

31.8.2004

שימוש באפר פחם תחתית למילוי בורות להטמנת מתקני גז ודלק תת-קרקעיים

(1) הצגת הבעיה:

מתקנים תת-קרקעיים עשויים ממתכת למטרות שונות (מיכלי גז ודלק – צנרת תת-קרקעית) נטמנים בקרקע כאשר הם עטופים ומרופדים בחול, בדרך כלל חול דיונות. מטרת המילוי לרפד את האובייקט כדי שזה לא יקבל מכות ופגיעות מכאניות בציפוי תוך כדי התקנתו, וכן כדי לחלק את העומסים והכוחות המכאניים המופעלים על האובייקט התת-קרקעי כתוצאה ממאמצים של תחבורה העוברת מעל מקום הטמנת האובייקט המתכתי התת-קרקעי. המילוי חייב לאפשר חיזוק מאוזן וחלוקת כוחות מכאניים מבלי לגרום לקורוזיה גלונית של הפלדה הטמונה במילוי הנ"ל. לכן חומר המילוי לעמוד בדרישות מחמירות של אי-גרימת קורוזיה תת-קרקעית גם אם המילוי נרטב במים המחלחלים דרך הקרקע בסביבה מעל לצובר הטמון.

זה שנים משתמשים בחול דיונות (אסור להשתמש בחול ים שהינו מלוח. דרישה שקשה למלא ללא בדיקות מחמירות כי חול דיונות שהינו בלתי מזיק נמצא רק מטרים ספורים מחול ים מלוח קורוזיבי). עם התמעטות חול דיונות, המהווה כאמור חומר מועדף, מתעורר ביקוש הולך וגובר לתחליף אשר ימלא את כל הפונקציות אותן מקנה חול דיונות מ ב ו ק ר.

אחד החומרים הזמינים הינו אפר פחם תחתי (bottom ash), אשר מהווה כ-10% מכלל כמות האפר המיוצר בתחנות הכוח הפחמיות. אפר התחתית נוצר כתוצאה מהתלכדות החלקים המינראליים הכבדים יחסית המתקבלים תוך שרפת הפחם ושוקעים בברכת הקירור הנמצאת בתחתית הדוד. האפר התחתי המורטב מפונה מהבריכה בעזרת מסוע אל מיכלי האחסון, ומשם לערמת אחסון ביניים בחצר תחנת הכוח. האפר התחתי מובל לשימוש במשאיות מכוסות ברזנט. אפר זה נראה כחול גס בצבע אפור כהה, כאשר גודל החלקיקים לא עולה על 10 מ"מ. קיימת אפשרות מיון של האפר התחתי לפי גודל כדי לקבל גם תוצר של גרגרים יותר עדינים. במקרה זה הסיכוי שמילוי אפר הפחם יפרוץ את העטיפה החרושתית או יפגע בה מכאנית, הינו זניח.

(2) היבט הקורוזיה

השאלה העולה תמיד כאשר מדברים על מגע של פלדה עם תוצר ממוצא "פחם" – האם לא עלולה להיווצר קורוזיה בגין המילוי?
ביזמת "מנהלת אפר הפחם" – ערך משרדנו המתמחה זה 40 שנה במניעת קורוזיה, שורת ניסויים במשך מספר חודשים, כדי לוודא מעל לכל ספק שהשימוש באפר הפחם בתנאי התקנה תקינים של צוברים אכן אינה גורמת לסכנה של קורוזיה.
כדי לבחון נושא חיוני זה, יש להתמקד ביחסי הגומלין בין מלוי מסביב לצובר או האובייקט התת-קרקעי ובין **רמת העטיפה של הפריט**. כל הצוברים בעולם ובישראל עטופים כיום בעטיפה משוכללת אשר נבדקת על ידי גורמים מוסמכים לפני הכיסוי. תמיד תתכן פגיעה מכאנית אך זאת מגובה על ידי הגנה קתודית משלימה כך שהציפוי מהווה רק את קו ההגנה הראשוני נגד הקורוזיה. זאת אומרת הפלדה "רואה" תחילה את הציפוי החרושתית, אחרי זה את המילוי ואחרי זה את הקרקע הטבעית של הסביבה. לכן כדי שתיווצר קורוזיה, חייבת העטיפה החרושתית להיפרץ תחילה על ידי המילוי.
למרות זאת, עלינו להתייחס למקרה הבלתי סביר: מה יקרה אם במרוצת הזמן אכן העטיפה תינזק ואז פלדת הפריט (הצובר) "תראה" את המילוי.

