



תעשיית המתכת
בראי אתגרים גלובליים
לתעשיות המים
דו"ח שישי
סקר ואתגרים



ד"ר גלעד פורטונה
איבון שיה
שירי פרוינד-קורן



אודות מוסד שמואל נאמן

מוסד שמואל נאמן שהוקם בטכניון בשנת 1978 ביוזמת מר שמואל (סם) נאמן והוא פועל להטמעת חזונו לקידומה המדעי-טכנולוגי, כלכלי וחברתי של מדינת ישראל.

מוסד שמואל נאמן הוא מכון מחקר המתמקד בהתווית מדיניות לאומית בנושאי מדע וטכנולוגיה, תעשייה, חינוך והשכלה גבוהה, תשתיות פיסיקות, סביבה ואנרגיה ובנושאים נוספים בעלי חשיבות לחוסנה הלאומי של ישראל בהם המוסד תורם תרומה ייחודית. במוסד מבוצעים מחקרי מדיניות וסקירות, שמסקנותיהם והמלצותיהם משמשים את מקבלי החלטות במשק על רבדיו השונים. מחקרי המדיניות נעשים בידי צוותים נבחרים מהאקדמיה, מהטכניון ומוסדות אחרים ומהתעשייה. לצוותים נבחרים האנשים המתאימים, בעלי כישורים והישגים מוכרים במקצועם. במקרים רבים העבודה נעשית תוך שיתוף פעולה עם משרדים ממשלתיים ובמקרים אחרים היוזמה באה ממוסד שמואל נאמן וללא שיתוף ישיר של משרד ממשלתי. בנושאי התוויית מדיניות לאומית שעניינה מדע, טכנולוגיה והשכלה גבוהה נחשב מוסד שמואל נאמן כמוסד למחקרי מדיניות המוביל בישראל.

עד כה ביצע מוסד שמואל נאמן מאות מחקרי מדיניות וסקירות המשמשים מקבלי החלטות ואנשי מקצוע במשק ובממשל. סקירת הפרויקטים השונים שבוצעו במוסד מוצגת באתר האינטרנט של המוסד. בנוסף מוסד שמואל נאמן מסייע בפרויקטים לאומיים דוגמת המאגדים של משרד התמי"ס - מגני"ט בתחומים: ננוטכנולוגיות, תקשורת, אופטיקה, רפואה, כימיה, אנרגיה, איכות סביבה ופרויקטים אחרים בעלי חשיבות חברתית לאומית. מוסד שמואל נאמן מארגן גם ימי עיון מקיפים בתחומי העניין אותם הוא מוביל.

יו"ר מוסד שמואל נאמן הוא פרופ' זאב תדמור וכמנכ"ל מכהן פרופ' עמרי רנד.

כתובת המוסד: מוסד שמואל נאמן, קרית הטכניון, חיפה 32000

טלפון: 04-8292329, פקס: 04-8120273

כתובת דוא"ל: info@neaman.org.il

כתובת אתר האינטרנט: www.neaman.org.il

תעשיית המתכת בראי אתגרים גלובליים לתעשיות המים

דוח שישי

סקר ואתגרים

ד"ר גלעד פורטונה

איבון שיה

שירי פרוינד קורן

נובמבר 2013

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחבר/ים ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן

רשימת יועצים

איתן אדרס - אדרס חומרי בנין, אדקסטיל
שמואל ערמון - חד-אסף פלדה

מנהל הפרויקט : ד"ר גלעד פורטונה

עוזרת מחקר : שירי פרוינד-קורן

סיכום מנהלים

תעשיית המתכת מהווה נדבך מרכזי בהתפתחות הכלכלית של העולם. תעשיית המתכת (ובעיקר הפלדה) נוגעת בכל היבט של חיינו. היא מרכזית לתחבורה, דיור, אנרגיה, חקלאות, מים ותשתיות. הביקוש לפלדה ולמוצרים המוגמרים שלה גדל מאד לאורך השנים וחיוני כדי לתמוך בצמיחה הכלכלית העולמית.

מטרת דו"ח זה היא לבחון את תפקיד המים בתעשיית המתכת ולנסות לזהות הזדמנויות עסקיות פוטנציאליות עבור חברות מים ישראליות בטיפול במים, חיסכון במים, שימוש חוזר/מחזור של מים ופליטה מוסדרת לסביבה בהתאם לרגולציה הרלוונטית.

סקירת תעשיית המתכת בדו"ח זה מכסה שני מגזרים עיקריים:

(1) ייצור ברזל ופלדה

(2) גימור הברזל לשימושי המשך

שני מגזרים אלה שונים מאוד במונחים של כמות השימוש במים וייעוד המים בתהליך, בשיעור מחזור המים, המזהמים שנוצרו, כמו גם שיטת הטיפול במים ומידת הצורך בטיפול במים.

בכל אחד מהמגזרים נחקרו הנתונים הבאים:

- גודל שוק

- מדינות ייצור עיקריות ותחזית הצמיחה

- התקנות הממשלתיות במדינות הייצור העיקריות (הרגולציה)

- אופן וכמות השימוש במים בתהליכי הייצור השונים

- המזהמים הנוצרים בתהליכים הנוכחיים ודרכי הטיפול הנוכחיות

אותרו אתגרים טכנולוגיים הנוגעים לטיפול וניהול המים בתהליך, הנובעים מהתקדמות בתהליכי הייצור עצמם ומהשינויים ברגולציה העולמית.

האתגרים העיקריים נובעים מכך שתהליך ייצור הברזל והפלדה צורך כמויות גדולות של מים, ניתן וחיוני להגדיל את אחוזי המחזור והשימוש החוזר במים במפעל. במפעלי גימור וציפוי מתכות, האתגרים העיקריים נובעים מהרכב השפכים המכילים חומרים רעילים בריכוזים גבוהים יחסית, וההחמרה ברגולציות עולמיות בנושא זה.

תוכן העניינים

1	.1 תקציר
4	.2 מבוא לתעשיית המתכת
4	2.1 ייצור ברזל ופלדה
6	2.2 גימור מתכת
8	.3 תקנות בנושא תעשיית המתכת במדינות שונות
8	3.1 רגולציה בסין
9	3.2 רגולציה בארה"ב
10	.4 שיטות טיפול בדגש על מים בתהליך הייצור בתעשיית המתכת
10	4.1 ייצור ברזל ופלדה
16	4.2 גימור מתכת
22	.5 הזדמנות עסקית לחברת מים בתעשיית המתכת

נספחים

26	.1 תקן הזרמה של מזהמי מים לתעשיית הברזל והפלדה
30	.2 תקן להזרמת מזהמים הקשורים לציפוי מתכת
33	.3 תרשים תהליך זרימה של קו טיפול פני השטח ומערכת מים DI בשנגחאי, סין
34	מקורות

רשימת טבלאות

5	טבלה מס' 1: ייצור פלדה גולמית במיליוני טון
5	טבלה מס' 2: ייצור פלדה גולמית במיליוני טון
11	טבלה מס' 3: השוואה בצריכת מים הנדרשת לעבודות פלדה משולבות בין מערכות עם מעבר מים חד פעמי לבין מערכות עם מחזור נרחב
18	טבלה מס' 4: קו טיפול שטח הפנים
26	טבלה מס' 5: גבול הזרמת מזהמי מים לתעשיית הברזל והפלדה
27	טבלה מס' 6: גבול הזרמת מזהמי מים למפעל חדש
28	טבלה מס' 7: גבול הזרמת מזהמים לאזור מים מיוחד והיחס בין יחידת מוצר והזרמת נפח מים
30	טבלה מס' 8: גבול הזרמת מזהמי מים לבתי חרושת קיימים
31	טבלה מס' 9: גבול הזרמת מזהמי מים לבתי חרושת חדשים
32	טבלה מס' 10: גבול הזרמת מים מזהמים לשטחי מים מיוחדים

רשימת איורים

- 12 איור 1: דוגמה לניהול מים של מפעל לעבודות פלדה משולבות עם מעגלים נפרדים
- 12 איור 2: דוגמה לניהול מים של מפעל לעבודות פלדה משולבות באמצעות מערכת מדורגת
- 14 איור 3 : מגוב מכני
- 15 איור 4 : תמונה של DAF
- 16 איור 5 : קו פשוט של טיפול בתהליך ציפוי
- 21 איור 6: תמונות של קו טיפול ב-chromation

1. תקציר

דו"ח זה סוקר את תעשיית המתכת (פלדה בעיקר) עם דגש על מפעלים לייצור וגימור פלדה ועל מפעלים לגימור מתכת.

