

מדינת ישראל

האגף לפסולת מוצקה

פקס 6553817-02

טלפון 6553801-02

המשרד לאיכות הסביבה

רח' כנפי נשרים 5 ת"ד 34033 ירושלים 95464

20 פברואר 1996

לי שבט תשנ"ו

מתקני שרפת פסולת לאנרגיה (פל"א)

1. רקע:

המטרה העיקרית של תהליכי שרפת פסולת הינה להרוס את המרכיבים האורגניים והמסוכנים בפסולת, לצמצם נפחים ולהפיק אנרגיה. ככלל, שרפת פסולת מביאה לצמצום של כ- 90% מנפח הפסולת המקורי וכ- 60%-75% ממשקל הפסולת.

מתקני שרפת פסולת (פל"א) מודרניים מורכבים מארבעה שלבים:

1. עיבוד, אחסנה וטיפול בפסולת.
2. שרפת פסולת.
3. הפקת אנרגיה.
4. טיפול בזיהום אויר (APC - Air Pollution Control).

2. תאור מפעלי פל"א

סוגי מפעלי פל"א

2.1 Mass burn systems - שרפת הפסולת כפי שהיא, ללא עיבוד. זהו הסוג הנפוץ ביותר של מפעלי הפל"א.

2.1.1 European-design mass burn systems - בעלי יכולת לשרוף בין 100 ל 1,000 טון ליום. במפעל כזה הפסולת מוסעת לתוך תנור, תוך הקפדה על תנאי שריפה יעילים והספקת חמצן מספקת, כך שתנאים מחזרים לא יוצרו. טמפרטורות השריפה נעות סביב 1000°C.

2.1.2 Two-stage Combustion System - מפעל בעל קיבולת של כ- 100 טון ליום. הפסולת מוכנסת לאזור שריפה ראשוני בתנאים של חוסר חמצן, בו הטמפרטורות בדרך כלל 800°C. באזור זה נוצרים גזים עשירים בדלקים (fuel-rich flue gases) הנכנסים לאזור שריפה שני, בו יש עודף חמצן וטמפרטורות גבוהות 1000°C.

2.2 RDF - Refuse Derived Fuel systems - עיבוד הפסולת והוצאת חומרים שונים כגון מתכות, אל מתכות, זכוכית ועוד ויצירת חבוקות של חומרי בערה.

2.2.1 "semi-suspension" - הפסולת מוזרקת מעל התנור ומתלקחת עם נפילתה דרך אזור השריפה עד המסוע. החומר הכבד נופל על המסוע ונשרף לפני הוצאתו מהתנור. הטמפרטורות בתוך התנור דומות ל mass burn. מערכות אלה יעילות לקיבולת של מעל 400 טון ליום.

2.2.2 "spreader stokers" - הפסולת מוזרקת לתוך התנור. מערכות אלה דומות למערכות המתוארות ב- 2.1, אך יכולות להיות יעילות לקיבולת קטנה יותר מ- 400 טון ליום.

2.2.3 "fluidized bed" - הפסולת מוכנסת לתוך מצע מרחף לוהט של חומר אינרטי מוצק, בד"כ חול. הפעולה המשולבת של שמירת חום ע"י המצע וכן פעולת החיכוך של הפסולת הגרוסה עם החול יוצרת שריפה יעילה של הפסולת בטמפרטורות נמוכות יחסית, 850°C. נכון להיום קיבולת מתקנים אלה הינה עד 200 טון ליום.

3. מערכות מניעת זיהום אויר - Air pollution Control (APC)

הגזים הנפלטים בזמן השריפה מכילים את המרכיבים הבאים:
 תוצרים בפאזה הגזית של השריפה הכוללים אדי מים, CO₂, HCl, SO₂ ו- NO_x.
 אדים של מתכות או חומרים אורגניים.
 חלקיקים מוצקים.

מערכות APC משמשות לבקר את החומרים הנפלטים לאטמוספירה. קיימים שני סוגים בסיסיים של מערכות אלו:

3.1 מערכות יבשות וחצי יבשות –

מערכות אלה מבוססות על קירור ותנאים כימיים שמטרתם לצמצם את הפליטות לאטמוספירה. מטרת הקירור ליצור אידוי אדיאבטי של תרסיסי המים מבלי ליצור זרם נוזלי. נטרול הגז החומצי מושג ע"י הזרקת חומרים סופחים, בצורה של אבקת סיד (מערכת יבשה) או תרסיס של סיד (מערכת חצי יבשה). החומרים המוזרקים מנטרלים את גזי החומצה ומגדילים את שטח הפנים עבור ספיחת תוצרי ההתעבות אשר נמצאים בגז. רוב המפעלים מזריקים עודף סיד על מנת לוודא נטרול מרבי של גזי החומצה, דבר הגורם לערכי pH גבוהים (11.5-12.5). עודף הסיד בתוצרי השריפה משתנה בהתאם לרמת סילוק גזי החומצה הנדרשים ובצורת החדרת הסיד למערכת הטיפול בגז. מערכות יבשות דורשות בדרך כלל כמויות גדולות יותר של סיד מאשר מערכות חצי יבשות ע"מ להשיג יעילות סילוק דומה. על מנת ליעל את התהליך ניתן למחזר חלק מהסיד. השאריות המתקבלות הן ממערכות יבשות והן ממערכות חצי יבשות הן בדרך כלל אבקה היגרסקופית יבשה.

בשתי המערכות דרושה מערכת נוספת במורד זרימת הגז לטיפול בחלקיקים. מערכת זו יכולה להיות (ESOPs -electrostatic precipitators) או (FF -fabric filter (bag houses)), כאשר כיום יש העדפה ל FF. בתכנון המפורט ניתן לקבוע כל סדר שהוא במערכות טיהור האוויר.

3.2 מערכות רטובות -

מערכות רטובות מבוססות על טיהור מזהמים תוך שימוש בתרסיס מים שמקרר בצורה אדיאבטית את הגזים וכן יוצר גרעיני התגבשות למזהמים. מוסיפים מים בעודף עד שנוצר זרם נוזלי. חלקיקי האפר המרחף מוצאים בדרך כלל לפני השימוש ב scrubber רטוב. מערכות רטובות יכולות להיות בשלב אחד או בשני שלבי פעולה, ופעמים רבות מכילות שלב של עיבוי עצמי. השלב הראשון מתרחש בתנאים חומציים מאוד (ללא תוספת חומרים מנטרלים, פרט למטרות טיפול בשפכים) והשלב השני מתרחש בתנאים נטרליים (ע"י הוספת בסיס - סיד או NaOH) ע"מ לסלק ביעילות רבה יותר SO₂. מערכות אלה יוצרות שפכים בעלי ריכוז גבוה של מלחים ובוצה. במערכות כאלה קיימים בדרך כלל ESP's לפני מערכות ה scrubber.

4. שאריות השרפה

רקע: שרפת פסולת הופכת חומר אורגני ל CO₂ ו- H₂O, אך נותרים חומרים אנ-אורגנים כגון, מתכות, אל-מתכות וסיליקטים.

נגדיר באופן מדויק את זרמי האפר הנוצרים במהלך תהליך השריפה.

- ✓ grate ash - חומר הטרוגני היוצא מתנור השריפה.
- ✓ grate siftings - המינוח המשמש לחומר הנופל דרך הסבחה ונאסף מתחת לתנור.
- ✓ שני חומרים אלה יוצרים את האפר התחתי bottom ash.
- ✓ heat recovery ash - החומר החלקיקי הנאסף במערכת יצור האנרגיה. אפר זה מסולק בד"כ עם האפר המרחף או עם שאריות מערכת טיהור האוויר.
- ✓ אפר מרחף fly ash - החלקיקים המסולקים מזרם הגז לפני הוספת חומרים וספחים אחרים, אך אינו כולל את החומר שנוצר במערכת יצור האנרגיה. אפר זה כולל חלקיקים המובלים מאזור השריפה וחומרים נדיפים המתעבים בזמן קירור הגז.
- ✓ שאריות מערכת טיהור אויר (APC) - כל החומרים שנאספים מהמסננים, ממערכות ה- ESP וה- FF, כולל אפר מרחף, חומרי ספיחה שמוזרקים לתוך המערכת ותוצרי עיבוי/ראקציות מהגז. שאריות APC ממערכות יבשות או חצי-יבשות כוללות בדרך כלל אפר מרחף שעשוי היה להילכד במסננים במורד זרם הגז.
- ✓ בוצת מסננים scrubber sludge - הפאזה המוצקה של מערכת סינון רטובה.
- ✓ אפר משולב - תערובת של כל השאריות המפורטות לעיל. בארה"ב מערבבים את כל סוגי האפר. בקנדה, אירופה ויפן מטפלים באפר התחתי וב- APC בנפרד.

5. מאזן חומר בתהליך שרפת הפסולת

אפר תחתי - מהווה כ- 80%-95 ממשקל הפסולת הנוצרת.
שאריות APC -

- ✓ 20-50 ק"ג (תהליך יבש, כולל אפר מרחף) לטון פסולת.
- ✓ 15-40 ק"ג (תהליך חצי רטוב, כולל אפר מרחף) לטון פסולת.
- ✓ 1-3 ק"ג (מתהליך עיבוי רטוב, ללא אפר מרחף) לטון פסולת.
- ✓ כמויות האפר המרחף שנאסף בתהליך רטוב הינו כ- 10-30 ק"ג לטון פסולת.
- ✓ תהליך עיבוי רטוב יוצר גם 0.3-0.5 מ³ של תמלחות לטון פסולת.