בהנדסת קורוזיה ממיינים קרקעות וסביבות על פי הקריטריון של "התנגדות סגולית" הנמדדת ביחידות אוהם X סנטימטר. התנגדות סגולית זאת באופן פיזיקאלי מסכמת את ההשפעות והריכוזים של כימיקלים הנמצאים

עמוד 1 מתוך 7

in/תשתיות/תת קרקעי/ברגר - BergerFinalReport310805

במילוי או בסביבת המילוי בקרקע הסמוכה. התנגדות סגולית של כמה אלפי אוהם x סנטימטרים (3000 ומעלה) איננה נחשבת כמסוכנת.

משרדנו ערך מספר רב של בדיקות במעבדתנו בדגימות אפר תחתית אשר סופקו לנו מאתרים שונים. ערבבנו את הדגימות במים מזוקקים והתנגדות הסגולית לא פחתה מערכים של 3000-4000 אוהם x סנטימטר. בתקנים הבינלאומיים, ערכים אלו אינם נחשבים כ- "קורוזיביים".

נותרה בעיה נוספת: האם ערמות האפר המוערמות בחצר תחנת הכוח הינן הומוגניות ביחס לעומק והאם קיימים הפרשים משמעותיים בהתנגדות הסגולית ביחס לעומק בשכבות שונות של המערום. השתמשנו בשיטת Wenner המסוגלת למדוד התנגדות סגולית מעל פני הקרקע לעומקים שונים של הערימה. גם כאן לא מצאנו הבדלים והפרשים בין עומקים שונים של הערימות.

המסקנה: אפר פחם תחתית כתוצר בעירה מהווה מדיום הומוגני.

הבדיקה אינה מסוגלת לקבוע אם אין בערימה אבנים או גושים קשים. אם נחזור לדוגמת חול הדיונות – שם על פי הניסיון אין אבנים או סלעים – במקרה שלנו דרושות נפות לניפוי, כדי לוודא שאכן גם באפר אין גושים חדים וגדולים המסוגלים לפצוע את העטיפה וכדי לקבוע סטטיסטית שסכנה של פגיעה בעטיפה היא בעלת סבירות נמוכה.

בסיכום – מבחינת הנדסת קורוזיה אין מניעה להשתמש באפר פחם כמילוי של צוברים המוגנים ממילא בהגנה קתודית משלימה. אולם לשם בטחון, רצוי מדי פעם לוודא שתנאי השרפה בתחנות הכוח לא השתנו ולכן דרוש ליווי מתמיד של מהנדס קורוזיה אשר יערוך בדיקות אקראיות וילווה את ההפקה כדי לוודא שהפרמטרים הבסיסיים לא השתנו.

נספח 1

בדיקת התנגדות סגולית של דגימות אפר פחם תחתית אשר נאספו באקראי ונמדדו במכשיר soil box סטנדרטי בעזרת מכשיר "מגר אדמה" אלקטרוני חדיש תוצרת איטליה.

- * מטרת הבדיקה לקבוע אם באפר פחם תחתית יש אלמנטים מסיסים במים אשר מסוגלים להנמיך באופן משמעותי את ההתנגדות הסגולית של האפר הרטוב – מדוד ביחידות (Ohm x cm).
- * למטרת המדידה משתמשים במים מזוקקים אשר להם יש התנגדות סגולית, למעשה אין-סופית, לפני שמרטיבים את דגימת האפר.
- * אם ההתנגדות הסגולית איננה משתנה עם תוספת אחוזי מים מזוקקים, הרי שאין מלחים המסוגלים להישטף מהאפר.
- * יצוין שזה אחד הקריטריונים המקובלים בהערכת קרקעות ומלויים למיניהם. שיטת קריטריון AASHTO T (1966) 288-91, קובעת שקרקע או מילוי צריכים להיות בעלי התנגדות סגולית שאינה נמוכה מ- 3000 Ohm-cm.

בוצע מספר רב של בדיקות אשר תוצאותיהן כמעט זהות, בדרך כלל יותר מ-5000 Ohm-cm. יש לזכור שבדיקה זאת מתייחסת לדגימה ספציפית אך ייצוגית. כדי להגיע לערכים ממוצעים בערימות – השתמשנו בשיטת "וונר" לעומק.

מספר	מצב טבעי לפני הרטבה	10%	15%	20%
1	אין סוף	5000	4630	4210
2	אין סוף	5000	4800	4600
3	5220	5200	5100	4960
4	אין סוף	4680	3900	3650
5	5000	4800	4150	3800
6	אין סוף	5000	4900	3700
7	אין סוף	5000	5000	4900
8	5000	5000	5000	4850
9	6400	5500	5000	4890

כפי שרואים – אין מינרלים מתמוססים אשר נשטפים לתוך המים המזוקקים, אשר יש להם "רעב" לכל כמות מלחים. קריאות אלו טובות יותר מבצוע דומה בחול "דיונות".

המסקנה המתבקשת: גם אם המילוי יירטב בתקופת הגשמים, לא צפויה עלייה משמעותית בהולכה החשמלית.