מטרת דו"ח זה היא לבחון את תפקיד המים בתעשיית המתכת ולנסות לזהות הזדמנויות עסקיות פוטנציאליות לחברות מים ישראליות בטיפול במים, חיסכון במים, שימוש חוזר/מחזור של מים והזרמה מוסדרת של מים לסביבה.

זהו דו"ח שישי במסגרת סקירת שימושי המים בשישה סקטורים תעשייתיים גלובליים בהמשך לדו"ח הראשון שסקר את תעשיית הפקת הנפט והגזⁱ, הדו"ח השני שסקר את תעשיית המכרותⁱⁱ, הדו"ח השלישי שסקר את תעשיית ייצור התרופותⁱⁱⁱ, הדו"ח הרביעי שסקר את תעשיית המזון והמשקאות^{iv} והדו"ח החמישי שסקר את תעשיית המיקרואלקטרוניקה^v. דו"ח זה מהווה חלק מהתשתית של IEICI, Israel NewTech (מכון היצוא הישראלי והמכון לשיתוף פעולה בינלאומי) ותוכנית העבודה של מערך הנספחים הכלכליים של מדינת ישראל לשנים הקרובות.

התפיסה של תעשיית המתכת בדו"ח זה מכסה שני ענפים הקשורים למדי זה לזה:

(1) ייצור ברזל ופלדה

(2) גימור מתכת.

שני מגזרים אלה שונים מאוד במונחים של שימוש במים מבחינת הכמות/הפונקציה, שיעור מחזור המים, המזהמים שנוצרים, וכמו כן שיטת הטיפול ורמת ניהול המים.

כל אחד מהמגזרים נחקר לפי:

- גודל השוק שלו
- מדינות הייצור העיקריות/תחזית צמיחה
- התקנות במדינות הייצור העיקריות
- שימוש במים וכמות המים בתהליכי ייצור שונים
- המזהמים שנוצרים וטכנולוגיית הטיפול הנוכחית

תהליך ייצור ברזל ופלדה הוא תהליך אינטנסיבי מאוד בצריכת המים. חלק מהמפעלים הגדולים דורשים עד כ-1000 מ"ק לדקה של מים שפירים. המזהמים העיקריים בשפכים הם מוצקים מרחפים, חומצות, שומנים בריכוז נמוך יחסית, ובחלק מהמפעלים תרכובות כימיות (כמו פנול) וחומרים אורגניים נוספים הנמדדים ב-COD בשפכים. בשל אופיים של השפכים, מחזור ושימוש חוזר במים במפעל, חיוני מאד וניתן בהחלט להגדיל את אחוז ההשבה והמחזור הכולל של המים. כיום, מפעלי הברזל והפלדה המתקדמים ביותר ממוקמים באירופה ובין, שם מדווחים אחוזי השבה של עד 97% מהמים. מפעלים מסוימים הצליחו לצמצם את השימוש במים שפירים עד לכ-2-3 מ"ק מים לטון פלדה מיוצרת. גם ייצור הפלדה הגדול בסין שופר לאחרונה ואחוזי ההשבה מגיעים לכ- 95%, כאשר צריכת המים עומדת על כ-5 מ"ק מים לטון פלדה מיוצרת.

באופן טבעי, שיעור המחזור הגבוה הופך את קווי הייצור לתלויים מאוד זה בזה ולכן על

המפעל להיות מנוהל ביעילות. כמו כן כמות משמעותית של שפכים מוצאת עדיין את דרכה אל מערכות הביוב בכל שנה, בשל דרישת המים הגבוהה בייצור הפלדה, כלומר, יש צורך בשיפורים נוספים בשיעור המחזור בסקטור.

במפעלי גימור וציפוי מתכות, משתמשים בכמויות מים קטנות יותר, בדרך כלל בטווח של 1-10 מ"ק לשעה, כאשר המפעלים הגדולים עשויים להגיע עד כ- 1000 מ"ק ליום. אולם המזהמים בשפכים מקווי ייצור אלה מרוכזים ורעילים הרבה יותר. השפכים מכילים בדרך כלל מתכות (נחושת, ניקל, אבץ, Cr, קדמיום וכו'), ציאנידים, פלואורידים, שומנים, חומרים פעילי שטח ופסולת של חומצה מאכלת או סודה קאוסטית.

כמות השפכים הכוללת בתת סקטור זה אינה גדולה עבור כל מפעל ומפעל, אבל מספר המפעלים מסוג זה בעולם הינו גדול (לדוגמה בסין, יש יותר מ-15,000 מפעלי גימור וציפוי מתכת שהכנסותיהם עומדות על כ-16 מיליארד דולר לשנה), כך שעדיין מדובר בשוק יעד ענק לטיפול במים.

בפרק האחרון, זיהינו וניתחנו את ההזדמנויות העסקיות הפוטנציאלית לחברות מים בסקטור זה, הנובעות מהצורך להגדלת היעילות של ניהול המים ופעולת המערכות לטיפול נוסף בשני תתי הסקטורים.

להלן ריכוז האתגרים לתעשיית המים הישראלית בתעשיית המתכת כפי שזוהו במהלך הכנת המסמך:
גימור מתכות:

- טכנולוגיות למזעור חשיפה של עובדים לחומרים מסוכנים – נושא המהווה הזדמנות עסקית עבור חברות טכנולוגיה לבקרת זיהום אוויר.
- התקדמות לעבר "אפס הזרמות" (ZLD – zero liquid discharge) של שפכים ושימוש חוזר בתמיסות מהבריכות.
- תכנון התקן עשוי חומר מבנה משופר העמיד באופן כימי כך שהשרף במחליף היונים או הממברנה יהיו בעלי עמידות משופרת לחומרים אורגניים ולחמצון, במטרה להמנע מהיווצרות פילמים.
- פיתוח ושכלול טכנולוגיות שעשויות לשמור את יון המתכת בריחוף בריכוז גבוה יותר (במקום בשיקוע על הממברנה) על ידי הטענת הממברנה במטען חשמלי או בשיטות אחרות ישפרו באופן משמעותי את היכולת של הממברנה להמנע מסתימות וממשקעים.
- פיתוח ושכלול טכנולוגיות בתהליכי אדוי, שהן כדאיות מבחינת השקעה כלכלית ואנרגטית, במטרה להתקדם לכיוון ZLD.

מפעלי פלדה:

- טכנולוגיות להגדלת שיעור המחזור (באופן כדאי מבחינה כלכלית).
- פיתוח ושכלול תהליכי RO במטרה:
 - להגיע לשטף גבוה יותר או לחץ הפעלה נמוך יותר אשר יפחית את עלות האנרגיה.
 - להקטין את אחוז התמלחת.
 - שיפור במערכת CIP (Cleaning in place) לממברנת RO על ידי שיטה מכאנית מהווה אתגר (כיום נבדק השימוש בבועות אוויר, ניקוי באמצעות כדור ספוג) ובכך להאריך את חיי הממברנות שנמצאות כבר בשימוש.
- ייצוב איכות מים במגדלי קירור – פיתוח כימיקלים בעלי רעילות נמוכה המשמשים לייצוב מי הקירור (חומרים נוגדי אבנית, ביוציידים, ונגד קורוזיה).
- בנוסף – פיתוח מסננים לסינון זרם צד בעלי יעילות גבוהה יותר עם קצב סינון הניתן לבקרה (על ידי אמצעי סינון חדשים ומיוחדים או בשיטות אחרות) יחסוך עלויות תפעוליות (בעיקר כימיות) ויגיע לתוצאה אמינה יותר.

כללי:

- בתחום מיצוי המתכות מהשפכים – פיתוח שיטה להפחתת הפרשי חומציות בין שלבי השיקוע תאפשר הפחתת צריכת כימיקלים.
- פיתוח ושכלול טכנולוגיות לאוסמוזה ישרה (FO).

2. מבוא לתעשיית המתכת

2.1 ייצור ברזל ופלדה

פלדה היא אבן הפינה ומניע חשוב בכלכלת העולם. תעשיית הפלדה מעסיקה באופן ישיר מעל למיליון בני אדם ברחבי העולם, ובנוסף שני מיליון קבלנים וארבעה מיליון בני אדם התומכים בתעשיות, כולל ענפים כמו בנייה, תחבורה ואנרגיה.^{vi}

2.1.1 תהליך הייצור הראשי

עבודות פלדה משולבות מורכבות בדרך כלל משלבי הייצור הבאים:

- ייצור פחם אבן
- ייצור ברזל
- ייצור פלדה
- זיקוק ויציקה
- גיבוש וגמר

במפעלי פלדה רבים (הנקראים מפעלי פלדה לא-משולבים) מתבצעים רק חלק משלבי הייצור.

