



06-12-2011

בחינת תשטיפי תערובות צמנטיות המכילות אפר מרחף

הצעת מחקר המוגשת למנהלת אפר הפחם
ד"ר נדיה טויטש

מבוא

שמוש באפר פחם בישראל בתחום התשתיות, הבניה והחקלאות תלוי באפיון האפר והגדרתו כ- "אפר בר שמוש". קריטריון זה הוא תלוי יישום ונקבע על סמך הערכת שטיפת המתכות תחת התנאים הסביבתיים הנוצרים ביישום האפר הספציפי.

אפר מרחף יכול לשמש כמלאן פוצולני בתערובות צמנטיות המיועדות ליישום למטרות שונות בתת הקרקע.

בחני"מ וגראוט הינם שני סוגי מלאנים בהם אפר פחם מוסף לתערובת. בחני"מ (בטון בעל חוזק נמוך מבוקר; Controlled Low Strength Material - CLSM) נועד למלא חללים (תעלות, בורות וכד') כתחליף למילוי חוזר של קרקע או כתחליף למילוי בחול טבעי או במוצרי מחצבה דקים ולכן נדרש חוזק נמוך (0.5-2.0 מגפ"ס אחרי 28 יום). החומרים מהם מיוצר הבחני"מ זהים למרכיבי הבטון אך שיעוריהם בתערובות שונים, בהתאם לחוזק ולתכונות אחרות, בהתאם ליישום המתוכנן. נוכחות האפר בתערובת מגדילה את העבידות, משפרת את תכונות הזרימה של החומר ומקטינה את תצרוכת המים, בשל החלקיקים הדקים והכדוריים שמאפיינים את האפר.

הגראוט נועד למילוי סדקים בסלע ו/או מילוי בין הבטון היצוק כעטיפה לסלע (בטון מותז או פלטות) ולפיכך החוזק הנדרש יכול לנוע עד ל- 10-20 מגפ"ס. ההבדל ביניהם הוא הרכב התערובת ובמיוחד תכולת הצמנט. כמות הצמנט בבחני"מ היא 80-120 ק"ג למ"ק (והתערובת תכיל מוסף כולא אויר משפר זרימה) ואילו בגראוט כמות הצמנט יכולה להגיע עד 800 ק"ג למ"ק.

בשל הכמות המועטה של אפר הפחם בתערובת הבחני"מ שימשו ביישומי תשתית מינורי בגלל העלות הכלכלית (שימוש בפסולות וחומרי מחצבה דקים זמינים) ואילו בגראוט השימוש באפר פחם נפוץ יותר. מאידך, בשל יעוד הגראוט בעיקר למילוי תשתיות, השימוש בו הוא בכמות מוגבלת.

ביישומי תשתית עשויים הבחני"מ והגראוט לבוא במגע עם מי נגר ואף עם מי תהום, ולפיכך יש לבחון את מידת השטיפה של יסודות מזהמים כתוצאה מהוספת אפר לתערובת. במחקרים אחדים בהם נבחנו תשטיפים מתערובות צמנטיות המכילות אפר פחם כמו גם מבדיקות ראשוניות שנערכו לפני מספר שנים במכון הגיאולוגי, נמצא כי ריכוזי היסודות המזהמים בתשטיפים נמוכים מרמת הסף המוגדרת ע"י הרשויות להגנת הסביבה לסיכון מי התהום. בנוסף, נמצא שהעיסה הצמנטית מפחיתה משמעותית את מסיסות המזהמים שבאפר. מכאן, הנחת העבודה היא שתערובות צמנטיות מכילות אפר הינן בטוחות לשימוש בתת הקרקע ואינן מסכנות את מי התהום.



מטרת המחקר

קביעת ריכוזי יסודות קורט בכלל ומתכות מזהמות בפרט המשתחררים מתערובות צמנטיות המכילות אפר פחם בהרכבים המייצגים מוצרים הנפוצים ביישומים בישראל. בחינת תשטיפי התערובות המכילות אפר והערכת ריכוזי היסודות הצפויים להשתחרר מתערובות צמנטיות יאפשרו הגדרת תנאים לשימוש באפר פחם מרחף ביישומי תשתית.