נספח 2

מידות התנגדות סגולית בשכבות בערימות אפר פחם תחתית בשיטת ונר באתר תחנת כוח חדרה

- המדידות בוצעו בתאריך 24.5.2004
- המדידות בוצעו באמצעות מכשיר Megger DRT 3 / 2.
- פענוחן של התוצאות בוצע בעזרת תוכנת Resix plus v2 של חברת Interpex.

1. ערמה 1 (מערבית) – מיקום 1.

1.1 תוצאות המדידה

התנגדות מדומה (האום x ס"מ)	התנגדות (האום)	מרחק בין פינים (מטר)
25120	80	0.5
18400	29.3	1
20347	21.6	1.5
16328	13	2
13942	7.4	3
8195	2.9	4.5
7781	1.77	7
6468	1.03	10

1.2 פענוחן של התוצאות

No.	Spacing (meters)	Data Resistivity (ohm-m)	Synthetic Resistivity (ohm-m)
1	0.500	251.0	250.6
2	1.00	184.0	201.1
3	1.50	203.0	185.1
4	2.00	163.0	166.2
5	3.00	140.0	129.0
6	4.50	82.00	92.45
7	7.00	78.00	71.35
8	10.00	65.00	67.30
NO DATA ARE MASKED			

Layered Model

L#	RESISTIVITY (ohm-m)	THICKNESS (meters)	ELEVATION (meters)
1	13198.2	0.0941	- 0.0941
2	205.9	2.17	-2.27
3	16.33	0.539	-2.81
4	68.80		-2.81

2. ערימה 1 (מערבית) – מיקום 2

1.1 תוצאות המדידה

התנגדות מדומה (האום x ס"מ)	התנגדות (האום)	מרחק בין פינים (מטר)
20881	66.5	0.5
24178	38.5	1
27977	29.7	1.5
20473	16.3	2
12058	6.4	3
14978	5.3	4.5
10990	2.5	7
6280	1	10

1.2 פענוחן של התוצאות

No.	Spacing (meters)	Data Resistivity (ohm-m)	Synthetic Resistivity (ohm-m)
1	0.500	208.0	224.9
2	1.00	242.0	222.5
3	1.50	280.0	216.5
4	2.00	205.0	206.9
5	3.00	121.0	180.9
6	4.50	150.0	139.8
7	7.00	110.0	93.21
8	10.00	63.00	68.72
		NO DATA ARE MASKED	

Layered Model

L#	RESISTIVITY (ohm-m)	THICKNESS (meters)	ELEVATION (meters)
1	173.1	0.0150	-0.0150
2	225.6	3.09	-3.10
3	45.53	0.214	-3.32
4	51.36		-3.32

3. ערימה 2 (מזרחית) – מיקום 1

3.1 תוצאות המדידה

התנגדות מדומה (האום x ס"מ)	התנגדות (האום)	מרחק בין פינים (מטר)
46472	148	0.5
29516	47	1
18557	19.7	1.5
19970	15.9	2
19405	10.3	3
10626	3.76	4.5
6814	1.55	7
5024	0.8	10
4239	0.45	15

3.2 פענוחן של התוצאות

No.	Spacing (meters)	Data Resistivity (ohm-m)	Synthetic Resistivity (ohm-m)
1	0.500	464.0	468.9
2	1.00	295.0	272.8
3	1.50	186.0	222.5
4	2.00	200.0	199.0
5	3.00	195.0	161.4
6	4.50	106.0	114.3
7	7.00	68.00	69.37
8	10.00	50.00	49.66
9	15	42.00	41.63
NO DATA ARE MASKED			

Layered Model

L#	RESISTIVITY (ohm-m)	THICKNESS (meters)	ELEVATION (meters)
1	771.7	0.312	0.312
2	213.5	2.68	-2.99
3	38.42		-2.99

4. ערימה 2 (מזרחית) – מיקום 2

4.1 תוצאות המדידה

התנגדות מדומה (האום x ס"מ)	התנגדות (האום)	מרחק בין פינים (מטר)
27946	89	0.5
9860	15.7	1
6264	6.65	1.5
7662	6.1	2
11304	6	3
8478	3	4.5
3781	0.86	7
3077	0.49	10
4051	0.43	15

4.2 פענוח של התוצאות

No.	Spacing (meters)	Data Resistivity (ohm-m)	Synthetic Resistivity (ohm-m)
1	0.500	280.0	278.4
2	1.00	99.00	96.30
3	1.50	63.00	88.61
4	2.00	77.00	85.01
5	3.00	113.0	77.11
6	4.50	85.00	64.43
7	7.00	38.00	48.46
8	10.00	31.00	38.74
9	15.00	41.00	33.08
NO DATA ARE MASKED			

Layered Model

L#	RESISTIVITY (ohm-m)	THICKNESS (meters)	ELEVATION (meters)
1	2522.1	0.171	-0.171
2	88.65	3.35	-3.52
3	29.82		-3.52