2.1.2 גודל שוק

גודלו של שוק הפלדה העולמי הוערך בכ- 1.3 טריליון דולרים בשנת 2011, כפי שדווח על ידי Visiongain. ייצור הפלדה הגולמי בעולם גדל פי 8 מ-200 מיליון טון בשנת 1950, ל-1,518 מיליון טון בשנת 2011. ברוב השנים נע שיעור הצמיחה השנתי בין 2% ל-6%. הממוצע בעולם של שימוש בפלדה לנפש הגיע ל-215 ק"ג בשנת 2011.

2.1.3 המדינות הגדולות המפיקות פלדה והפצת ייצור הפלדה בעולם

המדינות המובילות בייצור פלדה הן סין (45%), יפן (7.6%), ארה"ב (5.6%) והודו (4.8%). הטבלה שלהלן מציגה את יצרניות הפלדה הגדולות (בשנים 2010 ו-2011), כמו גם את 40 החברות המובילות בעולם בייצור פלדה.

vii יצרניות הפלדה הגדולות בעולם בשנים 2010 ו-2011
טבלה מספר 1: ייצור פלדה גולמית במיליוני טון

2011		2010		מדינה
טונאז'	דרגה	טונאז'	דרגה	
683.9	1	637.4	1	סין
107.6	2	109.6	2	יפן
86.4	3	80.5	3	ארה"ב
71.3	4	68.3	4	הודו
68.9	5	66.9	5	רוסיה
68.5	6	58.9	6	דרום קוריאה
44.3	7	43.8	7	גרמניה
35.3	8	33.4	8	אוקראינה
35.2	9	32.9	9	ברזיל
34.1	10	29.1	10	טורקיה
1517.9		1429.1		העולם

טבלה מספר 2: ייצור פלדה גולמית במיליוני טון

טונאז'	חברה	דרגה	טונאז'	חברה	דרגה
16.1	RIVA Group	21	97.2	Arcelor Mittal	1
15.9	Valin Group	22	44.4	Hebei Group	2
15.3	Severstal	23	43.3	Baosteel Group	3
14.4	Metivest	24	39.1	POSCO	4
14.0	China Steel Corporation	25	37.7	Wuhan Group	5
13.5	SAIL	26	33.4	Nippon Steel	6
12.7	Sumitomo Metal	27	31.9	Shagang Group	7
12.6	IMIDRO	28	30.0	Shougang Group	8
12.4	Jianlong Group	29	29.9	JFE	9
12.2	MMK	30	29.8	Ansteel Group	10
12.1	NLMK	31	24.0	Shandong Group	11
11.2	Rizhao	32	23.8	Tata Steel	12
10.2	Baotou	33	22.0	United States Steel	13
10.2	Jiuquan	34	20.5	Gerdau	14
9.9	Taiyuan	35	19.9	Nucor	15
9.5	Techint Group	36	17.9	ThyssenKrupp	16

9.4	Anyang	37	16.8	Evraz	17
9.1	Pingxiang	38	16.7	Maanshan	18
9.0	Jinxi	39	16.5	Benxi	19
8.9	ISD	40	16.3	Hyundai Steel	20

מהטבלה שלעיל ניתן לראות שסין היא ללא ספק יצרנית הפלדה הגדולה ביותר בעולם, ולאחריה יפן, ארה"ב, הודו וכו'. במקום השני נמצאת יפן עם 1/6 בלבד מהכמות המיוצרת בסין. טבלה מספר 2 מציגה את 40 החברות הגדולות ביותר המייצרות פלדה ברחבי העולם בשנת 2011^{viii}, מתוכן 15 חברות סיניות.

2.1.4 תחזית של התפתחות תעשיית פלדה

התחזית עבור תעשיית הפלדה והברזל קשורה באופן הדוק לצמיחה הכלכלית העולמית. ארה"ב, הכלכלה מספר 1 בעולם, מתחילה את את להתאושש; סין, מעוז ייצור הפלדה מספר 1 בעולם, נמצאת כרגע במסלול של "תקופת הסתגלות כלכלית" (כלומר, האטה בצמיחת התמ"ג מב-10 השנים האחרונות, אבל עדיין סביב צמיחה שנתית של 6%-8%), כך שתעשיית הפלדה צפויה לשמור על יציבות בשנים הבאות.

2.2 גימור מתכת

2.2.1 התהליך העיקרי בגימור מתכת

בהשוואה לייצור פלדה וברזל שם תהליך הייצור הוא אחיד, גימור מתכת מכיל מגוון גדול של תהליכים שונים שנותנים לפני השטח של המוצרים המיוצרים איכויות פיזיות וכימיות שונות, כמו גם מראה שונה, בהתאם לנדרש. כמעט כל מוצר המכיל מתכת או חלקי מתכת נזקק למספר סוגים של גימור מתכת על מנת להפוך לשימושי ולספק שירות. הטווח מכסה כמעט כל המוצרים התעשייתיים או המשמשים למגורים.

תהליכי גימור המתכת היוצרים את בעיות זיהום המים הקשות ביותר כוללים:

- ציפוי מתכת באמצעות אלקטרוליזה
- ציפוי מתכת ללא אלקטרוליזה
- ציפוי מתכת ב - Cr
- ציפוי מתכת בזרחן
- הברקה בעזרת אלקטרוליזה
- ציפוי נוזלי

תהליכי גימור מתכת אחרים כמו ציפוי באבקה, שיקוע אדים פיזי, שיקוע אדים כימי, שיקוע אדים יוני, תחריט או פסיבציה, כרוכים בהרבה פחות זיהום או בעיות זיהום אוויר ולא מים.

קבוצת התהליכים שהוצגה לעיל מאופיינת בבעיה של זיהום מים. למרות שכל אחד מהתהליכים עוסק בכימיקלים או במתכות שונים, שלבי הטיפול הכלליים דומים מאוד. לכן, בדו"ח זה, תהליך הציפוי – שמהווה טכנולוגיה מסורתית ונפוצה נבחר כתהליך המייצג ביותר המובא להלן.

2.2.2. מאפייני תעשיית גימור המתכת

בהשוואה עם תעשיית הפלדה והברזל, תעשיית גימור המתכת נוטה להיות קטנה – מורכבת בעיקר מחברות קטנות בגלל אופי התהליך.

טבעו של מגזר עסקי זה הוא שדרישות "הלקוח" קובעות את תהליך/ציוד גימור המתכת, ולכן המגזר מפוצל מאוד. שירותי מיקור חוץ מיצרני מוצרי פלדה ומתכת במורד הזרם מניעים את הביקוש. לכל לקוח במורד הזרם עשויים להיות מפרטי מוצר שונים ודרישות שירות, מה שמקשה על חברה אחת לספק ייצור סדרתי לכל הלקוחות. כתוצאה מכך, רוב המפעילים הם חברות מקומיות קטנות יחסית, המתמקדות במתן שירות מסוג אחד או שניים בלבד. לדוגמה, חלק מהחברות מתמחות בגליון, בעוד שאחרות מתמחות בציפוי בעזרת אלקטרוליזה.^{ix} עם זאת, רוב החברות משתמשות בתהליך ייצור דומה אשר מוביל לבעיות משותפות בתחום מים והשפכים שהוזכרו קודם לכן.

פרט לבתי המלאכה הקטנים שהוזכרו לעיל, ישנם גם עסקים גדולים אשר מבצעים טיפול במשטחי מתכת בתוך מתקני ייצור גדולים כחלק ממערך הייצור המשולב (נקראים "תפעול פנימי"). למרות שחלק זה אינו עצמאי כמו במגזר העסקי, מחלקות אלה עדיין זקוקות לשירות בנושאים סביבתיים, ובכלל זה טיפול במים ושפכים, בדיוק כמו בתי המלאכה הקטנים. התיאור של דו"ח זה מכסה את שני החלקים. והתפעול הפנימי מהווה נפח עסקי גדול אף יותר מאשר העסקים הקטנים.

למרות שהטיפול במשטחי מתכת אינו התעשייה הגדולה ביותר מבחינת שווי, היא משכה תמיד תשומת לב רבה יותר מצד הרגולטורים הסביבתיים ברחבי העולם, מכיוון שתהליך הייצור כרוך לעתים קרובות במתכות כבדות או רעילות, כמו נחושת, אבץ, ניקל, כרום, קדמיום, ציאניד וכו' יחד עם מזהמים אחרים כמו ממסים, שמן וגריז, וכו'.