6. מקורות זיהום ומתכות כבדות

מקורות המזהמים והמתכות הכבדות מגוונים. לדוגמא, ארסן, קדמיום, עופרת וכספית נמצאים בדיו, צבע, פלסטיק, בטריות ועוד. חומרים אחרים כגון מתכות, פחיות שימורים, זכוכית, אל-מתכות ופסולת אחרת המכילה אלומיניום, כרום, נחושת, ברזל, ניקל ועופרת נמצאים גם כן. חשיפת חומרים אלה לטמפרטורות גבוהות (מעל $^{\circ}\text{C}$ 1000) גורמת להתפלגות היסודות בין האפר התחתי לבין שאריות ה-APC. סילוק מרכיב מסוים מזרם הפסולת לא בהכרח יפחית את ריכוז היסוד בשני סוגי השאריות, אך בהכרח יביא לצמצומו במאגר הכולל. לדוגמא, סילוק בטריות עופרת יפחית את כמויות העופרת באפר התחתי, אך לא בהכרח בשאריות ה-APC. יסודות ליתופילים (מגנזיום, קלציום, סטרונציום, ברליום, טיטניום, כרום, מנגן, ברזל, ניקל, נחושת ואלומיניום) הינם יסודות להם נקודת רתיחה מעל $^{\circ}\text{C}$ 1500, ולהם נטייה להתרכז באפר התחתי. נוכחות יסודות ליתופילים באפר המרחף או בשאריות ה-APC היא תוצאה של הסעת חלקיקים מאזור השריפה ולא נידוף והתגבשות שלהם.

יסודות נדיפים (כגון, אשלגן, נתרן, כספית, קדמיום, סלניום, ארסן, עופרת, כלור, ברום, יוד, גופרית) הם בעלי לחץ אדים גבוה בתנאי שרפת פסולת ולכן חלק ניכר מתאדה בזמן השריפה. יסודות אלה מתחלקים בדרך כלל בין האפר התחתי ולבין האפר המרחף.

הלוגנים (כלור, ברום) וגופרית הנמצאים בפסולת המוצקה מתרכזים בזרם הגז ומתעבים בזמן יצירת האנרגיה או שנאספים ע"י מערכת הסינון. תוצאות התהליך מביאות לכמויות גדולות של CaCl_2 , NaCl_2 , SO_4 בשאריות ה-APC.

יעילות השריפה והטכנולוגיות השונות משפיעים על התפלגות המתכות הכבדות. בדרך כלל, שריפה יעילה מביאה להצטברות מינימליות של מתכות נדיפות, כגון קדמיום וכספית, באפר התחתי. כמו כן, יעילות תהליך השריפה מביאה ליסודות מינרליים יציבים להצטבר באפר התחתי, ולהבדיל תנאי שריפה לא יעילים יביאו לריכוזים גבוהים של חומרים אורגניים ויסודות קורט נדיפים באפר התחתי.

7. דיגום הפסולת ואפיונה

ההטרוגניות הכימית של אפר תחתי גדולה יותר מההטרוגניות של התכונות הפיזיקליות. דבר זה נגרם בשל נוכחות חלקיקים בודדים בעלי הרכב שונה (לדוגמא חלקיקי מתכת).

7.1 דיגום

- * רישום של תהליכי תפעול מחזוריים, בעלי יכולת השפעה על זרם האפר שנדגם.
- * בחירת תקופת דיגום, כך שהשינויים המחזוריים יבואו לידי ביטוי. זה יכול להיות 8 שעות, הרכב יומי, הרכב שבועי או כמות שמצטברת במיכל קיבול.
- * מיקום ואמצעי דיגום נוחים. אמצעי הדיגום ישקף את כל גודלי הגרגר, שגודל הדוגמא המינימלי יהיה לפחות פי 2.5 מגודל הגרגר הגדול ביותר הצפוי (לדוגמא 125 מ"מ לאפר תחתי וגודל קטן יותר לשאריות אחרות).
- * דוגמא מורכבת מעשר דגימות מינימום של זרם השאריות, אך עדיף לאסוף 24 דגימות. גודל דגימה מינימלי של 10 ק"ג מומלץ לאפר תחתי או לאפר מעורבב, כאשר דוגמא קטנה יותר (1 ק"ג) מספקת לשאר זרמי השאריות. בזמן תקופת הדיגום, הדגימות יאספו במרווחי זמן קבועים לאורך כל תקופת הדיגום הנבחרת.
- * בדגימות של אפר תחתי חלקיקים הגדולים מ- 50 מ"מ יסולקו, ויאופינו כקלינקר או מתכת וישקלו. החלקיקים הקטנים מ- 50 מ"מ, ימוינו בעזרת טכנולוגיות מתאימות, ויצרו שתי דוגמאות של 20 ליטר.

7.2 רישום הדיגום

- * תאור מפורט של שיטות ששמשו לדיגום, זמן, מספר, משקל של הדוגמא.
- * תאור תהליכי אחסון הדוגמא.
- * תאור שיטות המעבדה המשמשות לסינון, הפרדה וערבוב.

7.3 בנוסף יתבצע רישום של הפרטים הבאים :

- * הרכב הפסולת הנשרפת, כולל מקור, שיטות דיגום וכו'.
- * תאור מפעל שרפת הפסולת, כולל יצור האנרגיה, מערכות בקרת זיהום אויר.
- * תאור תנאים ספציפים .
- * תאור זמן חשיפת האפר למזג האוויר לפני דיגום.

7.4 **שיטות אפיון כימיות** - קביעת התכונות הפנימיות של סוגי האפר השונים דרושה על מנת לקבוע את שיטות הטיפול והסילוק של הפסולת.

7.4.1 **loss on ignition (LOI)** - מדד לכמות פחם באפר התחתי ויעילות השריפה. LOI נקבע על סמך אובדן מסה של דוגמא יבשה (105°C) עם חשיפתה לטמפי של 550°C למשך שעה. LOI אינו מדד לריכוז פחמן כולל בשאריות ה- APC מכיוון שטמפי של 550°C משחררת מים ותוצרי התעבות אחרים שנספחו על החלקיקים, דבר המביא לערכי LOI גדולים יותר מריכוז פחמן כולל בשאריות APC.

7.4.2 pH ונטרול חומצה - חשיפת השאריות לכמויות שונות של HNO_3 ע"מ ליצור טווח pH בין 2 ל-13 הנותן מידע על חומציות או בסיסיות החומר ותגובות אפשריות של החומר עם הסביבה. התוצרים שיתקבלו יהיו פונקציה של השינוי ב pH.

7.4.3 שיטות הפרדה כימית - סך כולל (total) של יסודות ספציפים בשאריות או כמות יחסית של יסוד לפי שיטת דיגום ספציפית.

7.5 **שיטות אפיון פיזיקליות** - תכונות פיזיקליות של האפר משפיעות על השימוש או על הסילוק הסופי. התפלגות גודל גרגר נקבע ע"י ניפוי, אך שיטת הפרדה רטובה איננה מומלצת מכיוון שחלק גדול מהשאריות מסיסות במים. מוליכות הידראולית היא פרמטר חשוב בקביעת תשטיפים פוטנציאליים באפר המסולק. בדיקות צפיפות הכוללות צפיפות גושית, צפיפות יבשה ומשקל סגולי חשובות לקביעת הומוגניות החומר, נקבוביות, ורמת הדחיסות הסופית. בדיקות חוזק משמשות לקביעת שיפוע ההטמנה או למידת גזירת החומר כמצע לכבישים.

8. מאפייני שאריות

8.1 אפר תחתי

8.1.1 תכונות כימיות- אפר תחתי הוא בסיסי עם ערכי pH בתחום 9.5-11.5. ערכים אלה נגרמים בשל ריכוזים גבוהים של יסודות בסיסים, עופרת וכן תחמוצות ברזל היוצרים הידרוקסידים בזמן ההידרוליזה. הידרוקסידים בסיסים ויכולים לספוח $\text{CO}_2(\text{g})$ המסוגלים ליצור תרכובות קרבונטיות. יכולת נטרול החומצה של האפר התחתי בד"כ $4.5 \text{ meq/g} <$. יסודות נפוצים באפר התחתי ($>10,000 \text{ mg/kg}$) הם: O, S, Fe, Ca, Al, Na, K, C. יסודות אלה מהווים כ-80% ממשקל האפר התחתי. טווחים אופייניים ליסודות מתוארים בטבלה 5.1. ריכוזי יסודות אלה דומים לריכוזים בחומרים גיאולוגיים. יסודות אחרים (minors) בריכוזים אופייניים (1,000-10,000 mg/kg) כוללים: Mg, Ti, Cl, Mn, Ba, Zn, Cu, Pb, Cr. היסודות האנתרופוגניים (לדוגמא Zn, Cu, Pb, Cr) מועשרים באפר התחתי ביחס לחומרים טבעיים. יסודות הקורט (Sn, Sb, V, Mo, As, Se, Sr, Ni, Co, Ce, Ag, Hg, <10,000 mg/kg) באפר התחתי כוללים: B, Br, F, I. אפר תחתי מועשר ביסודות אלה למרות נדיפותם ביחס לחומרים טבעיים.

ריכוז Cd ו- Pb באפר התחתי במפעלים שונים מוצג באיורים 5.1 ו- 5.2. רוב מפעלי MB ומערכות RDF בעלי יכולת שריפה יעילה ובהם מנודפים ביעילות רוב תרכובות מתכות הקורט הנדיפות (כמו תרכובות Cd) לעומת מפעלים הפועלים בשיטת שני השלבים המכילים ריכוזים גבוהים כתוצאה משריפה לא טובה. רמת יעילות השריפה יכולה להשפיע על ריכוזי היסודות הליתופילים כגון Si, Ca הנמצאים באפר התחתי. אפר תחתי שעבר שריפה לא יעילה מכיל ריכוזים גבוהים של חומרים אורגניים כגון Cd, As ותרכובות אורגניות המוהלות את ריכוזי היסודות הליתופילים.

למרות ש **grate siftings (GS)** מהווים אחוז משקלי קטן מכלל האפר התחתי (1-3%), הם תורמים אחוז ניכר של היסודות **Pb, Al, Cu, Zn**. דבר זה נגרם כתוצאה מצורוני המתכות (Al^0, Pb^0) המומסים בתהליך השריפה ונוזלים דרך המסוע. משיקולי מאזני מסה נראה שגם

חלק מתכולת העופרת מגיעה ל GS. הפרדה של ה-GS יכולה להפחית את שחרור ה- $H_2(g)$ בזמן הידרוליזה של מתכות כגון אלומיניום.

