קירות תומכים או במגע עם מבנים אחרים. אם מתקבל אישור, יכין המתכנן פרט מיוחד המתאר את אופן מילוי השכבות ופן הביניים בין הקיר/המבנה לאפר הפחם. המתכנן יקבע אם יש צורך באלמנט מנקז או גיאומברנה מפרידה וכד', בין המבנה והאפר.
- יב. תחתית השכבה התחתונה של אפר הפחם מרחף או תחתי תימצא ברום של לפחות 30 ס"מ מעל למפלס המים הגבוה ביותר הצפוי בתעלות ניקוז לאורך סוללת הכביש.

יג. הנסיון בשימוש באפר פחם לסלילת כבישים בארץ מוצג במספר מקורות ספרותיים וביניהם :

- בדיקות ניצול אפר פחם לסלילת כבישים, חלק א': "סקר ספרותי" הוגש לחברת כביש חוצה ישראל בע"מ ע"י יונה- יעוץ וניהול הנדסי בע"מ, 1/1995.
- בדיקת ניצול אפר פחם לסלילת כבישים, חלק ג': "בחינת הכדאיות הכלכלית", הוגש לחברת כביש חוצה ישראל בע"מ ע"י יונה- יעוץ וניהול הנדסי בע"מ, 5/1995.
- בדיקת ניצול אפר פחם לסלילת כבישים, חלק ב': "תכונות הנדסיות", הוגש לחברת כביש חוצה ישראל בע"מ ע"י יונה- יעוץ וניהול הנדסי בע"מ, 2/1996.
- יונה- יעוץ וניהול הנדסי בע"מ, "ניסוי עם אפר פחם בכביש הגישה לגיסר אל-זרקא- דו"ח ביצוע ובקרת איכות", הוגש לאגף לחומרים ומחקר של מע"צ ולמנהלת אפר הפחם, 1/1998.
- יונה- יעוץ וניהול הנדסי בע"מ, "ייצוב שתית חרסיתית עם אפר פחם מרחף- דו"ח ביצוע ובקרת איכות", הוגש לאגף לחומרים ומחקר של מע"צ, 10/1999.
- יונה- יעוץ וניהול הנדסי בע"מ, "שימוש באפר פחם בסוללות הגישה למחלף גנות- דו"ח ביצוע ובקרת איכות", הוגש למחוז ת"א והמרכז של מע"צ, 4/2000.

הנחיות למפקח

- א. המפקח ירשום באופן מדויק ומלא את החתכים, הכמויות, הסוגים וכד' של אפר פחם שהוכנסו בסוללות הפרוייקט בדו"ח ביצוע ובקרת איכות ייעודי.
- ב. יתכן ואפר הפחם המסופק לאתר מיוצר ממקורות פחם שונים ולכן הוא הטרוגני. ההטרוגניות הזאת יכולה להתבטא בשינוי צבע, מרקם וגרנולומטריה, משקל מרחבי וכד'. כל פעם שמתגלה שינוי במקור הפחם יהיה צורך לקבוע את "צפיפות ה- 100%" שלו. עפ"י מפרט זה קביעת "ה- 100%" של אפר הפחם היא באחריות הקבלן.
- ג. דרגת הצפיפות של שכבות אפר הפחם המהודקות היא פרמטר הבקרה העיקרי. יתכן ולא ניתן יהיה לקבוע במהימנות דרגת צפיפות עם מד גרעיני. לכן, יש לערוך בקרת הצפיפות בשדה באמצעות חרוט החול והמד הגרעיני במטרה לפתח מקדמי קורלציה/תיקון בין שתי השיטות. במידה ולא תושג קורלציה אמינה, אזי יש להמשיך ולקבוע שיעור ההידוק באמצעות שיטת חרוט החול בלבד.
- ד. דרך נוספת לבקרת דרגת הצפיפות היא ע"י הקשר בין מס' מעברי הכבישה לצפיפות היבשה של שכבת אפר הפחם. קשר זה ייבנה בחלקת ניסיון באורך 50 עד 100 מ' בה תיקבע דרגת הצפיפות כפונקציה של מס' מעברי הכבישה. לאחר מכן ניתן לקבוע את דרגת הצפיפות באופן עקיף מתוך בקרה על מס' מעברי כבישה, ובלבד ששכבת אפר הפחם תהיה בתכולת רטיבות מתאימה.
- ה. שכבת אפר הפחם המרחף המהודקת תורטב באופן שוטף עד לכיסוייה בשכבה אחרת של אפר פחם או חומר אחר. הרטבה בלתי מספקת של השכבה תגרום להתייבשותה ולהתעופפותה ברוח. יחד עם זה, הרטבת יתר עשויה לגרום לבוץ ולבעיות עבירות.
- ו. המפקח יוודא שהקבלן מכסה את דפנות סוללת אפר פחם ללא דיחוי תוך כדי הקמתה. לפני כן יוודא המפקח שפרט כיסוי הדפנות הוכן ע"י המתכנן בהתאם לנאמר במפרט הכללי. ללא כיסוי כזה, מדרון סוללת האפר רגיש מאוד לארוזיה של מים ורוח.