2.2.3 פיזור וגודל שוק

באופן כללי, הפיזור של תעשיית הציפוי והטיפול במתכת דומה לפיזור של הענפים שאותה היא משרתת. בין הענפים העיקריים אשר דורשים שירות של גימור מתכת נמנים חלקי רכב, מכשירים אלקטרוניים, מוליכים למחצה, תעשיית החלל, חומרה, וכו'. שינוי משמעותי בתעשיית הטיפול במשטחי מתכת ב-5-8 השנים האחרונות מחזק את המגמה של עסקים אלה לצאת אל מחוץ למדינות מפותחות כמו ארה"ב ואירופה ולעבור לאזורים של כלכלה מתפתחת כמו סין ומדינות אחרות באסיה שבהן העלויות נמוכות יותר. כתוצאה מכך, מגזר הציפוי וגימור המתכות בארה"ב ספג פגיעה רצינית. ההכנסות בארה"ב בשנת 2009 היו סביב 6.2 מיליארד דולרים.^x בערך 3,000 עסקים במגזר גימור המתכת מתמודדים עם לחצים כלכליים מכיוון שהביקוש לשירותי התעשייה ירד עקב המיתון הכלכלי ותקנות איכות סביבה מחמירות שאינן ידידותיות כלפי תהליך הציפוי באמצעות אלקטרוליזה. מאידך, סין הגיעה ל-16 מיליארד דולרים הכנסות בשנת 2010.

סקר כלכלי שנערך בשנת 2011 על ידי IBISWorld (ibisworld.com) העלה תמונה ורודה יותר ביחס לעתיד התעשייה, בהשוואה ל-5 השנים האחרונות. תעשיית הצבע והציפוי הגלובלית (מתייחס בעיקר למשטחי מתכת) הגיעה בשנת 2010 ל-99.5 מיליארד דולרים והיא צפויה לעלות בשיעור צמיחה שנתי מורכב של 3.2% עד 2015 לסך של 165.4 מיליארד דולרים עד לנקודת האמצע של העשור.

3. תקנות בנושא תעשיית המתכת במדינות שונות

מכיוון שתעשיית גימור הברזל והפלדה הינה תעשייה מסורתית בעלת היסטוריה ארוכה, התקנות במדינות שונות ברחבי העולם ממוסדות היטב. המזהמים הנוצרים על ידי תעשייה זו מנוטרים ונמצאים תחת פיקוח הדוק על ידי ממשלות.

בדו"ח זה מוצגות כדוגמה תקנות ארציות אשר חלות על ענף זה בסין ובארה"ב. שתי המדינות הנ"ל, נבחרו מהסיבות הבאות:

1) לסין, יצרנית הברזל והפלדה מספר 1 בעולם, יש גם מספר עצום של מפעלים לגימור מתכת (בגלל ריכוז פעילות הייצור בכל מגזרי התעשייה הרבים), ולכן תקן הזרמת השפכים הלאומי של סין הוא מידע חשוב מאוד מנקודת המבט של פיתוח עסקי של תעשיית המים.

2) הרגולציה של ארה"ב מייצגת את רמת החקיקה, הבקרה והניטור בסוגיות סביבתיות במדינות המפותחות.

3.1 רגולציה בסין

התקנות הסיניות להזרמת שפכים תעשייתיים מפורסמות על ידי המשרד להגנת הסביבה של הרפובליקה העממית הסינית (EPB) ברמת הממשל המרכזי.

נספחים 1 ו-2 מציגים את התקנים הארציים לפליטת שפכים בתעשיית הברזל והפלדה ובתעשיית גימור המתכת בסין. לכל אחד מהם יש שלוש מערכות של מגבלות המכסות את ההנחיות ל:

- 1) מפעלים קיימים;
- 2) מפעלים חדשים שנבנים
- 3) מפעלים המוקמים או קיימים באזורים מיוחדים.

מפעלים חדשים שנבנו חייבים לציית למגבלות חמורות יותר מאשר אלה הקיימים. למפעלים הקיימים ניתנה תקופת חסד (שנה וחצי או שנתיים) על מנת לעדכן את מתקני הטיפול בשפכים שלהם. "האזור המיוחד" מתייחס לאזור מסוים שבו הסביבה כבר מזוהמת בכבדות או שהמערכת האקולוגית שלו רעועה מאוד. במקרה זה, חל התקן המחמיר ביותר (ראה טבלה 3 בנספח 1 ו-2).

בתעשיית ייצור הפלדה והברזל ותעשיית גימור המתכת, אימצו רוב הממשלות המקומיות את הסטנדרטים הארציים לפליטה כמגבלות המקומיות שלהם, כך שניתן לקבל את אותם תקנים ארציים כמגבלות המיושמות בכל רחבי סין. הניטור והאכיפה של העמידה בהזרמת שפכים מתבצעים ברמת המשרד המקומי להגנת הסביבה.

מכיוון שהמערכות העירוניות לטיפול בביוב, פותחו מאוחר יחסית בסין (מסוף שנות התשעים), נהגו מפעלים רבים בסין להזרים ישירות את המים לתוך גוף מים טבעי, דבר שגרם לכך שמגבלת ההזרמה בסין הייתה (ועודנה) קפדנית יותר אפילו בהשוואה עם מדינות מפותחות.

הממשלה הסינית הציבה מטרה לכל ענפי התעשייה "לחסוך אנרגיה ולצמצם את פליטת הפסולת", ולכן הרגולציה בסין לא רק הציבה מגבלה על ריכוז המזהמים, אלא גם קבעה את כמות הזרמת השפכים בהתבסס על יחידת המוצר המיוצרת, הן בתעשיית יצור הברזל והפלדה והן בענף גימור המתכת. עובדה זו מטילה לחץ על כל המפעלים לבחור בטכנולוגית ייצור נקייה או למחזר על מנת להשיג את צריכת המים המסוימת הנדרשת לאורך כל תהליך הייצור.

צופים כי רגולציה סביבתית מחמירה כזו תהפוך למחמירה יותר ככל שסין תמשיך להתפתח. ולכן, כאחד השווקים הגדולים ביותר בעולם, היא תישאר המוקד של חברות מים רבות ברחבי העולם.

3.2 רגולציה בארה"ב

רוב החוקים הסביבתיים הבסיסיים החלים על תעשיית הברזל והפלדה ותעשיית גימור המתכת הותקנו בין שנות השבעים לשנות השמונים של המאה הקודמת. במהלך עשור הזה הוקמה הסוכנות להגנת הסביבה (EPA) וחוקים מרכזיים נכתבו כדי להסדיר את:

- פליטת האוויר (חוק האוויר הנקי 1970)
- פליטת המים (חוק מים הנקיים, 1977)
- סילוק פסולת מוצקה ומסוכנת (חוק שימור והשבת משאבים, 1980)

החוק הפדרלי בנושא מים נקיים אוסר על תעשיות להזרים את שפכי הייצור שלהם לתוך גופי מים המאפשרים העברה ללא טיפול. חוק זה קובע כי כל הזרמה של שפכים תעשייתיים חייבת לקבל היתר מאת המערכת הארצית לסילוק מזהמים (NPDES). היתר של NPDES מפרט את התנאים והמגבלות כאשר ההזרמה מותרת. ברמת הביצוע, הממשלה הפדרלית תאציל את הסמכות לניהול תכנית NPDES לממשלת המדינה. לכן, כאשר מאשרים היתר NPDES, המדינה צריכה למלא הן אחר החוק הפדרלי והן אחר חוקי המדינה וחוקים ותקנות קשורים אחרים.

הדרישות הפדרליות הישימות מפורטות בקוד התקנות הפדרליות (CFR), 40 (עיין www.ecfr.com). הכלל החל על סעיף ברזל ופלדה הוא CFR 40 חלק 420 ועבור תעשיית גימור המתכת מדובר בקטע CFR 40 חלק 413 ו-403. כללים אלה מגדירים את תהליכי הייצור, המהווים את הענף היחסי, מזהים את הפרמטרים המדאיגים הקשורים להזרמות כאלה, וקובעים גבולות, תוך ייצוג הטכנולוגיה הזמינה והניתנת להשגה באופן הטוב ביותר מבחינה כלכלית (B.A.T) – ליישום ביחס לכל פרמטר. בנוסף, הכללים מאפשרים למדינה לטפל בפרמטרים נוספים במידת הצורך.