ריכוזי ה-PCDD/PCDFs - חומרים אלה ריכוזיהם באפר תחתי הם בדרי"כ נמוכים ($< 2 \text{ ng/g}$) ודומים למדידות בקרקעות פני השטח שהושפעו מגורמים אנתרופוגניים. מחקרים הראו שריכוזי PCDD/PCDFs באפר התחתי מושפעים באופן ישיר מריכוזיהם בפסולת הנכנסת ולא בפעולת מפעל פל"א.

המסיסות הכוללת של האפר התחתי נמוכה ביחס לסוגי אפר אחרים והיא נגרמת ע"י מלחי קלציום או נתרן ($NaCl, CaCl_2, CaSO_4$) ובדרי"כ פחות מ-14% מהאפר התחתי מסיס במים. נוכחות חומרים אורגניים שלא נשרפו כליל (יעילות שריפה נמוכה) מוהלים את ריכוזי החומרים הבלתי מסיסים.

8.1.2 מאפיינים פיזיקליים - אפר תחתי הטרוגני כולל מתכות ואל מתכות, מינרלי זכוכית, חרסיות וחומרים בלתי נשרפים אחרים. תערובת זו עשויה להכיל עד 20% משקלי של חומרים גדולים ($< 10 \text{ cm}$) שפעמים רבות מופרדים מזרם האפר התחתי במפעל. בתוך מסה זו נמצאות מתכות, אל מתכות, חומרי בנין וסיגים - slag. ללא חומרים אלה, התפלגות גודל הגרגר של האפר התחתי הייתה אחידה (איור 5.4). גודל הגרגר מוגדר כחול או חצץ עם עד 10% חומר דק ($< 60 \mu\text{m}$).

אפר תחתי היינו נקבובי, עם שטח פנים של כ- $50 \text{ m}^2/\text{g}$ למשקל יבש. דבר זה נגרם כתוצאה מכיסי גזים הנוצרים בשלב ההמסה. החלקיקים הסופיים מורכבים משתי קבוצות חומרים:

1. שאריות של מתכות, זכוכית, קרמיקה או חומרים אורגניים שלא נשרפו כליל.
 2. חומרים שהתמוססו וסיגים - slag.
- המבנים המומסים כוללים akermanite, gehlenite, זכוכית איזוטרופית ועוד. חומרים אלה מעידים על קיום טמפי מעל $1,000^\circ\text{C}$ בתנור. משקל סגולי של רוב האפר התחתי הוא 1.5-2 לחומר הדק או 1.8-2 לחלקיקים הגסים. פסולת שלא מוינה במקור עשויה להכיל חומרים בעלי משקל סגולי גבוה יותר כגון מתכת וזכוכית ואילו RDF מכיל חומרים קלים ובעלי יכולת שריפה גבוהה יותר. לכן, אפר מעובד שהוצאו מתוכו המתכות והאל מתכות האפר יהיה בעל משקל סגולי נמוך יותר מאפר שלא עבר תהליך עיבוד.

תכולת הרטיבות באפר התחתי נעה בין 6%-60% ובדרי"כ סביב 15%-25%. תכולת הרטיבות היא בדרי"כ פונקציה של שיטת המסוע. לדוגמא מסוע רוטט יוצר בדרי"כ רמות רטיבות אפר נמוכות יותר מאשר מערכות drag-chain. תכולת הרטיבות צריכה להיות נמוכה מספיק ע"מ למנוע את פוטנציאל דליפת המים החופשיים בזמן ההסעה וסילוק השפכים, אך מספיקה למנוע פליטת אבק. לרטיבות גם חשיבות בנושא הדחיסה. בדיקות דחיסה מראות שאפר תחתי יכול להידחס לצפיפות מקסימלית של $1,400-1,800 \text{ kg/m}^3$ בלחות אופטימלית של 16% ואז המוליכות ההידראולית נעה סביב 10^{-6} m/sec .

8.1.3 התיישנות אפר תחתי - מספר ראקציות התיישנות מתרחשות באפר תחתי הנשאר לח או חשוף למזג האוויר. מניסויי שדה עולה שה-pH של אפר תחתי יורד לערכים בסיסים נמוכים או נטרלים כאשר ה- CO_2 נספח מהאטמוספירה או המים ויוצר מתכות קרבונטיות או ביקרבונטיות. ירידת ה-pH מושפעת מיכולת buffering של החומר. ריסוק אפר תחתי מיושן יחשוף הידרוקסידים שלא עברו קרבונציה ויצור עליה של pH לתחום הבסיס. עליה זו ב-pH עשויה לגרום לשחרור מתכות אטמוספריות (כגון Pb) ולהביא להערכת יתר של שחרור מזהמים ביחס לנתוני שדה.

ראקציות אקסותרמיות (פולטות חום) מתרחשות כתוצאה מהידרציה של CaO ותחמוצות מתכת אחרות. בנוסף, הידרציה של יסודות מתכתיים כגון אלומיניום עשויים לגרום לראקציות redox המייצרות גז H_2 . פעילות מיקרוביאלית משמעותית יכולה להתרחש בשאריות, כתלות ברמת הפחמן האורגני באפר.

סה"כ, תהליכי התיישנות גורמים לעליה בחוזק הפיזיקלי של האפר התחתי ועשויים לשנות את התפלגות גודל הגרגר וליצור חלקיקים גדולים יותר כתוצאה מהתגבשות ואובדן החלק הדק. בנוסף, יצירת תרכובות כגון גורמות להתנפחות. מומלץ לשמור על תכולת רטיבות של לפחות

16% באפר התחתי לתקופה של חודש עד שלושה חודשים על מנת לאפשר לתהליכים אלה להתרחש לפני השימוש באפר.

8.2 אפר ממערכת יצירת האנרגיה

אפר זה מהווה כ-1-3% ממשקל האפר הכולל ובעבר שולב עם אפר תחתי. 8.2.1 מאפיינים כימיים - אפר ממערכת יצירת האנרגיה נאסף או מתעבה במעבר מהדוודים. רמת ריכוז היסודות הנדיפים באפר תלויה במשטר התרמי לאורך מסלול זרימת הגז. לדוגמא, הטמפרטורה הקיימות במערכת יצירת אנרגיה 250°C ומונעות התעבות HCl ותרבות אחרות של מתכות כבדות במיוחד Cd, Hg. תרכובות עם SO_4^- מתעבות מתוך זרם הגז במערכת יצור אנרגיה. כמו כן נוכחות גופרית ורמות pH חומציות אחראיות למסיסות גבוהה במים (>50%).

MB ו **RDF** יוצרים אפר בסיסי. יסודות ליתופילים כמו Ni, Cr קיימים בריכוזים גבוהים יותר במערכת MB ו RDF לעומת מפעל דו שלבי, ואילו יסודות נדיפים כמו Cd, Pb, Zn ריכוזם גבוה באחרון. בשני המקרים שינויים אלה נובעים מרמת החלקיקים המוסעים מהתנור. הסעה גורמת לריכוזים גבוהים של יסודות ליתופילים באפר זה, שמוהלים את ריכוז היסודות הנדיפים.

8.2.2 מאפיינים פיזיקליים- גודל הגרגר כ- $5-20\mu\text{m}$ ורוב המשקל נתרם מחלקיקים בגודל $200-40\mu\text{m}$.

8.3 שאריות מערכת זיהום אויר - APC

שאריות אלה כוללות אפר מרחף, שאריות מתהליכי סינון יבשים או חצי יבשים או מתהליך הטיהור הרטוב. בארה"ב אפר מרחף מסולק לעיתים רחוקות ע"י FF או ESP's לפני המסננים (scrubbers). תוצר פעילות המסננים הרטובים הוא בוצה, בתוספת סיד או סולפידים אורגנים (לפעמים TMT 15^{R}) המשמשים לסילוק מתכות כבדות. השאריות הם בוצה ממוצקת (filter cake). אפר מרחף מסולק לפני שלבי הטיפול בגז החומצי. במקרים רבים האפר המרחף והאפר זה מעורבבים לפני הסילוק. בנוסף, תהליך ההתעבות הרטוב יוצר שפכים. בגרמניה נהוג לאדות את המים ע"י שילוב בין מערכת רטובת לחצי יבשות ומחזור השפכים מהתהליך הרטוב לראקטור החצי יבש (הממוקם בהמשך מסלול הגז).

8.3.1 מאפיינים כימיים- pH של מערכות יבשות/חצי יבשות הוא בד"כ בסיסי ($\text{pH} < 12$) נוצר כתוצאה מהזרמת עודף חומרים סופחים בסיסים לתוך המערכת. בוצות ממערכת רטובות הן בעלות pH נמוך יותר (9.5-10.5). עודף חומרים סופחים בסיסים במערכת יבשה/חצי יבשה היוצרים חומרים בעלי יכולת buffering גבוה (5.6-12 meq/g) יותר מאשר אפר מרחף של ESP (3.5-2.5 meq/g) או בוצה ממערכת רטובה (4.5 meq/g).

היסודות העיקריים ($>10,000\text{ mg/kg}$) באפר מרחף הם Si, Ca, Al, Cl, Na, K, S, Fe והם מופיעים בד"כ בתחמוצות. נוכחות צורן האלומיניום באפר מרחף עשוי להיות הגורם לשחרור גז H_2 במגע עם מים בתנאים נטרלים או בסיסים. כמויות נכרות של Zn, Mg, Pb קיימות גם כן. היסודות Cu, Mn, Sn, Ba, Ti קיימים בריכוזים של $1,000-10,000\text{ mg/kg}$. יסודות הקורט Cr, Sb, Cd, Sr, Ni, As, Ag, Co, V, Mo, Se קיימים בריכוזים נמוכים של $1,000\text{ mg/kg}$. ריכוז Hg באפר המרחף היא בד"כ פחות מ- 30 mg/kg .