מתודולוגיה

אפר פחם ישולב בתערובות מייצגות של בחנ"מ וגראוט המשמשות בישראל (טבלה 1). קוביות שיוכנו מתערובות אלו ייבדקו על פי הפרוצדורה EA NEN 7375:2004 המכונה גם tank test ומשמשת לאפיון תשטיפים של מרכיבים איאורגניים ממונוליט המיוצר מפסולות מוצקות כולל פסולות חומרי בנייה. תרומת האפר בתערובות תיבחן בהשוואה לתערובות ללא אפר. תהליך המיצוי הכולל שמונה שלבים עד ל-64 יום יבוצע על קוביות זהות שהושארו לזמני אשפרה שונים (7, 28 ו-90 ימים¹). המיצוי לכל הרכב קוביה ולכל זמן אשפרה יבוצע בדופליקטים ובמקרה של שונות גבוהה יבוצע טריפליקט. בשלב ראשון תיבדק התערובת בתכולה המרבית של אפר בכל אחד משני המוצרים, עם אפר המאופיין בריכוזים גבוהים של יסודות מזהמים (ממקור קולומביאני) ובעל אקטיביות פוצולנית נמוכה יחסית אשר צפוי לשחרר מזהמים בריכוז גבוה ביותר. אם תוצאות בדיקה זו יחרגו מקריטריון הסף ליישום בקרקע בשל הוספת האפר, תישקל בחינה של הרכבי תערובות עם אפרים בהרכב כימי שונה ובדרגות פוצולניות שונות. באופן דומה, אם התשטיפים הראשוניים שיתקבלו מתערובות המכילות אפר פחם שהושארו לזמן אשפרה של 28 ימים הינם מתחת לקריטריון הסף, לא יהיה צורך בבדיקת זמן אשפרה של 90 יום.

שיטות עבודה

1. הכנת הקוביות

הכנת קוביות של 10*10*10 ס"מ בתערובות מייצגות של בחנ"מ וגראוט ייוצרו במעבדת מכון התקנים על פי הנחיות אינג' גדעון אירוס, יועץ מנהלת אפר הפחם. הקוביות ייוצרו בתוך תבניות פלסטיק שנוקו מראש על מנת למנוע זיהום מהתבניות.

המדגם הטרי יונח לאשפרה במקום מוגן בתנאי רטיבות (80%) וטמפרטורה (20 ± 2 מעלות צלזיוס) מבוקרים לפרקי זמן שונים: 7, 28 ו-90 יום. תקופות האשפרה השונות נבחרו מסיבות הנדסיות ונועדו לאפשר התחזקות של הבטון. בדרי"כ הבטון משלים את מרבית תהליך ההתחזקות עד 28 יום. אם הבטון לא עומד בדרישת התקן לגיל זה אין פירוש הדבר שיש לפסול את הבטון אלא יש לבדוק אותו בגיל 90 יום. זמן אשפרה של 7 ימים הוא מינימלי ומייצג את השימוש המיידי לפני התחזקות הבטון. יש לצקת קוביות נוספות לאפיון פיסיקלי (משקל, שטח פנים וכדומה) של הרכב נתון (לפחות קוביה נוספת לכל הרכב וזמן אשפרה). בדיקות האפיון מתוקצבות חלקית לביצוע במסגרת המכון. בדיקות אפיון הכרוכות בעבודת מעבדות אחרות (למשל שטח פנים בשיטת BET) יישקלו ע"י הצוות המקצועי לאור ממצאי הבדיקות במכון ויתוקצבו בנפרד.

2. הליך המיצוי

הליך המיצוי נעשה על פי פרוצדורה EA NEN 7375:2004 (להלן הפרוצדורה). לפני תחילת המיצוי יש לשקול את הקוביה במצב יבש (לאחר ייבוש ב-105 מעלות צלזיוס) על מנת להעריך את שטח הפנים

¹ בדיקות בגיל 90 יום נדרשות בפרוטוקול BRE האנגלי לגראוט בשיקום מכרות

האפקטיבי שלה. הכנסת הקוביה למיכל שעבר ניקוי מקדים עם 1M HNO_3 והנחה על גבי בסיס עשוי רשת מפלסטיק (להבטיח מגע של כל שטח פני הקוביה עם המים). יש לאפיין את שטח הפנים של הקוביה על ידי שקילתה כמות המים הנדרשת לפי הפרוצדורה היא 2 עד 5 מנפח המדגם ובכיסוי של לפחות 2 ס"מ מכל צידי המדגם. אין לערבב את המים.