מהשוואה, מאותה סיבה שהוזכרה לעיל, מגבלות ההזרמה שנקבעו למרבית המזהמים בתקן הפדרלי בארה"ב נמוכים מעט מאשר בסין. אין מגבלה על נפח הזרמת השפכים בהתבסס על יחידת המוצר, מה שאומר שאין שיעור למחזור מים מינימאלי כללי שאותו יש להשיג.

4. שיטות טיפול בדגש על מים בתהליך הייצור בתעשיית המתכת

4.1 ייצור ברזל ופלדה

4.1.1 שימוש במים וצריכתם בשלבי הייצור השונים

בעבודות פלדה משולבות, המים ממלאים תפקיד חיוני. הם משמשים בשלבים רבים של התהליך, כגון:^{xi}

- קירור עקיף של תנורים ראשוניים ולחימום חוזר, הסרת אבנית בלחץ גבוה של מוצרי פח פלדה מעורגל בחום
- ריסוס ישיר על מכבשים ומיסבים
- קירור של מוצרים מעורגלים קרים
- קרצוף רטוב של תנור ללא גזים
- קירור עקיף של רומח חמצן בתנור החמצן הבסיסי ושל תל הנחושת במכונות היציקה הרציפות
- חלק מהמים משמשים לבקרת אבק בהזנות ב-sinter, הבלעה והרוויה של עפרות ברזל ואבק פחם וסיגים בתנור ההיתוך וכממס לכבישה בחומצה
- שטיפה בפעולת ערגול פחם
- מי האיזון מנוצלים לקרצוף קירור והרטבה של גזי תנור חמים
- כמות קטנה של מים ראויים לשתייה משמשת גם לשתייה ותברואה

מערכות מים מסוגים שונים נמצאות בפעולה: מעגלים סגורים, מעגלים חצי סגורים או פתוחים. יש רק מעט לולאות סגורות לחלוטין. מעגלים סגורים יכולים לשמש, למשל, למעגלי קירור המופעלים במים מזוקקים או מרוככים במתקנים ספציפיים, כלומר, לתבניות יציקה רציפות או בדודים בתחנות כוח, אשר בדרך כלל מקוררות באמצעות מחליף חום מים/מים. כאן, המעגל השני של מים משמש כמעגל סגור למחצה עם מגדל קירור.^{xii}

להלן שלוש דוגמאות שבהן נעשה שימוש במערכות חצי סגורות:

- (1) במגדלי קירור להורדת טמפרטורת המים. יש צורך לשחרר לחץ ע"י, הזרמה מבוקרת קטנה החוצה במטרה להגביל את ריכוז המלח במים למניעת יצירת קורוזיה ומאחר יותר גם דליפות אפשריות נוספות.
- (2) למחזור של שפכים לאחר טיפול לשימושים נוספים שאינם דורשים מים באיכות גבוהה כל כך כמו לשימוש הראשון. מכיוון שחלק מהחומרים הבלתי רצויים עלולים להצטבר, יש לשחרר כמות קטנה של מים לשם הובלה למתקן הטיפול בשפכים לפני ההזרמה הסופית. כמות זו יש להשלים עם מים שפירים.
- (3) למי תהליך שיכולים להיות מובלים במעגל סגור. מכיוון שחלק מהחומרים הבלתי רצויים עלולים להצטבר, יש לשחרר כמות קטנה של מים לשם הובלה למתקן הטיפול בשפכים לפני ההזרמה הסופית. כמות זו יש להשלים עם מים שפירים.

ניהול משק המים בעבודות פלדה משולבות תלוי בעיקר בתנאים המקומיים, ומעל לכל בזמינות ובאיכות של המים השפירים ובדרישות החוק.

לעבודות פלדה משולבות עם זמינות כמעט בלתי מוגבלת של מים שפירים, מעבר חד פעמי של מים במערכות הקירור ידרוש כניסת מים של יותר מ 200-100 מ"ק/טון של פלדה. זה

תקף לגבי מפעלים הנמצאים קרוב לגופים גדולים של מים (נחלים גדולים). וכמובן, עם המחסור ההולך וגדל של אספקת מים בעולם כולו, מערכות מסוג זה הופכות לנדירות מאוד.

גורם מניע לשיפור מתמיד של הצריכה וההוצאה של מים הם העלויות. העלויות לטיפול בשפכים ועלויות שחרור מים בהתבסס על מיסים המוטלים על הזרמת מים לתוך המערכת העירונית יכולות להיות ניכרות. גורם שקשור לעלויות נוספות הוא שהמים שנלקחו מהגופים הנ"ל, בהתאם לאיכות המים ליישומים השונים, צריכים לעבור שלב של מיצוב לפני שניתן יהיה להשתמש בהם. יתר על כן, השאיבה של זרימות של מים כבדים כאלה דורשת הרבה אנרגיה חשמלית.

מהסיבות המוזכרות לעיל, צריכת המים צומצמה יותר ויותר מאז שנות השמונים.

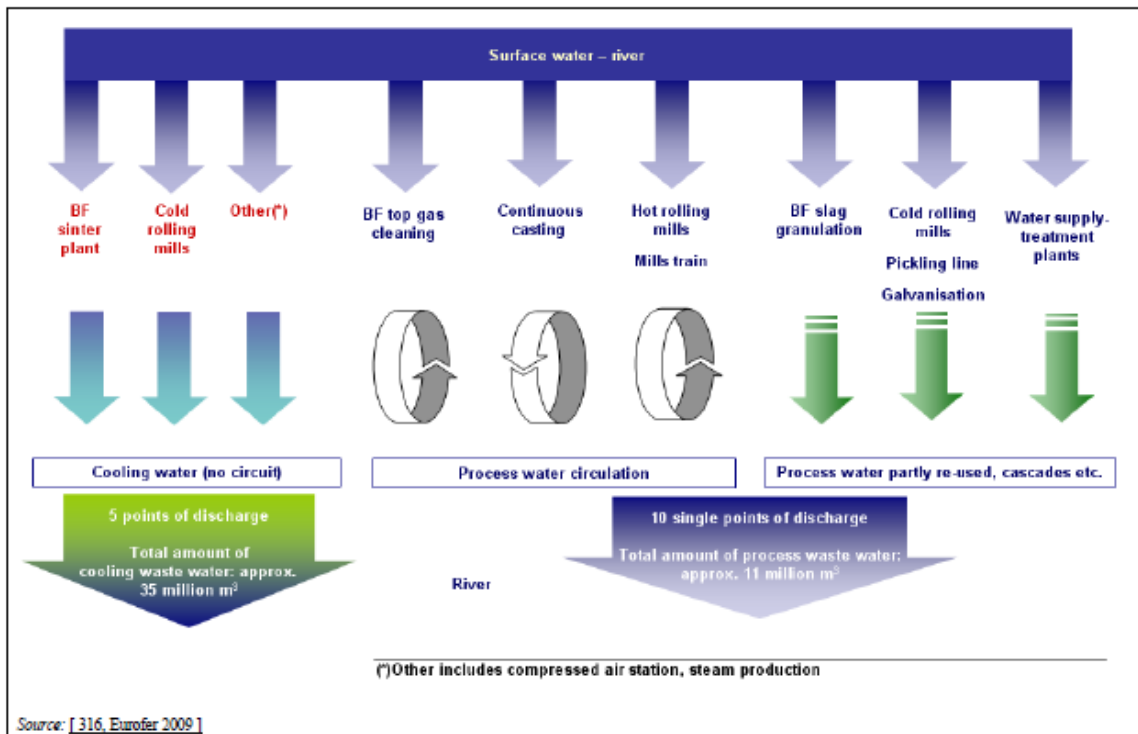
באופן מיוחד, באתרים בעלי זמינות נמוכה מאוד של מים מתוקים, בהם הביקוש למים צריך להיות מכוסה על ידי מי תהום או מי מעיינות, ייתכן ויהיה צורך לצמצם את צריכת המים במידה רבה. במקרים כאלה, צריכת המים הספציפית יכולה להיות נמוכה יותר מ-5 מ"ק/טון של פלדה והתלות ההדדית בין צרכי המפעל והיכולת למצוא פתרונות מחזור אפקטיביים תהיה אינטנסיבית הרבה יותר.

הטבלה שלהלן מדגימה השוואה בין דרישות צריכת מים של מעבר מים חד-פעמי במערכת ומערכת הכוללת מחזור נרחב במפעל טיפוס של עבודות פלדה משולבות. המחזור הנרחב במערכות קירור עקיפות וישירות מוריד את צריכת המים הכוללת עד כדי 2.4% מכמות הדרישה של מעבר מים חד-פעמי במערכת.