שאריות ממערכת יבשות וחצי יבשות מכילות אפר מרחף מעורבב עם CaCl_2 ועודפי CaO. המרכיבים העיקריים הם Ca, Cl, Si, Al, Na, K, S, Zn, Mg, Fe, O. רק Ca, Cl, SO_4 נוכחים בריכוזים גבוהים יותר בשאריות של מערכת יבשות וחצי יבשות לעומת באפר מרחף טהור. למרות שרוב היסודות האחרים "מהולים" ע"י תוספת CaO. ריכוזי יסודות נדיפים מסוימים כגון Hg, Sb, As עשויים לגדול בשאריות מערכת יבשות וחצי יבשות לעומת אפר מרחף כתוצאה מייעילות טהור גז גבוהה או מתוספת NaS או פחם פעיל.

המידע המועט הקיים על בוצות של מסננים רטובים מעיד על קיום היסודות העיקריים הבאים Ca, Al, Si, Mg, Fe, Cl ושריכוזי Zn, Pb דומים לאלה שבאפר המרחף. ריכוזי Hg (230 mg/kg) עשויים להיות גבוהים יותר מאלה הנמדדים בשאריות APC אחרות.

כמות הפחמן האורגני הכולל (TOC) באפר המרחף בין 1-3% משקלי. אך ה TOC בכל השאריות ה APC נמצא מתחת ל- $10,000\text{ mg/kg}$. למרות שריכוזי צורנים אורגנים כגון PCDD/PCDFs במערכת APC נמוכים עד בינוניים הם גבוהים מהריכוזים באפר התחתי בכמה

סדרי גודל ותלויים במס' גורמים, כולל תפעול המפעל. תנאים ירודים מיצרים ריכוזים גבוהים של PCDD/PCDFs יותר מתנאי שריפה "טובים".

8.3.2 מאפיינים פיזיקליים- התפלגות גודל הגרגר של שאריות ה-APC השונות מראה שחלקיקי האפר המרחף גדולים ($40-200 \mu\text{m}$) יותר מגודל חלקיקי החומר הסופחים המוזרקים למערכת היבשות/חצי יבשות ($10-40 \mu\text{m}$). כמות החומר הדק גבוהה יותר במערכת FF לעומת ESP's, וגבוהה יותר במערכת חצי יבשות מיבשות. שאריות מערכת רטובות לא נבדקות בד"כ להתפלגות גודל הגרגר.

שאריות של תהליכים יבשים/חצי יבשים יכולות להידחס ולהגיע לצפיפות יבשה של $1,200-1,600 \text{ kg/m}^3$ בתכולת מים אופטימלית של 20%-40% וכתוצאה מכך להכיל מוליכות הידראולית של $10^{-9} - 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. מנתונים אלה עולה ששאריות ה-APC צריכות להידחס ברמת רטיבות אופטימלית, זמן קצר ככל האפשר אחרי ההידרציה ע"מ ליצור צפיפות מקסימלית ולמזער את המוליכות ההידראולית. הנתונים מראים שהחוזק של שאריות APC דחוסות נוטה לעלות עם הזמן, כנראה כתוצאה מהמסה ומיצוק של $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ המסיס וראקציות נוספות.

ככלל, שאריות ממערכת יבשות וחצי יבשות מסיסות יותר במים (25%-60% משקל). תופעה זו נגרמת בשל הספיחה של תוצרי ראקציות או התעבות מזרם הגז לחלקיקים. במערכת סינון רטובות, הרכיבים המסיסים נמצאים בשפכים המכילים ריכוז גבוה של מוצקים מומסים.

9. תהליכי שטיפה ויצירת תשטיפים

תשטיפים הם תמיסה של הרכיבים המסיסים מהפאזה המוצקה. קצב השטיפה ואופי התשטיפ חשובים ע"מ לטפל נכון באפר, מכיוון ששטיפה היא המסלול העיקרי המשפיעה על הסביבה. מסי' בדיקות שטיפה משמשות להערכת התנהגות שטיפה. למרות זאת, שימוש בנתוני שטיפה הינו בעייתי, כתוצאה מטרות שונות של כל בדיקה ובדיקה ועקב כך פרוש לא מדויק של הנתונים. בדיקת חלק מהתהליכים הבסיסים והראקציות המתרחשות בזמן שטיפה מאפשר לקשור בין בדיקות שונות.

9.1 עקרונות השטיפה

המנגנון הראשוני של שחרור זיהום משאריות בלתי מטופלות, עשוי להיות שונה משחרור מבוקר משאריות "מטופלות" או תוצרים המכילים שאריות אפר. קיימים מנגנוני שחרור שונים של מזהמים:

- ✓ אדבקציה (חלחול נוזל דרך השאריות הלא מטופלות),
- ✓ דיפוזיה (זרימת נוזל מסביב לשאריות המטופלות)
- ✓ והסעה.

שחרור מזהמים משאריות לא מטופלות הוא בעיקר תוצאה של חלחול דרך האפר הגרנולרי המוגבל ע"י מסיסות (solubility controlled release). שחרור מוגבל ע"י מסיסות יוצר הרכב תשטיפ המאופיין ע"י המסה חלקית של הפאזה המינרלית המגיעה לש"מ כימי עם התמיסה. זרם הנוזל דרך החומר הגרנולרי מגביר את המגע בין התמיסה לפאזה המוצקה ומאפשר הגעה לש"מ כימי. במקרים מיוחדים, מינרלים מסיסים מאד יכולים להתמוסס לגמרי וכתוצאה מכך הרכב התשטיפי יכול את כמות היסוד שהייתה במוצק, תופעה זו נקראת שחרור המוגבל ע"י זמינות (availability controlled release). האחרון הינו נפוץ יותר. שחרור המוגבל ע"י דיפוזיה מוביל לתמיסה המאופיינת משחרור איטי מאד של התרכובות לתוך התשטיפ. מנגנון זה מתרחש כאשר התוצר הינו מונוליט או חומר גרנולרי בעל פרמהביליות נמוכה. במקרים אלה, זרימת הנוזל היא בעיקר סביב החומר ולא דרכו, לכם עיקר המגע נוזל-מוצק מתרחש בגבולות החיצוניים בהם לא מגיעים לש"מ כימי.

מידע בסיסי על התהליכים הכימיים והפיסיקלים נדרש כאשר באים לקבוע מודל שטיפה, והם:

- מורפולוגית הגרגרים
- הידרודינמיקת תשטיפ/גרגר
- סוג ראקציה (וש"מ מול קינטיקה)
- סוגי יסודות
- השפעת pH, pE, (או Eh)
- ספיחה
- יחס נוזל/מוצק (L/S) וזמן

האספקטים הפיזיקלים של שטיפה מתייחסים במיוחד לאינטראקציות בין המוצק לתשטיפ הזורם לצידו. מכיוון שלאפר ממפעל פלי"א מגוון גדלים, נקבוביות, הרכב וכו' קצב השטיפה מוגבל ע"י מעבר מסה דיפוזי בתוך החלקיק. קצב ההמסה של פאזות מסיסות זמינות עשוי להיות מוגבל ע"י קצב זרימת התשטיפ בשכבות הגבול מוצק/נוזל

התלוי במוליכות ההידראולית של האפר. גורמים אלה קובעים אם מושג ושי"מ כימי מקומי הנדרש לתהליכים תלוי ושי"מ המתרחשים בזמן שטיפה (המסה, השקעה, ספיחה).

האספקטים הכימיים של השטיפה כוללים תהליכים המתרחשים בין המוצק לתשטיף (המסה, השקעה, ספיחה) וכן תהליכים בתוך התשטיף (קומפלקסציה). שטיפה המוגבלת ע"י המסיסות יוצרת תמיסות רוויות כאשר מושג ושי"מ בין פאזות מוצקות ונוזליות. שטיפה המוגבלת ע"י זמינות יוצרת כמות כוללת של יסודות או תרכובות הזמינות לשטיפה מהמוצק.

9.1.1 שטיפה כפונקציה של זמן - לזמן השפעה על תהליכי שטיפה. ראקציות כימיות רבות (המסת מלחי מתכות) מהירות ומגיעות לשי"מ בזמן מהיר (שניות עד שעות) ראקציות אחרות (המסת צורן מפאזה זכוכיתית) איטיות יותר (שנים עד מאות שנים) ויתכן שלא יגיעו לשי"מ בתנאי שטיפה נורמלים. קצב ראקציות מסוימות עשוי להיות מוגבל בשל זמינות המרכיבים (CO_2) מהאוויר או פעילות ביולוגית ליצירת קרבונטים).

קיים קשר בין שטיפה לאורך זמן ליחסי נוזל/מוצק (LS). יחס LS מוגדר כנפח התשטיף הבא במגע עם הפאזה המוצקת ביחידות ליטר/ק"ג. עקרון זה משמש לבדיקות שטיפה שונות.

9.1.2 שחרור המוגבל ע"י מסיסות: שחרור כזה מתרחש בדי"כ ביחסי LS נמוכים (פחות מ-20) עבור:
יוני מתכת כגון Cd ב pH גדול מ-4.5.
מתכות כגון amphoteric ב pH 4.5-12.
אניונים כגון MoO_4^{3-} ב pH פחות מ-7.
שטיפה המוגבלת ע"י מסיסות נקבעת לפי המסיסות המשתנה של היסוד כתלות ב-pH, כגון מסיסות Na, K, Cl, Br.

נוכחות חומרים יוצרי קומפלקסים בתמיסה יכולים להגדיל את המסיסות של חומרים אחרים. יוצרי הקומפלקסים הנפוצים ביותר באפר הם כלורידים וחומצות אורגניות. לדוגמא, מסיסות Cd מוגברת מאפר APC ביחס לאפר תחתי יכולה להיגרם ע"י ריכוז כלורידים גבוה בשאריות APC (איור 6.3).
שטיפה של יסודות שונים מתנהגת באופן דומה בטווח pH של 4-12, ללא תלות בסוג האפר.