המיצוי נערך בשמונה שלבים (טבלה 2) שכל אחד מהם כולל:

א. מילוי מים נטולי יונים (מים מזוקקים) בקצב איטי מלמטה למעלה (לאפשר שחרור אוויר כלוא במיוחד בפעם הראשונה).

ב. לקיחת דוגמא של כ-50 מ"ל לאנליזות כימיות וריקון שאר הכמות למיכל אחר.

ג. מדידת חומציות ($\text{pH} \pm 0.05$) ומוליכות ($\pm 1\%$) בתחילת תהליך המיצוי ובסיום כל אחד מהשלבים.

ד. סרכוז הדוגמא לפני אנליזה.

ה. שמירת דוגמא מדגמית לצורך אנליזות נוספות.

הזמן הנדרש מתום היציקה ועד לסיום תהליך המיצוי הוא 154 ימים ולוח הזמנים לבדיקות מסוכם בטבלה 3 וכולל את מספר הקוביות הנמצאות במיצוי בכל שלב.

3. אנליזות כימיות

הפאזה הנוזלית המתקבלת בכל אחד מהשלבים תבדק לתכולת יסודות הקורט

.Ag, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Th, U, V, Zn

הריכוזים ימדדו באמצעות ICPMS למעט ריכוז כספית שימדד ב-AF.

ריכוזי המרכיבים הכימיים יחושבו בנפרד לכל שלב מיצוי ולאחר מכן יחושב הריכוז המצטבר לדוגמא:

א. ריכוז היסוד בנוזל התשטיף ($\mu\text{g/L}$) בכל מיצוי.

ב. ריכוז היסוד ביחס לשטח הפנים של הדוגמא ($\mu\text{g/m}^2$) בכל מיצוי.

ג. הריכוז המצטבר של היסוד ביחס לשטח הפנים של הדוגמא; שווה לסכום של כל השלבים המחושבים בסעיף ב'.

ד. הריכוז המצטבר של היסוד בפרק זמן ביחס לשטח הפנים של הדוגמא; שווה הריכוזים המצטברים עד לכל שלב (כלומר השלב הנוכחי והקודמים לו). חישוב זה מאפשר לאפיין את שלבי התהליך השונים.

טבלה 1: הרכבי תערובות בחנ"מ (CLSM) וגראוט לבדיקה (ק"ג)

בחנ"מ

#	צמנט	אפר פחם	חול מחצבה או מודרג	מים	סה"כ	מוסף כימופיל
1	80	200	1300	200	1780	1.0 ק"ג למ"ק או 1.25%
2	120	400	1250	250	2020	כנ"ל
3	150	-----	1500	300	1950	2.0 ק"ג ל מ"ק

גראוט

#	צמנט	אפר פחם	חול מחצבה או מודרג	מים	סה"כ	מוסף
1	400	800	200	400	1800	-----
2	800	400	300	300	1800	-----
3	800	-----	650	300	1750	-----

טבלה 2: שלבי המיצוי

שלב מספר	משך זמן המיצוי (ימים)
1	0.25 ± 10%
2	1 ± 10%
3	2.25 ± 10%
4	4 ± 10%
5	9 ± 10%
6	16 ± 1
7	36 ± 1
8	64 ± 1

טבלה 3: לוח זמנים לבדיקת הרכב תערובת עם/ללא אפר פחם לשלוש תקופות אשפרה; יציקה בזמן 0.

ימים	אשפרה 7	אשפרה 28	אשפרה 90	קוביות בהליך מיצוי	בלנק
0-7				0	
7-28	+			4	
28-71	+	+		8	+
71-90		+		4	+
90-92		+	+	8	+
92-154			+	4	