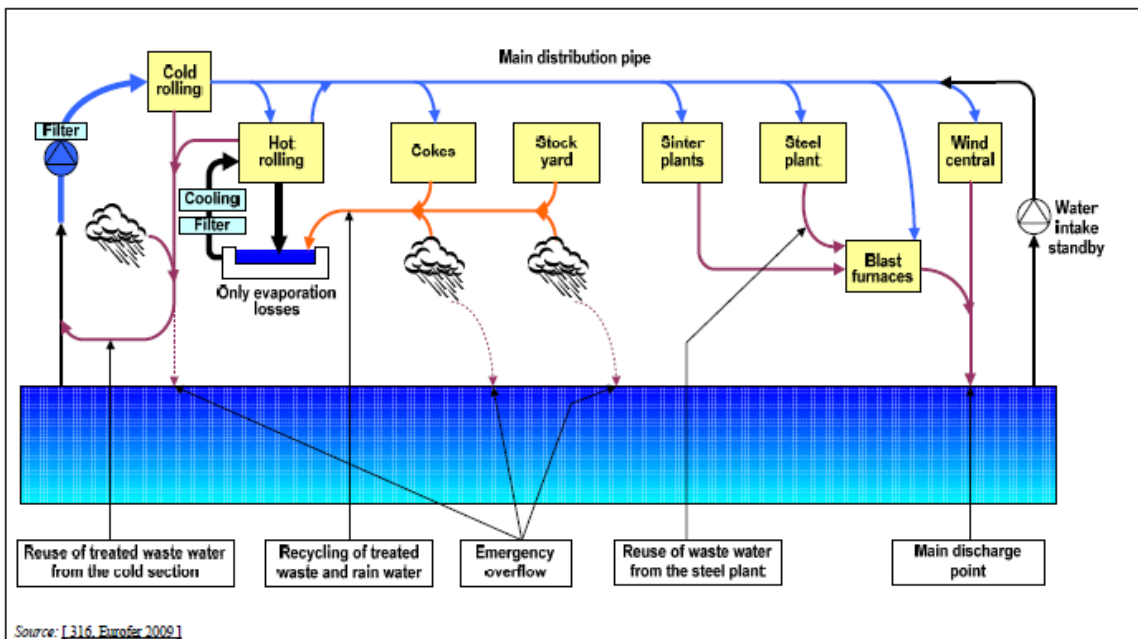
טבלה מספר 3: השוואה בצריכת מים הנדרשת לעבודות פלדה משולבות בין מערכות עם מעבר מים חד פעמי לבין מערכות עם מחזור נרחב

שימוש מים	איכות	צריכת מים			
		מעבר מים חד פעמי			
		מחזור נרחב	מחזור נרחב		
		(מ"ק/דקה) % מהסה"כ	(מ"ק/דקה) % מהסה"כ		
קירור עקיף	כללי	7.4	70.7	32	675
קירור ישיר	כללי	6.2	27.8	26.8	265
מי תהליך	דרגה נמוכה	5.1	0.8	22.1	7.7
מים שפירים	דרגה גבוהה	1.5	0.2	6.5	1.5
תהליך אידי		2.9	0.5	12.6	4.8
סה"כ		23.1	100	100	954

שני האיורים הבאים מציגים דוגמאות נוספות של שתי שיטות גלובליות שונות משני מפעלים לעבודות פלדה משולבות עם מעגלים נפרדים בשל התכנון המקומי של המפעל (ראה איור-1) ועם מערכת מפל זרימה נגדית עם שלבי ייצור פלדה (מערגול קר לכבשן היתוך) (ראה איור-2).



איור 1- דוגמה לניהול מים של מפעל לעבודות פלדה משולבות עם מעגלים נפרדים



איור 2- דוגמה לניהול מים של מפעל לעבודות פלדה משולבות באמצעות מערכת מדורגת

במפעל המתואר באיור 1, למשל, הכמות הכוללת של מים בשנת 2005 הייתה כמעט 1.2 מיליארד מ"ק/שנה. שיעור המחזור במקרה זה היה 97.2%, ורק 2.8% נדרשו כתוספת להשלמה עם מים שפירים. ההזרמה כשפכים הייתה רק 1.2% והיתר היו בהפסדים של כ-1.6%.

כתוצאה מכך, צריכת המים הייתה רק 3.16 מ"ק/טון פלדה גולמית.

לסין, יצרנית הברזל והפלדה הגדולה בעולם יש שיעור מחזור כולל הקרוב ל-95%, מעט נמוך יותר מאשר חברות הפלדה המובילות ביפן או באירופה, אולם גבוה למדי במחזור מים. למפעלי פלדה מסוימים בהודו יש כיום שיעור מחזור של 50-60% בלבד, אשר משאיר מקום רב לשיפור.^{xiii}

4.1.2 המזהמים העיקריים ושיטות הטיפול בהם

4.1.2.1 מזהמים עיקריים

מלבד שיפור רציף בשיעור הכולל של מחזור המים, לעבודות פלדה ברחבי העולם אין קושי רב לעמוד בתקן ההזרמה, כי השפכים שנוצרו במפעלי פלדה אינם קשים מאוד לטיפול מטבעם (למעט שפכים ספציפיים שנוצרו בתהליך תנור אבן פחם בלבד). סוג מי שפכים עשוי להשתנות בהתאם לתהליך של המוצר ותוצר הלוואי המיוצר במפעל הפלדה. להלן מספר סוגים טיפוסיים של שפכים שנוצרו בשלבי ייצור טיפוסיים:

1) מפעל תנור אבן פחם

Coal coking הוא השלב הראשון בייצור פלדה. השפכים של תנור אבן פחם מכילים בדרך כלל רמה גבוהה של אמוניה (עד 350 מ"ג/ליטר), פנול (עד 10,000 מ"ג/ליטר בשלבים מסוימים), ציאנידים (עד 750 מ"ג/ליטר), שמן (עד 500 מ"ג/ליטר) ומוצקים מרחפים. אלה השפכים המורכבים והקשים ביותר הנוצרים על ידי תעשיית הפלדה. בדרך כלל, תהליך כימי קלאסי כמו stripping וזיקוק משמשים למחזור/הסרה של רוב האמוניה והפנול, המלווה לאחר מכן בשיטות נוספות של טיפול מוקדם כמו הסרת שמן לפני שהשפכים נשלחים לטיפול ביולוגי נוסף כדי להסיר את המזהמים שנותר בשפכים.

2) יציקת גלם^{xiv}

בעת יציקת גלם ברזל מרוססת תמיסת סיד כבדה על התבניות של מכונת יציקת הגלם כדי למנוע הידבקות של ברזל גלם לתבניות ועל מנת להבטיח את שחרורו לאחר שהמתכת התמצקה והתבניות התהפכו. מים מרוססים על התבניות והגלמים לשם קירור. מי קירור אלה מכילים חלקיקים מוצקים (אבנית וחול במהירות שיקוע גבוהה). השפכים ממכונת היציקה מובלים לאחר מכן אל בורות השיקוע להסרת מוצקים וקולחים עם pH גבוה (בסביבות 10) וממוחזרים לאחר נטרול החומציות.

3) ייצור הפלדה

בתהליך תנור הקשת החשמלית, הגזים שנאספו מתועלים למסנן אבק או למקרצף רטוב. מים משמשים לקירור התנור ורכיבים מסוימים של הציוד החשמלי. מים אלה עוזבים את התנור בטמפרטורה גבוהה יותר. מוצקים מרחפים במים הם בטווח של 1000-5000 מ"ג/ליטר. כאשר משתמשים במקרצפים רטובים, מי תהליך מוזרמים למעבים שבהם המוצקים המרחפים שוקעים והמים הנקיים ממוחזרים.

בתהליך יציקה רציף, השפכים המיוצרים באזור ריסוס הסינר וקירור המכונה מזוהמים בדרך כלל באבנית מהטחנה ודליפות נפט מהמכונות. שפכים אלה צריכים להיות מטופלים להסרת אבנית ושמן.

בביצוע ערגול חם וקר, הקולחים מטחנת הערגול הראשית אשר מכילים אבנית, פסולת ושמן זולגים אל תוך התעלות המלאכותיות מתחת למעמדים. חלק מהשמן נדבק גם לאבנית. אחרת, הוא אינו מתחלב, כלומר אינו הופך לאמולסיה.

השפכים מטחנות משניות דומים מאוד לאלה של הטחנות הראשיות אשר מכילים בעיקר אבנית מפעולות הערגול ומעט שמן כדליפה מהמכונות.