9.1.3 שחרור המוגבל ע"י זמינות: שיטה המוגבלת ע"י זמינות מתרחשת כאשר כמות מרבית של יסודות או תרכובות נשטפת לתוך התמיסה. התשטיף יהיה בעל ריכוז הנמוך מריכוז הרוויה לגבי אותו יסוד. תנאי זה מושג ע"י יחס LS גבוה (גדול או שווה ל-100), יוצרי קומפלקסים חזקים (חומצה), pH חומצי (קטן או שווה ל-4) או עבור יסודות אמפוטרים בעלי pH בסיסי (גדול מ-11).

שטיפה רבה של יסוד מסוים מדגימת אפר מסוימת בדי"כ אינה תלויה בסוג האפר או במקורו. יוצא מן הכלל, Pb משאריות APC, המראה זמינות מקסימלית ב pH גדול מ-11.

הזמינות הכוללת של יסוד או תרכובות הינה פונקציה של הריכוז הכולל הקיים באפר ועשוי להיות שוני ניכר בין סוגי האפר השונים, לדוגמא הזמינות הכוללת של Cu, Pb גדולה יותר ב grate siftings מאשר באפר מסוע ואילו הזמינות הכוללת של Cd, Zn, Cl, Br, SO_4 משאריות APC גבוהה יותר מאשר באפר סוגי האפר. מנתוני זמינות כוללת זו צריכים להגיע למסה כוללת של היסודות בסוגי האפר השונים.

9.1.4 שטיפה של שאריות שעברו טיפול או שימוש: במקרה זה מסיסות כתלות ב-pH, הינה הגורם העיקרי המגביל, פוטנציאל שחרור המזהמים וקצב השחרור חשובים גם כן.

פוטנציאל השחרור של יסוד מוערך על סמך הזמינות הכוללת של היסוד. קצב השחרור נקבע על סמך הערכות מקדמי דיפוזיה, מקדמי עיכוב ועוד. מקדמי עיכוב פיזיקליים קשורים במבנה הנקבובי וצפיפות החומר, ואילו מקדמי עיכובים כימיים (הקשורים בספיחה או בהשקעה) קשורים בתגובות בין pH למי נקבובים ויכולת ניטרול החומצה של המוצקה והמסיסות כתלות ב-pH.

הזמינות הכוללת של מרכיבים משאריות "מטופלות" יכולה לרדת בשל טיפול בחומרים הממלאים את הנקבובים או מכסים שטחים בחומר דוחה מים. מיהול יכול להתרחש כאשר

שאריות מפעל הפל"א מהווים רק חלק מחומר הגלם, לדוגמא, כאשר מוסיפים 10%-50 משקלי אפר מסוע למלט או אספלט.

9.2 בדיקות שטיפה

קיימות בדיקות שונות לתיאור תהליכי השטיפה. קיימת חלוקה גסה: בדיקות מיצוי (אין חידוש של התמיסה) ובדיקות דינמיות (יש חידוש של התשטיף). בדיקות המיצוי מתחלקות ל: בדיקות מוגבלת ע"י pH או לא מוגבלות ע"י pH, קומפלקסיה ויחס LS נמוך. בדיקות דינמיות מתחלקות ל: בדיקות סדרתיות, בדיקות קבוצתיות עם עלית ריכוזים, יחסי LS גבוהים או זרימה. לכל סוג בדיקה מטרה שונה והנחות שונות. בטבלה 6.1 בדיקות שטיפה שונות מארצות שונות המחולקות לפי שיטות מיצוי, דינמיות וסטטיות.

בשל מגוון הבדיקות הרב, קשה ובלתי מדויק להשוות בין נתונים מבלי לתרגם אותם קודם למסת יסוד שנשטף למסת אפר יבש (mg/kg) המבוסס על בדיקות תשטיף ב pH סופי. היסוד שנשטף מחושב ע"י הכפלת ריכוז היסוד בתשטיף ביחס LS כאשר נתוני בדיקות שונות מועלים על גרף מול pH הם מתאימים בד"כ לעקומות מסיסות/pH לכל יסוד. דבר זה מעיד על שחרור היסודות לתשטיף מוגבל בעיקר ע"י המסיסות ומושפע מבסיסיות האפר, כאשר ערך ה pH הסופי אינו מוכתב בבדיקה. היוצא מהכלל הוא בדיקות קליפורניה WET, שם השחרור מוגבל ע"י זמינות. מכוון שהתנהגות השטיפה משתנה עם הזמן ובתנאי שטיפה שונים מומלץ להשתמש ביותר מבדיקה אחת ע"מ לאפיין את התנהגות השטיפה הפוטנציאלית. הערכה כללית של השטיפה כוללת הרכב יסודות כולל, בדיקות זמינות כוללת לשטיפה ובדיקה תלויית pH ע"מ לאפשר השוואות. מומלץ להשתמש במס' בדיקות לאפיון התשטיף הכוללות:

- ✓ זמינות כוללת לשטיפה
- ✓ מסיסות היסוד כתלות ב pH
- ✓ השפעת יחס LS מוגבר או זמן על השחרור המצטבר

שינויי ה pH כפונקציה של יחסי LS יכולים להשפיע על המסיסות ולכן על השחרור ביחסי LS קטנים מ- 1. לדוגמא, ה pH התחלתי של תשטיף מבדיקת שאריות APC בקולונה יכול להיות נטרלי עד בסיסי, ה pH יעלה מהר אפילו ביחסי LS קטנים מ- 1. דבר זה עשוי לגרום לשחרור יסודות פחות מסיסים. אפקט זה נראה באפר ESP ובשאריות של מסננים (רטובים, יבשים וחצי יבשים) לכן חשוב לציין את pH התשטיף ויכולת נטרול החומצה לתוצאות בדיקות הקולונה.

ההבדל בין שטיפת פאזות מאוד מסיסות (לדוגמא, NaCl) לעומת יסודות ששטיפתם מוגבלת ע"י מסיסות, בבדיקות בקולונה ניתן לראות כאשר מצירים גרף של שחרור מצטבר כפונקציה של יחסי LS, ההבדל ניכר בשיפוע. - שטיפה ראשונית מאופיינת ע"י שיפוע גדול או שווה ל- 1, ואח"כ שיפוע 0. - שיטה המוגבלת ע"י מסיסות בעלת שיפוע של 1 (מסיסות מושפעת pH).

יסודות או תרכובות המהווים מרכיב עיקרי של האפר ישפיעו על שחרור יסודות הקורט (Pb, Cd) ע"י השפעה על הרכב התשטיף וה pH הסופי. לכן, יסודות עיקריים הנמצאים באפר צריכים להיבדק בנוסף ליסודות הקורט המעניינים. פרמטרים לבדיקה: Ca, Na, K, Cl, SO₄, CO₃, TDS, TOC, pH סופי וכן אלקליניות צריכים להיבדק ע"מ להעריך את ריכוזי הקרבונט והביקרבונט בתמיסה.

צריך לנהוג בזהירות כאשר מעריכים שחרור יסודות במגבלות מסיסות, כי צורן אחר עשוי להשתחרר או להישטף ביחסי LS נמוכים יותר ולהשפיע. לדוגמא:

- מסיסות Cd מוגבלת ע"י ריכוז Cl.
- מסיסות Cu מוגבלת ע"י ריכוז פחמן אורגני מומס.
- מסיסות Ba מוגבל ע"י ריכוז SO₄.

בחינת בדיקות השטיפה צריכה להבחין בין בדיקות אפיון לבדיקות איכות. מוגדרות 3 קטגוריות או רמות בדיקה: "אפיון בסיסי" כפי שתואר לעיל. בדיקות "התאמה" - אם לפסולת ערכים המתאימים לתקן. "וידוא בשטח" - משמש לבחינת התאמה מהירה לוודא שהפסולת דומה לזו שנבדקה בבדיקות התאמה.

10. תהליכי טיפול באפר

תהליכי טיפול שונים משמשים לצמצום שחרור המזהמים משאריות מפעל פל"א, בעיקר מתכות כבדות, ע"מ למזער את הנזק הסביבתי בזמן סילוק או שימוש.

ניתן לחלק תהליכים אלה לשלוש קטגוריות עיקריות:

1. תהליכי הפרדה
2. סולידיפיקציה/ סטביליזציה (S/S) - קיבוע
3. תהליכים תרמיים

חשוב להבחין בין טיפול לסילוק לבין טיפול לשימוש עתידי. כאשר הטיפול הינו עבור סילוק, מגבילים את התוספים. כאשר שאריות מפעל פלא משמשות כתחליף לחומר גלם (כחצץ בתעשיית המלט) הן מהוות חלק קטן מהתוצר הסופי. בנוסף, ההבדל בכמות היחסית של האפר בתוצר הסופי יוצרת הבדלים ניכרים בכמויות המזהמים המשחררים.

10.1 תהליכי הפרדה

תהליכים המפרידים חומר או יסוד מסוים מזרם אפר מסוים ע"י הפרדה פיזיקלית (מגנט להוצאת מתכות) או ע"י מיצוי כימי/מימי (CaCl₂ משאריות APC). מטרת תהליכי הפרדה כוללת: איסוף חומר למיחזור או שימוש התאמה לתקנים הפחתת כמויות ע"מ למזער דרישות סילוק (מתכות מאפר תחתי) שיפור איכות שאריות (שטיפת אפר תחתי לסילוק מלחים מסיסים) סילוק בטוח של מרכיבים מסוכנים (Hg מהגז) הכנה לשימוש

הפרדה פיזיקלית של מתכות ואל מתכות מאפר תחתי מקובלת הן באירופה והן בארה"ב. חומרים אלה ניתנים למחזור והם חומר גם נקי יחסית. בנוסף מיחזור זה מצמצם את עלויות ההטמנה ומשפר את איכויות האפר לשימושים אחרים. לעומת זאת שימוש בתהליכי הפרדה כימיים עדין לא מפותח, כנראה בשל מגבלות כלכליות.

