

מאת: דר' אלי לדרמן

מנחים: פרופסור איתמר פלאי ופרופסור חיים כהן

המחלקה למדעי הגיאולוגיה והסביבה והמחלקה לכימיה, אוניברסיטת בן גוריון בנגב

דצמבר 2008

השימוש בפחם כמקור אנרגיה להפקת חשמל בישראל, מלווה בהיווצרות של למעלה מ-3,000 טון אפר פחם מרחף (א.פ.מ.) ליום. הא.פ.מ. הינו חומר בר-השבה הדורש פיקוח סביבתי, מה שמאפשר שימוש בפסולת זו למטרות בנייה ותשתיות. מהפחם נוצר אפר עשיר בתרכובות בעלות תגובה בסיסית, עם מים (בעיקר בשל תכולה גבוהה של תרכובות סידן ומתכות אלקאליות). מטרה ראשונה של מחקר זה הייתה לבחון את יכולת הא.פ.מ. לנטרל פסולות תעשייתיות בחומציות גבוהה. מטרה שנייה, ניצול התכונות הפוזולניות, האופייין הכימי ושטח הפנים הגדול של הא.פ.מ. לקבע יסודות רעילים הנמצאים בפסולות. מטרה חשובה נוספת הייתה הבנת המנגנונים של תהליכי הקיבוע/ספיחה של מתכות מעבר רעילות, המתרחשים בעת שימוש בא.פ.מ. כריאגנט כימי. בנוסף, רצינו לבדוק את אפשרות השימוש בתוצר הקיבוע של בוצה תעשייתית, ע"י א.פ.מ. כתחליף חול בייצור בטון, תוך בדיקת איכות הקיבוע במונוליתים. שימוש זה יביא ליצירת תוצר ידידותי לסביבה משתי פסולות שמוגדרות כחומ"ס (חומרים מסוכנים) או כפסולות ברות השבה.

כדי לחקור את הנושאים הללו, נבדקו תוצרי קיבוע מתגובה בין א.פ.מ. שמקורו משריפת פחם מיובא מדרום אפריקה (א.פ.ד.א.) עם בוצה חומצית אורגנית של מפעל פז שמנים במפרץ חיפה. כמו כן נבדקו תהליכי הסתירה והקיבוע של שפכים חומציים ממפעל חיפה כימיקלים דרום, שנוצרו בתהליכי הפקה של חומצה זרחתית. מהמחקר עלה שפוטנציאל שחרור הבסיסיות של א.פ.מ. הינו פונקציה של משך זמן טלטול הא.פ.מ. בתמיסה מימית, כדי לחדור לעומק המטריצה של האפר, שמבנהו אינו אחיד וחלקיקיו בעלי מגוון צורות וחללים. כמו כן נבדק כושר הקיבוע של מתכות רעילות ע"י הא.פ.מ. שכן הפסולות הרעילות שהוזכרו לעיל מכילות כמויות משמעותיות של יסודות מסוכנים לסביבה (כמו ניקל, כרום ועופרת). יציבות הקיבוע לשטיפה במים נבדקה לזמנים של חצי שעה ועד שלושה חודשים. הבנת המנגנונים של הקישור (קיבוע/ספיחה – sorption) בין המתכת לא.פ.מ. נעשתה בניסויים בהם הוספה תמיסה של קטיון דו-ערכי של מתכת לתגובה עם א.פ.ד.א. גולמי (ללא כל טיפול מקדים), או א.פ.ד.א. שעבר שטיפה במים או א.פ.ד.א. שעבר טיפול בחומצה (המביאה לחשיפה – stripping יעילה של פני שטח האפר). נבדק קיבוע של קטיונים דו-ערכיים M^{2+} באפר בתלות גודל הקטיון. הקטיונים שנבדקו: Co^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} ו- Zn^{2+} . ברור למשל שהשדה החשמלי של Cu^{2+} (רדיוס 0.69\AA) גדול משל Pb^{2+} (רדיוס 1.20\AA). הצפי היה שהאינטראקציה האלקטרוסטטית בין הקטיון לשטח הפנים של הא.פ.מ. תהיה גדולה יותר ככול שהרדיוס היוני קטן יותר ואכן נימצא שהנחוש נספחת במנגנון של

¹ תזה לדוקטורט באוניברסיטת בן-גוריון בנגב, 2008

קישור אלקטרוסטאטי, כשהאפר השטוף מתנהג כמחליף יונים ואילו יון העופרת עובר קיבוע על ידי קישור כימי קואורדינטיבי חזק (יש מספר קטן בהרבה יותר של אתרי קישור ליוני עופרת, בהשוואה לנחושת). נימצא גם שאיכות הקיבוע של הא.פ.מ. לא מושפעת כתוצאה מהוספת חומר אורגני. נבדקה אפשרות השימוש בתוצר הקיבוע, כתחליף חלקי לחול בייצור בטון. נימצא כי עד רמה של החלפת 15% מהחול בתוצר הקיבוע, רמת החוזק המכאני של המונוליתים שיוצרו הייתה טובה. המסקנות העיקריות במחקר הן:

א. לא.פ.מ. שנוצר בישראל יש תכונות של ריאגנט כימי יעיל בתחום נטרול פסולות בעלות חומציות גבוהה.

ב. א.פ.מ. הינו ריאגנט כימי יעיל ביותר לקיבוע המתכות הרעילות (אלו שנחקרו בעבודה זאת) הקימות בתוך הפסולות התעשייתיות שנבדקו. הקיבוע עומד בסטנדרטים של שטיפות מזהמים, המקובלים ע"י הרשויות.

ג. המחקר הגיע להבנת שלושה מנגנוני הקיבוע/ספיחה של קטיונים דו-ערכיים על א.פ.מ.. מנגנונים אלה תלויים בהתנהגות השכבה הכפולה של המטענים שעל פני השטח של הא.פ.מ. והתמיסה שמסביבו. ערכים אלה תלויים ב-pH התמיסה ופוטנציאל זיטא המאפיין התנהגות כל חומר בתנאי pH שונים. נמצאו שלושה תחומי pH: בתחום ה-pH הבסיסי, מנגנון הקישור הוא ספיחת תרכובות הידרוקסידיות קשות תמס על האפר. בתחום ה-pH הניטרלי, המנגנון הוא קישור כימי קואורדינטיבי לאתרים ספציפיים ובתחום ה-pH החומצי, יש אינטראקציה אלקטרוסטאטית של היסודות עם פני השטח במנגנון של מחליף יונים.

ד. ניתן לנצל את תוצר הקיבוע כאגרנט תחליפי (באופן חלקי), לחול בתהליך ייצור מונוליתים מבטון וניתן להשתמש במונוליתים לתעשיית הבנייה, ללא כל מגבלות סביבתיות של שטיפת מזהמים (על פי מה שנהוג כיום במשרד להגנת הסביבה בישראל).