שפכים מפעולות הכבישה מכילים תמיסה spent חזקה, מי שטיפה ומים המשמשים למקרצפי עשן. נתקלים במים המשמשים בדרך כלל למסנני עשן כאשר משתמשים בחומצה שאינה גופרתית או זרחתית כאמצעי היגיינה בניקוי תעשייתי.

4.1.2.2 השיטות שבהן משתמשים בטיפול בשפכים

טחנות פלדה (במיוחד מפעלי פלדה משולבים) משתמשות במגוון רחב של טכנולוגיות מסורתיות לטיפול בשפכים.

להלן דוגמאות של תהליכי טיפול נפוצים להוצאה של מזהמים שונה במפעלי פלדה:

1) הוצאה של מוצקים מרחפים (אבנית) מגוב (מסנן גס)

משתמשים במסנן גס להוצאת מוצקים מרחפים בשפכים אשר גדולים יותר מגודל המרווחים של המסנן הגס. הסינון יכול להיות באופן אוטומטי או באופן ידני. החומר של המסנן הגס הוא בדרך כלל פלדת אל חלד לשימוש עמיד ונוגד שחיקה.



איור 3 : מגוב מכני

2) להוצאת שמן

- מפריד שמן/מקפת שמן (Oil skimmer/oil separator)

בשיטה זו ניתן להוציא שמן חופשי בלבד. לאמולסיות, יש להוסיף שלב דה-מולטיפייר על מנת לשבור את השמן החוצה ממצב האמולסיה ולהוציאו על ידי מפרידי שמן.

- ציפת אוויר מומס (DAF)

DAF היא שיטה נפוצה מאוד להפרדת מים ממוצק או מים משמן. התהליך מכניס בועת אוויר מבוקרת לתוך המיכל. בועת האוויר תיספח אז אל המוצקים או אל השמן החופשי ותהפוך לפתיתים אשר צפים אל פני השטח של המים. קרום פסולת זה על פני השטח יופרד על ידי מגרדת מעל פני השטח העליון, ובכך יופרד מהמים.



איור 4 : תמונה של DAF

- אגן צילול (Clarifier/clarifloculators)

אגן צילול נמצא גם הוא בשימוש נרחב להוצאת מוצקים. הוא מפריד את הבוצה ששקעה בתחתית המיכל, וכמו כן מפריד את החומר הצף מעל פני המים. יש סוגים רבים של אגני צילול, הנפוצים ביותר בשימוש הם: הזנה מרכזית מעגלית וזרימה היקפית מעגלית.

3) טיפול שלישוני – הוצאת COD

לאחר הטיפול הפיזי להסרת שמן ומוצקים מרחפים, יש עדיין מזהמים מומסים שנותרו בשפכים של מפעל הפלדה. להוצאת COD (אלה הניתנים לפרוק ע"י צריכת חמצן), הטיפולים הנפוצים ביותר בהם משתמשים בתעשיית הפלדה הם עדיין הטיפולים הביולוגיים, כולל

- בוצה משופעלת

- SBR

- בריכת חמצון

- ראקטור ביולוגי ממברנלי (MBR) וכו'.

במקרים של שפכים מיוחדים, כמו ממפעלי פחם אבן אשר מכילים חנקן אמוניה בשיעור גבוה, יש לתכנן טיפול ביולוגי במיוחד לדה-ניטריפיקציה. לכן ייעשה שימוש בתהליך כמו O/A (אנוקסי מלווה באירובי) או O/A/A (אנארובי - אנוקסי - אירובי).

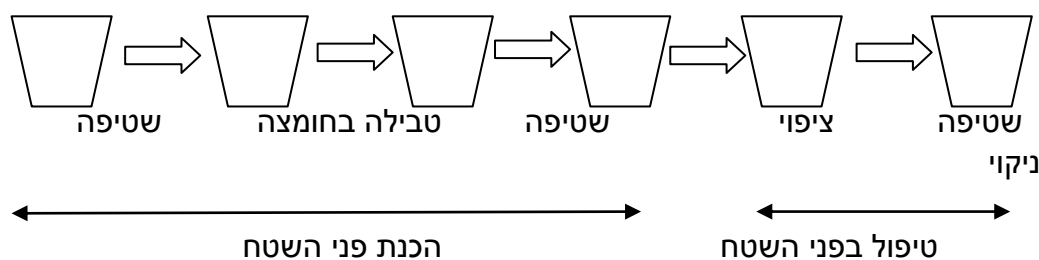
במקרה אחר שבו יש לעמוד בתקן COD מחמיר מאוד להזרמת שפכים, יש צורך בחמצון כימי חזק או בספיחה פיזית כמו סינון + פחם פעיל.

4.2 גימור מתכת

4.2.1 שימוש במים וצריכתם בשלבי ייצור שונים

כפי שהוזכר קודם לכן, גימור מתכת עוסק בקבוצה מגוונת מאוד של טכנולוגיות ותהליכים תעשייתיים. כמו כן, מגוון רחב של שילובי מצע/גימור אפשריים ומפרטי גימור מוסיפים למורכבותו של התהליך. כתוצאה מכך, פיתוח של תהליך "סטנדרטי" לטיפול בשטח הפנים של מתכת הינו קשה גם בתוך קטגוריה מסוימת של גימור.^{xv}

מכיוון שציפוי מתכת הוא התהליך הנפוץ הראשון בטיפול בשטח הפנים של מתכת, תפקיד המים בקו הציפוי נבדק כאן כדוגמה. ציפוי הוא שיטה גמישה ויעילה ביותר להענקת תכונות רצויות רבות לסובסטרטים של מתכת. למרבה הצער, הוא גם מייצר מגוון רחב של מזהמים כגון מתכות כבדות, חומצה, שפכים בסיסיים וחומרים אורגניים. תהליך ציפוי טיפוסי ופשוט מוצג להלן:



איור 5 : קו פשוט של טיפול בתהליך ציפוי

בקו הציפוי, החלקים מצופים תוך שימוש בסוגים שונים של ציוד. בציפוי חבית, חלקים קטנים יותר מוכנסים לתוך מיכל מחורר אשר מסתובב במהלך התהליך. ציפוי חבית טוב בציפוי כמות גדולה של חלקים קטנים. בציפוי מתלה, החלקים תלויים על ווים או מהודקים למתלים ונשלחים דרך קו הציפוי. ציפוי מתלה משמש לחלקים גדולים יותר, לחלקים עם גיאומטריות מורכבות יותר או כאלה שבהם חומר לא מצופה מגולל מסליל ההזנה, מצופה, ואז נגלל מחדש.

לטיפול טיפוסי של פני השטח יש שני חלקים עיקריים: הכנת פני השטח וטיפול בפני השטח. (1) **הכנת פני השטח** - כל חלק שאמור להיות מצופה חייב לעבור הכנה מוקדמת להסרת גריז, לכלוך, תחמוצות וחומרים אחרים שמפריעים ליישום של טיפול פני השטח. השלב כרוך בהכנסת החלק למערכת הניקוי - בדרך כלל על בסיס מימי. לאחר שלב ניקוי החלק עובר לשטיפה באמבטית מים כדי להסיר את חומרי הניקוי שנותרו עליו. החלק ממשיך אז לטבילה בחומצה אשר מוסיפה להכנתו לציפוי על ידי הסרת תחמוצות כלשהן אשר ייתכן ונוצרו על החלק. השלב האחרון בשלב הכנת פני השטח הוא עוד שלב של שטיפה להסרת כל שאריות החומצה.

(2) **טיפול בפני השטח** - שלב גימור פני השטח הוא שינוי בפועל של שטח הפנים של החלק. תרשים הזרימה המוצג לעיל הוא דיאגרמה פשוטה מאוד - תהליך גימור פני השטח

בפועל כרוך בסדרה של אמבטיות שיקוע ושיטפות להשגת הגימור הסופי הרצוי. בדרך כלל רואים תהליך תלת שלבי של ציפוי נחושת, ניקל, Cr או כרום-נחושת-ניקל. לאחר כל ציפוי, יהיה שלב של שטיפה להסרת תמיסת התהליך העודפת.

4.2.2 מזהמים עיקריים ושיטות הטיפול בהם

את המקורות העיקריים של שפכים בפעולות הציפוי ניתן לחלק לשתי קטגוריות – גרירה החוצה וטבילות אמבט. שני המקורות קשורים ביניהם – שיעורים גבוהים של גרירה החוצה עשויים להביא לכמות גדולה של מי שטיפה מזוהמים ולזיהום מהיר יותר של אמבטיות תהליך מאוחרות יותר. שיקולים של גרירה החוצה וטבילות אמבט נמצאים בכל שלב של תהליך הציפוי.