10.2 תהליכי קיבוע

המושג סולידיפיקציה - מיצוק מתייחס למיצוק האפר עם מלט או חומרים דומים ע"י להמעיט את השטיפה. סטביליזציה - קיבוע הינו תהליך של הוספת חומרים כימיים להמעיט את מסיסות החומרים. סולידיפיקציה עשויה לשונת את האופי הכימי של השאריות ע"י הגבלת מסיסות המתכות הכבדות ע"י מטריקס.

קיימות מס' מערכות S/S המטפלות באפר APC במדינות שונות ומס' מערכות המטפלות באפר מעורב בארה"ב. מערכות אלו מהוות חלק קטן מכלל מפעלי פלי"א. רוב מערכות S/S מבוססות על טיפול במיצוק, בד"כ מלט (Portland cement). היתרונות בשימוש במלט הינם שמחירו הגיוני, הכלים קיימים והטכנולוגיה אינה רגישה לשינויים בהרכב הפסולת. בנוסף, החוזק והפרמהבליות ניתנים לשינוי בעזרת ריכוזי המלט. החסרונות הינם שהמלט מגדיל את המשקל והנפח של התוצר הסופי, נדרש טיפול מקדים באפר, וקשה להעריך את עמידותו לטווח הרחוק.

בחירת סוגי המלט חשובה בתהליך המיצוק, לדוגמא בחירת חומרי מיצוק בסיסים עשויי לגרום לעליית pH בתוך המטריקס ולהגדיל את פוטנציאל המסיסות של מתכות אמפוטטריות. שיטות S/S אינן אפקטיביות למניעת מוביליות קטיונים מסוימים (Na, K) והלוגנים, מכיוון שחלק ניכר משאריות APC מכיל מלחים כלורידים, ופוטנציאל הדיפוזיה של מלחים אלה מתוך שאריות APC מיוצבות עשוי להיות בעייתי. דבר זה יכול לגרום לאובדן החוזק הפיזיקלי ואורך החיים של המטריקס המוצק. בנוסף, שחרור מהיר של מתכות אמפוטטריות עשוי להתרחש, אם ה pH בתשטיף עולה. תופעות אלה מתאימות לתצפיות שדה. מומלץ לבדוק אפר ממוצק לעמידות לטווח ארוך ולפוטנציאל שטיפה. יתכן וסילוק מלחים מסיסים משאריות ה APC יידרש לפני טיפול ב S/S.

שלוש גישות לייצוב כימי נבדקות כיום.

1. WES-PHix^R - תהליך הכולל תוספת פוספטים מסיסים לשאריות. תהליך זה הראה הורדה משמעותית של זמינות כוללת וקצב שחרור של Pb.
2. קרבונציה מאולצת של אפר. תהליך זה מוריד את האלקליניות וה pH ל 8.0-9.5 ומצמצם את שחרור המתכות הכבדות פרט לקטיונים מסוימים והלוגנים.
3. הוספת תרכובות chelating לאפר מרחף ולשאריות APC ע"מ לצמצם את המסיסות של Hg, Cd, Cu, Pb, Ni, Cu, Fe.

שטיפה של תוצרי S/S - ההשפעה העיקרית של תהליכי S/S על שטיפה הן הורדת פרמהבליות החומר, הורדת יחס שטח פנים לנפח ושינוי pH (אלקליניות). מכיוון שמלחים מסיסים יכולים לצאת בדיפוזיה ממטריקס S/S יכולת החוזק הפיזיקלי של יתר המרכיבים יכולה לקרוס, בעיקר לגבי אפר APC, אך הוספת השאריות לאספלט מצמצמת את קצב שחרור המלחים המומסים בשל האופי ההידרופובי של האספלט.

10.3 תהליכים תרמיים

תהליכים אלה כוללים חימום האפר ע"מ לגרום ל sintering. המסת החומר ליצירת סיגים (slag) או המסת החומר עם תוספים ליצור פאזה זכוכיתית הומוגנית (vitrification). טכניקות סיגים וויטריפיקציה מקובלות ביפן, אך לא באירופה או ארה"ב. טכניקות נוספות נמצאות כיום בפיתוח. תהליכי טיפול תרמיים משמשים להפרדה או קשירת מתכות שונות (כגון Cd, Pb, Zn) מהתוצר. הלוגנים, גופרית וצורוני פחמן לא יכולים להקשר ע"י ויטריפיקציה. בנוסף, מתכות נדיפות עשויות להתנדף בתהליך זה. שאריות של תהליכים תרמיים בד"כ עמידים לשטיפה אך מאוד יקרים בשל צריכת האנרגיה לתהליך.

11. ניצול האפר

שריפה אינה סוף התהליך מכיוון שישנן שאריות הדורשות טיפול בצורה שאינה גורמת למפגעים סביבתיים. מזעור כמויות השאריות המגיעות להטמנה היא חשובה. עד היום הדגש היה שימוש באפר תחתי כתחליף לחצץ בשימושי בניה. הנושאים העיקריים הנוגעים לשימוש באפר הם שחרור המלחים והמתכות הכבדות הן כתשטיף והן כפליטת אבק, רמת טיפול הקדם הנדרש לפי אופן השימוש, בקרת איכות ועמידות התוצרים. הריכוזים הגבוהים של מלחים מסיסים ומתכות כבדות בשאריות APC (אפילו אחרי טיפול) מנעו את השימוש בחומר זה.

11.1 יישומים

בעבר, אפר תחתי הוגדר כתערובת של אפר מסוע (grate ash) ו grate siftings ולפעמים התווסף גם אפר דוודים (boiler ash). למרות שאפר מסוע מופרד עשוי להיות סוג האפר המתאים ביותר לשימוש, אפר תחתי שימש כתחליף חצץ.

באירופה, אפר תחתי שימש לבניית איים (כיבוש הים), סוללות, שוברי גלים, מצע לכבישים ולמגרשים חניה, ובארה"ב כתחליף לחצץ עבור תעשיית הכבישים והמלט. קימות אפשרויות נוספות אפילו ככיסוי לשיקום מטמנות.

11.1.1 התייחסות מקומית ומוסדית - צריך לבחון את הגורמים הבאים:

קיבולת סילוק (הטמנה) בלתי מספקת - קיבולת מוגבלת לטווח הרחוק, התנגדות ציבורית למתקנים חדשים, זמינות שטחים
 אספקת חצץ מקומי בלתי מספיקה
 עלות סילוק של כמות מצומצמת - שינוע למרחקים מול מכירת אפר כחומר גלם
 שאיפה לעידוד שימור משאבי טבע תוך שימוש בפסולת
 חקיקה ותקנות לשימוש

11.1.2 טיפול מקדים ובדיקות - על סמך נתונים מדעים, מומלץ להשתמש באפר מסוע שעבר טיפול. שימוש בסוגי אפר אחרים (גם אם עברו טיפול) עשוי לגרום לזיהום סביבתי ע"י מתכות כבדות (Cd, Pb, Hg) ומלחים מסיסים. אך מכיוון שאפר תחתי מורכב גם מכמויות מאוד קטנות של אפר דוודים, נראה מיותר להפריד בין השניים.

פסילת אפר תחתי לשימוש מתבצעת בכמה מדינות אירופאיות על סמך בדיקות שונות, כגון LOI >3%, או גודל גרגר קטן מדי (45-50 mm) כמו באפר של RDF.

תהליכים מקדימים לאפר תחתי, כגון ניפוי והוצאת חלקים גדולים (מתכתיים ואל מתכתיים) דרושים ע"מ להפחית את פוטנציאל יצור. יתכן וכדי להפריד בין grate siftings לאפר התחתי, בשל היותו מעושר ב Pb, Al. ניפוי הפרקציה הדקה מהאפר, תצמצם את פוטנציאל שחרור העופרת, יצור H₂, התנפחות האפר או יצירת אבק.

אפר תחתי צריך להיות מאוחסן במשך חודש עד שלושה חודשים בתכולת רטיבות מתאימה (16%) לפני השימוש ע"מ לאפשר התנפחות, הידרציה, קרבונציה וחמצון, ושאר תהליכים המתרחשים בזמן ההתיישנות. אחסון האפר צריך להתבצע עם איסוף וטיפול תשטיפים ונגר.

11.1.3 התאמה סביבתית - אפר המתאים מבחינה פיזיקלית לשימוש, נדרשת בדיקתו להתאמה סביבתית. שחרור המלחים המסיסים (TDS from Na, K, Ca, Cl, SO₄) ומתכות כבדות דרוש להערכת סיכונים סביבתיים. לדוגמא, ערבוב שאריות עם מלט יגביל שחרור יסודות שונים, pH גבוה במערכת עשוי לגרום לעליה בשחרור מתכות אמפוטריות (Pb). לכן נדרשות בדיקות

ספציפיות לגבי כל מקרה. אישור יישום צריך להיבדק על סמך שחרור המזהמים לסביבה לאורך חיי התוצר תוך התחשבות בקצב שחרור המזהמים ופוטנציאל הזיהום לאורך תקופה.

11.1.4 הערכת השפעות השטיפה - המנגנון העיקרי של שחרור מזהמים מחומרים מונוליטיים הוא בד"כ דיפוזיה או המסת פני שטח. חומרים שלא ישמרו על המבנה שלהם לאורך התקופה יבדקו כחומרים גרנולרים. מנגנון שחרור זיהום מחומרים גרנולרים בעלי פרמהבליות נמוכה הוא דיפוזיה ואילו מחומרים בעלי פרמהבליות גבוהה המנגנון הוא חלחול.

12. סילוק שאריות

מטרת הסילוק לתת פתרון סופי לחומרים תוך שמירה שלא יגרמו לפגיעה בטווח הקצר או הארוך לחיי אדם או לסביבה. שאריות השריפה שלא מגיעות לשימוש או יישום אמורות להגיע לקבורה. תשטיפי המזהמים משאריות אלה כוללים מלחים או מתכות כבדות ודורשים טיפול, גם אבק שנוצר מהאפר המוטמן צריך להימנע.

שיטות סילוק

ההבדלים העיקריים בין שיטות הסילוק השונות יוצגו בעזרת הטיפול בתשטיפים.

- ✓ "אחסנה יבשה"
- ✓ סילוק עם איסוף תשטיפים
- ✓ שחרור מזהמים מבוקר
- ✓ ללא טיפול בתשטיפים

איטום וסילוק עם איסוף תשטיפים דורש מערכת הגנה סביבתית פעילה (דהינו, תפעול והשקעת אנרגיה) ואילו שחרור מזהמים מבוקר וחוסר טיפול בתשטיפים דורשות מערכת הגנה סביבתית פאסיבית. מערכת הגנה סביבתית אקטיבית עשויות להידרש בשלב הראשוני של ההטמנה במקרים מסוימים, אך רק מערכות פסיביות צריכות לבוא בחשבון בתכנון לטווח רחוק.

איטום שאריות מפעל פל"א מתייחס למניעת חלחול דרך ערמת הפסולת. לכן, כשמעי' האיטום שלמה אין ציפייה לתשטיפים. החסרון העיקרי הוא ששאריות ההטמנה נשארות ולכן פוטנציאל הפגיעה בסביבה יישאר ללא שינוי לאורך תקופת זמן ארוכה. ז.א. עד שמעי' האיטום תקרוס ו"ענן" התשטיפי ישתחרר. דבר זה נכון בעיקר לגבי מטמנות עם איטום מלאכותי (HDPE) עילי ותחתית המתבסס על מניעת זרימת התשטיפי. שיטת קבורת שאריות APC במכרות מלח נטושים מקובלת בכמה אזורים באירופה. אך, קבורה תת-קרקעית הינה יקרה ומוגבלת. איטום מוחלט אפשרי לזמן קצר, אך שיטות מתאימות לקבורה סופית או שימוש צריכות להתפתח.

שיטה המבוססת על קבורה עם איסוף וטיפול בתשטיפים היא השיטה המקובלת בקבורה סניטרית. התשטיפי נאסף בשכבת ניקוז ומטופל לפני שחרורו לסביבה. קצב יצירת התשטיפי יכול להצטמצם ע"י כיסוי עילי בחומר עם פרמהבליות נמוכה. בשיטה זו נקברים שאריות מפעלי פל"א, אך היא אינה אופטימלית מכיוון שמפעיל אתר הקבורה מחויב באיסוף וטיפול בתשטיפי לאורך זמן רב. כמו כן, טיפול בתשטיפי עשוי להיות מסובך או יקר. למרות ששיטה זו אינה פתרון לטווח ארוך, היא יכולה להיות ישימה לשלב הראשון ולעידוד השטיפה מתוך האפר לפני הכיסוי הסופי. דרוש שלב נוסף של תפעול המבוסס על שיטה לטווח ארוך יותר.

שיטת שחרור המזהמים המבוקר מבוססת על שחרור מזהמים בכמות מקובלת ע"י בקרת כמות ואיכות התשטיפי הנוצר באתר. התשטיפי דולף לסביבה עם היווצרו ונדרשת הערכת פוטנציאל ההשפעה על הסביבה ע"מ למנוע פגיעה. איכות וכמות התשטיפי תלויה באופי הפסולת, תכנון והפעלת האתר ובתנאים האקלימיים. טיפול בפסולת לפני ההטמנה עשוי לצמצם את פוטנציאל הזיהום ואת הפרמהבליות של הפסולת. בנוסף, תכנון מערכת ניקוז עלית יכול להבטיח קצב חלחול נמוך ולכן קצב שחרור מזהמים איטי לטווח הארוך והקצר. מכיוון שמזהמים מסולקים מהפסולת הקבורה, יש ירידה מתמשכת של פוטנציאל הזיהום. שיטה זו עשויה להיות מתאימה לפתרון לטווח הרחוק עבור שאריות האפר. עבור כמה מסוג האפר, שלב שחרור המזהמים הסופי צריך לבוא אחרי שלב קצר מועד פעיל המבוסס על איסוף וטיפול בתשטיפים.

שיטת השטיפה הלא מבוקרת אופיינית למזבלות בהן לא נעשה דבר למנוע היווצרות תשטיפים. פוטנציאל ההשפעות הסביבתיות תלוי באפי השטיפה של הפסולת, תנאים גיאולוגיים ואקלימיים וכן רגישות הסביבה. בשיטה זו אין שום בקרה, היא ישימה רק עבור חומרים אינרטיים ולכן לא מתאימה לשאריות מפעלי פל"א, רק במקרים בהם הרכב התשטיפי דומה לאיכות המים המקומיים.

קבורה במונופיל היא השיטה המקובלת באירופה ובקנדה לסילוק אפר תחתי, למרות שקיימים אתרים בהם יש קבורה משותפת של אפר ממפעלי פל"א אפילו עם פסולת ביתית. השיטה המקובלת ביותר לקבורת אפר תחתי הינה קבורה עם טיפול בתשטיפים. השיטה המקובלת לקבורה של שאריות APC הינה "אחסנה יבשה".

פסולת ביתית מכילה בעיקר חומר אורגני ואילו אפר הוא בעיקרו אנ-אורגני ובד"כ מיצר כמויות קטנות של חומצות אורגניות בזמן הפירוק. לכן, לא מומלץ לערבב בין אפר לפסולת ביתית ע"מ למנוע הסעה פוטנציאלית של מתכות

כבדות מהאפר ע"י החומצות האורגניות. בנוסף, דרישות הסילוק עשויות להיות שונות לאפר תחתי ולשאריות APC בשל תכונותיהם השונות, בעיקר אחוזי המרכיבים המסיסים. מומלץ לכן שזרמי אפר שונים יקבלו טיפול נפרד בהתאם לתכונותיהם ולפי הערכת הסיכונים הסביבתיים.

המלצה זו שונה משאר נהוג בארה"ב שם מסלקים אפר מעורבב במונופיל עם איטום כול. נוהג זה מתאים סביבתית אך דורש תפעול ועשוי להיות יקר מכיוון שעיקר האפר המעורבב (אפר תחתי) אולי לא דורש אותו טיפול כמו אפר משולב או סילוק שאריות APC.

12.1 הטמנת אפר תחתי

התשטיפים הראשוניים המתקבלים מאפר תחתי הינם בעלי ריכוז גבוה יחסים של מלחים אנ-אורגניים (כלוריד, סולפט, Na, Ca, K). ריכוז החומר האורגני המומס (DOC) ואמוניה מקורם בחומר האורגני השאריתי שלא נשרף וטווח ערכיהם משתנה. ה pH בד"כ בסיסי ותלוי במידת הקרבונציה ופוטנציאל redox בד"כ נמוך (סביבה מחזרת) כתוצאה מפירוק מיקרוביולוגי של שאריות החומר האורגני. ריכוזי יסודות הקורט בתשטיפ נמוכים בשל התנאים המחזרים (רובם יוצרים סולפידים לא מסיסים) והמסיסות מוגבלת בשל ה pH. ריכוז החומר האורגני שלא נשרף באפר התחתי הינו אחד הגורמים המשפיעים על התנאים ההידרו-גיאוכימיים ולכן על התנהגות יסודות הקורט בתוך האפר התחתי המוטמן. חומר אורגני נמצא אפילו באפר שעבר שריפה יעילה וניתן לקיים פעילות מיקרוביולוגית וליצור תנאים מחזרים. לכן, ע"מ למנוע ניידות יסודות קורט, תוצרי פירוק חומציים צריכים להיות זניחים ביחס לקיבולת נטרול החומצה של האפר. חומר אורגני מומס הינו מזהם ומשפיע על ניידות מתכות כגון Cu באפר תחתי.

מניסיונות עולה שריכוז רוב המלחים בתשטיפ יורד עם התקדמות השטיפה ואילו ריכוזי SO_4 עולים בשל ירידה בריכוזי Ca. בנוסף, תנאים מחזרים נצפו במשך 20 שנה במונופיל לאפר תחתי ואפר מרחף ולכן ריכוזי יסודות הקורט נשארו נמוכים באותה תקופה.

באזור מתאים (קרוב לים או באזור ללא אקויפריים) שיטת סילוק המבוססת על סחרור מבוקר נראית מתאימה להטמנת אפר תחתי. קצב יצירת התשטיפ יוגבל חלקית ע"י תכנון האתר. טיפול מקדים (כגון שטיפה או מיצוק) עשוי להיות נדרש במקרים מסוימים שהאפר יהווה סיכון למי תהום. הקמת אתר סילוק אפר תחתי המבוסס על סחרור מזהמים מבוקר צריך להבחן בסקר סיכונים סביבתי, ע"מ להבטיח שכמות המזהמים המשתחררת לסביבה לא תהווה מפגע בטווח הקצר והארוך. אם נבחרה שיטה של אחסנה יבשה או איסוף תשטיפים לטווח קצר או ארוך, דרוש טיפול מתאים בתשטיפים. התשטיפים מתקבלים בד"כ למתקני ביוב בתנאי שנמהלים בשאר השפכים. לעיתים נדרש להוריד את pH התשטיפ (ע"י חומצה גופרתית) ו/או לעלות את פוטנציאל redox מסביבה מחזרת לסביבה מחמצנת (ע"י הוספת מי חמצן) לפני הטיפול במתקן הביוב, למרות שברוב המקרים טיפול מקדמי אינו נדרש. חשוב לציין, טיפול ביולוגי לא משפיע על תשטיפי אפר תחתי המכילים בעיקר מלחים אנ-אורגניים ומעט אם בכלל חומר אורגני.

12.2 הטמנת שאריות APC

שאריות APC ממערכות יבשות וחצי יבשות מכילות ריכוזים גבוהים של חומר מסיס (20-65% משקל). רוב החומר משתחרר בשטיפה ראשונית (יחסי LS בין 0-2 ליטר/ק"ג) ומכיל בעיקר מלחים ($CaCl_2$, NaCl, KCl). לכן ריכוזי המומסים בתשטיפ הראשוני גבוהים אך דועכים לערכים נמוכים ביחסי LS גבוהים יותר. רוב יסודות הקורט לא נחשבים מסיסים ($< 1\%$ (w/w)) פרט ל Pb 20-65% w/w מתכולה כוללת ו Mo 10-20% w/w. בתנאים דומים בד"כ לא נצפה לשחרור של Hg, Ni, Sn, אך המסיסות הגבוהה של Pb היא כנראה של התנהגות אמפוטריית של היסוד ובשל ריכוזי כלוריד גבוהים בתשטיפ.

בד"כ המסיסות הכוללת של אפר מרחף היא 20-25% (w/w). אפר מרחף מתנהג כמו שאריות APC ממערכות יבשות וחצי יבשות למרות שטיפת Ca והאלקליניות של האפר המרחף נמוכה יותר. במקרים מסוימים (יחסי LS מאוד נמוכים) pH של האפר המרחף יכול להיות נמוך (< 7) ולגרום למסיסות מוגברת של Cd.

התשטיפים ממערכות סינון רטובות (כולל אפר מרחף) מכילים ריכוזי TDS נמוכים יותר מתשטיפי מערכות יבשות וחצי יבשות. תופעה זו נגרמת בשל סילוק מוקדם של המלחים המסיסים עם השפכים. היסודות העיקריים בתשטיפ הראשוני הם Na, K, Cl ופחות Ca. SO_4 נמצא בריכוזים גבוהים יותר מאשר בתשטיפי מערכות יבשות. פרט ל Mo ריכוזי יסודות הקורט נמוכים בתשטיפ זה מאשר בתשטיפי מערכת יבשה וחצי יבשה. דבר זה נגרם כנראה בשל pH נמוך יותר בבוצה.

מומלץ לסלק שאריות APC ובעיקר אפר מרחף ושאריות מערכות יבשות וחצי יבשות בשיטה שתבוסס בהמשך על סחרור מזהמים מבוקר עם טיפול מקדים של השאריות. תהליך הטיפול בשני שלבים הכולל סילוק מלחים מסיסים

(שטיפה/הוצאה) ואח"כ מיצוק, ויטריפיקציה או פיקסציה של יתרת החומר הינה הגישה המתאימה. עד לפיתוח תהליכים מתאימים, סילוק שאריות אפר צריך להיות מבוסס על "אחסנה יבשה" או קבורה עם איסוף תשטיפים, כמובן לאחר בדיקת סיכונים סביבתיים.

תשטיפים שנאספו משאריות APC מכילים בד"כ ריכוזים גבוהים של מלחים אנ-אורגנים ובמקרים מסוימים ריכוזים גבוהים של יסודות קורט בעיקר Pb, Cd. התשטיפ מגיע לרוב למתקני ביוב ללא טיפול מקדים ותנאי שכמויותיו זניחות ביחס ליתר הביוב המוהל אותו.

13. סיכום ומסקנות

הפרשי הטמפרטורות בתוך מפעל פלי"א משפיעים על השאריות הנאספות בשלבים השונים של התהליך. ע"מ למנוע בלבול מומלץ להשתמש במונחים הבאים לזרמי האפר השונים המבוססים אל אזור איסוף האפר:

- Grate ash - אפר שנאסף מהמסוע
- Grate siftings - אפר שנאסף מתחת למסוע
- Bottom ash - שני המפורטים לעיל ולפעמים גם אפר ממערכת יצור האנרגיה
- Heat recovery ash - אפר שנאסף בדוודים
- Fly ash - חלקיקים שנאספו מגז לפני הוספת ראגנטים לתהליך הסינון
- APC - air pollution control - כל החלקיקים שנאספו במורד הזרם לאחר הזרקת ראגנטים ולפני שחרור הגז מהארובה.

התפתחות שיטות הטיפול בשאריות מפעל פלי"א דורש ידע לגבי מאפיינים פיזיקליים, כימיים ותכונות שטיפה אופייניות לאפר. כתוצאה מהאופי ההטרוגני של הפסולת המגיע למפעל במחזורים שונים, דיגום זרמי האפר דורש התייחסות זהירה.

בזמן דגימת האפר מומלץ לבצע את הדברים הבאים:

- גודל דגימה צריך להיות לפחות פי 2.5 מגודל הגרגר המקסימלי בדוגמא (125 מ"מ לאפר תחתי וקטן יותר לשאר סוגי האפר).
- הרכב הדוגמא של כל זרם אפר צריך להיות מורכב מלפחות עשרה מדגמים שונים (10 ק"ג לאפר תחתי ו-1 ק"ג לשאר סוגי האפר).
- ניפוי דגימות אפר תחתי לסילוק חלקיקים 50 מ"מ > ולמזער את גודל החלקיקים הגדולים.
- לחלק את החומר המנופה לשתי דגימות.

בנוסף, כל מחקר צריך להכיל מידע מקסימלי ידוע - הפרד במקור, סוגי פסולת (ביתית או תעשייתית), סוג מפעל פלי"א ותנאי הפעלה.

מסגרת להערכת דוגמאות אפר צריכה להכיל בדיקות פיסיקליות וכימיות. הבדיקות הפיסיקליות יכללו: תאור, התפלגות גודל גרגר, צפיפות גושית, צפיפות יבשה, משקל סגולי, תכולת רטיבות, יכולת ספיחה, יכולת דחיסה, עמידות ומוליכות הידראולית.

הבדיקות הכימיות יכללו: LOI - loss on ignition, מינרלוגיה, pH ויכולת נטרול חומצה והרכב יסודות כולל. בדיקות שטיפה צריכות לקבוע: זמניות כוללת לשטיפה של יסודות או תרכובות, מסיסות יסוד או תרכובת כתלות ב pH, השפעת שחרור מזהמים כתלות ביחס LS, אלקליניות השאריות, נוכחות חומרים יוצרי קומפלקסים, נוכחות קטיונים ראשוניים ואניונים בתשטיפ.

ללא תלות בשיטת הבדיקה הנבחרת נדרש להעביר את הנתונים ליחידות המראות את השינוי עם יחסי LS ומצוירות כתלות ב pH. שחרור זיהום (mg) לק"ג אפר מחושב ע"י הכפלת הריכוז (mg/l) ביחס LS. מכיוון שה pH הינו הגורם העיקרי המשפיע על מסיסות המזהם משאריות מפעלי פלי"א דרוש לבדוק שנית נתונים שאינם מתאימים לגרף הצפוי.

כל נתונים אלה משמשים לקביעת פוטנציאל קצר או ארוך טווח של קצבי שחרור מזהמים והאם מערכת השטיפה מאופיינת ע"י לחחול (שטיפה מוגבלת ע"י מסיסות או זמינות) או ע"י דיפוזיה. כאשר מוערך השחרור המצטבר של המזהמים ניתן לקבוע את הסיכון הסביבתי ושיטת הטיפול והסילוק.

מומלץ לטפל בכל סוג אפר בנפרד בצורה יעילה וכוללת:

- הפרדת אפר תחתי מאפר מרחף ומשאריות APC ע"מ להשתמש באפר התחתי ולטפל ביתר.
- ערבוב אפר דוודים עם שאריות APC לטיפול.
- בחינת תועלת הפרדת grate siftings מזרם אפר תחתי כאשר בוחנים את השימוש באפר תחתי.
- הוצאת מתכות ויתכן גם אל מתכות מהאפר התחתי למטרות מיחזור ושיפורו לשימוש המשכי.

על סמך המלצות אלה איור 10.2 מראה את הטיפול בשאריות האפר. ניתן להשתמש או להטמין אפר תחתי ואילו "אפר מרחף" (כולל שאריות APC) מוגבל בעיקר להטמנה. איור 10.3 מציג את האפשרויות לגבי טיפול באפר תחתי, למרות שקיימות אפשרויות אחרות השיטה המומלצת הינה לסלקו לקבורה עם שחרור תשטיפים מבוקר.

אם יבחר להשתמש באפר התחתי (איור 10.4) מוטב להפריד בין אפר מסוע ל grate siftings. ע"מ להוציא מתכות מ grate siftings ולשרוף שנית את מה שלא נשרף. מומלץ להוציא מתכות ואל מתכות מאפר המסוע וליצור חומר בעל התפלגות גרר מתאימה. החומר הלא מתאים ישלח ישר לסילוק. החומר המיועד לשימוש יעבור תהליך התיישנות כדי להגיע ליציבות פיסיקלית וכימית ולהשתוות לחצץ טבעי. אם השימוש המיועד הינו מילוי או סוללות מומלץ להעריך את השטף הפוטנציאלי של המלחים לסביבה ע"מ למזער נזקים.

שאריות שנאספו ממערכת יצירת אנרגיה וממערכת APC (אפר מרחף ושאריות ממערכות יבשות, חצי יבשות ורטובות) צריך להיות מטופל בזהירות (איור 10.5). למרות ש"אחסנה יבשה" איננה פתרון סילוק לטווח הארוך, לעיתים זהו הפתרון היחיד האפשרי. אם נבחר פתרון זה, נדרשות מערכות הגנה סביבתיות למנוע מגע בין החומר למים ולמנוע שחרור מזהמים לסביבה. בעקרון מערכות כאלה דורשות תפעול לאורך שנים. טיפול באפר לפני הטמנה עשוי לאפשר לתוצר להיקבר בשיטה פחות מחמירה כגון קבורה עם טיפול בתשטיפים או במערכת עם שחרור מבוקר. חלק מהטיפולים אפשרי רק כאשר כחומר עובר מחזור. השפכים ממערכת הסינון הרטובה צריכים לעבור טיפול מקדים לפני סילוק למתקן שפכים עירוניים. טיפול זה יאפשר סילוק מתכות כבדות מהשפכים. שיקולים כלכליים ושיקולים סביבתיים של כל תהליך טיפול או סילוק צריכים להיבדק ע"מ לוודא שכל המחירים וההשפעות הסביבתיות נבחנו ביחס לתועלות.