4.2.2.1 המאפיינים של שטיפת גרירה החוצה ושימוש באמבטיה

גרירה החוצה היא הכמות של נוזל אמבט אשר נישאת על החלק כשהוא נע משלב עיבוד אחד למשנהו. תמיסת התהליך המובאת לתוך שלבי השטיפה יוצרת מקור של שפכים שהם בדרך כלל בעלי נפח גבוה אולם דלים בריכוז. הם יכולו את סוגי המתכות הקיימות באמבטיות טיפול פני השטח (נחושת, אבץ, ניקל, כרום, ציאניד ופולואוריד וכו').

טבילות אמבט מתרחשות מכיוון שיש לרוקן גם את אמבטיות התהליך וגם את אמבטיות הניקוי מעת לעת, כאשר ריכוז התמיסה לא עומד בתקן הציפוי. נפח השפכים ממקור זה נמוך, אך ריכוז המזהמים בהם גבוה.

4.2.2.2 טכנולוגיות הטיפול שבהן משתמשים כעת

מכיוון שמאפייני המזהמים בתמיסת האמבט דומים למי השטיפה, ניתן למנן אותה ולערבב אותה עם מי השטיפה על ידי שליטה מוחלטת בזרימה על מנת לאזן את ההלם למערכת הטיפול במי השטיפה. עם זאת, אמבטיות מסוימות (לדוגמא, אמבטיות הניקוי הקאוסטית אשר מכילה הרבה שמן), אם תעורבבנה עם מי השטיפה, עלולות לגרום לקלקול תהליך הטיפול במי השטיפה, ולכן בדרך כלל מופרדות ומובלות לטיפול מחוץ למפעל.

עבור מי CIP (cleaning in place), יש שתי קבוצות של תהליכי טיפולי שבהם משתמשים בדרך כלל:

(1) שיקוע כימי (2-ו) חילוף יונים/ הפרדה ממברנלית RO.

4.2.2.2.1 שיקוע כימי

תהליך זה מכיל בדרך כלל לפחות:

- התאמת ה-pH
- חמצון מתכת
- הוספת פולימר
- היווצרות הידרוקסיד מתכת / משקעים
- סינון
- ייבוש בוצה

כאשר יש Cr+6 או ציאניד, יש לבצע טיפול מוקדם נפרד לפני הערבוב עם שאר המתכת לתהליך המשקעים שתואר לעיל:
 - עבור Cr+6, משתמשים ב-NaHSO₃, להמרת Cr+6 ל-Cr+3, ולאחר מכן שיקוע Cr(OH)₃.
 - עבור ציאניד, שני שלבים של חמצון על ידי NaClO ימירו את CN ל-N₂ ו-CO₂.

4.2.2.2.2. חילוף יונים/ הפרדה ממברנלית RO

חילוף יונים ו-RO נמצאים בשימוש בטיפול מי השטיפה לגימור מתכת כבר במשך כמה שנים, ולמרות זאת שיטה זו עדיין פחות נפוצה משיקוע כימי בשל השקעות ההון הגבוהות יותר הנדרשות לשם כך, וכן בגלל העלות התפעולית הגבוהה יותר. אבל עם הזמינות של פיתוחים חדשים של שרף בעל ביצועים גבוהים יותר וממברנה חסכונית יותר, שיטה זו הופכת להיות מבוקשת יותר, במיוחד כאשר תהליך הוצאת המתכת משולב בייצור מים טהורים (למטרת שטיפה), והאפשרות של שימוש חוזר במתכת באמבטית התמיסה.

4.2.2.3 פרויקט לדוגמא

להלן התקנה בפועל של קו טיפול לפני השטח באמצעות chromation תוך שימוש בחילוף יונים. הלקוח הוא מפעל לייצור מזגנים לרכבות. המערכת אמורה לספק chromation למעטפת המזגן.

המערכת מורכבת מהסרת שומנים (ניקוי) - שטיפה - כבישה (טבילה בחומצה) - שטיפה במפל - chromation - שטיפה במפל. ראה תרשים זרימה מצורף לפרטים (נספח 3).

במערכת זו, קו הטיפול בפני השטח מחובר למערכת מים DI. מי השטיפה היוצאים החוצה מקו הטיפול בפני השטח נאספים ונשלחים למערכת מים DI. מערכת DI מסירה את המלח וכן גם מזהמים כמו Cr ממי השטיפה. המים המטוהרים נשלחים לאחר מכן בחזרה לקו טיפול פני השטח לשימוש חוזר.

תיאור המערכת הוא כדלהלן:

טבלה מס' 4 : קו טיפול שטח הפנים
קו טיפול שטח הפנים (1)

מיקל מס'	פונקציה	כמות	התמיסה במיכל
T1	הסרת שומן	1	Ridoline 336 – הסרת שומן (מיוצר על ידי Henkel)
T2&T3	מפל שטיפה	2	מי DI ממוחזרים
T4	כבישה	1	Deoxidine SC56 CF – כבישה (מיוצר על ידי Henkel)
T5&T6	מפל שטיפה	2	מי DI ממוחזרים
T7	Chromation	1	Alodine 47F and 407F chromation – (מיוצר על ידי Henkel)
T8&T9	מפל שטיפה	2	מי DI ממוחזרים

1.1 הסרת שומן:

במיכל (T1), החומר הכימי המכיל 336 פנטסודיום טריפוספט ובוראקס ישמש להסרת שומנים לניקוי פני השטח מחומר שומני ושמוני. מכשיר חימום חשמלי יוצב בפנים כדי לחמם את טמפרטורת התמיסה שבמיכל ל-75°C לקבלת ריאקציה אופטימלית.

1.2 מפל שטיפה לאחר הסרת שומנים

במיכלים (T2&T3) מי DI ממוחזרים ישמשו למפל שטיפה לאחר הסרת שומנים. מי ה-DI הממוחזרים עוברים למיכל (T03) ראשון ולאחר מכן גולשים לתוך מיכל (T02). בגלל הגרירה החוצה, המים היוצאים מתוך מיכל זה ישאו איתם שמן, גריז ומעט מלח.

1.3 כבישה

במיכל (T4) החומר הכימי deoxidine SC56 CF המכיל בעיקר חומצה פוספטית וכימיקלים אחרים ישמש לכבישה. מכשיר חימום חשמלי יוצב בתוך המיכל לחימום התמיסה במיכל לטמפרטורה של 45°C לקבלת ריאקציה אופטימלית.

1.4 מפל שטיפה לאחר כבישה

במיכלים (T4&T5) מי DI ממוחזרים ישמשו למפל שטיפה לאחר כבישה. מי ה-DI הממוחזרים עוברים למיכל (T5) ראשון ולאחר מכן גולשים לתוך מיכל (T4). בגלל הגרירה החוצה, המים היוצאים מתוך מיכל זה יהיו חומציים ויכילו COD.

1.5 Chromation

ציפוי Cr (ופחות נפוץ ציפוי chromium), המכונה לעתים קרובות פשוט Cr, הוא טכניקה של ציפוי באמצעות אלקטרוליזה של שכבה דקה של Cr על גבי עצם עשוי מתכת או פלסטיק. שכבת Cr יכולה להיות דקורטיבית, לספק עמידות בפני קורוזיה, להקל על תהליכי ניקוי, או להגביר את קשיחות המשטח, ולפעמים למטרות אסתטיות ייעשה שימוש בחיקוי פחות יקר של Cr.

במיכל (T7) החומר הכימי alodine 47F, המכיל HF 10-30% ו-alodine F407 המכיל פוספט כרומטי ישמש ל-chromation. מכשיר חימום חשמלי יוצב בתוך המיכל לחמם את טמפרטורת התמיסה שבמיכל ל-30°C לקבלת ריאקציה אופטימלית.

1.6 מפל שטיפה לאחר Chromation

במיכלים (T8&T9) מי DI ממוחזרים ישמשו למפל שטיפה לאחר הסרת שומנים. מי ה-DI הממוחזרים עוברים למיכל (T9) ראשון ולאחר מכן גולשים לתוך מיכל (T8). בגלל הגרירה החוצה, המים שיוצאים ממכל זה מכילים Cr+6 ו-CN.

1.7 מחזור של מי שטיפה

מכל חיץ (T10) נועד להחזיק מי שטיפה ממיכלים (T2&T5&T8). משאבה צנטריפוגלית נועדה להעביר את המים הממוחזרים ממיכל החיץ למכל אגירת מים ממוחזרים.

2 מתקן טיפול ל-DI

אחסון מים ממוחזרים ← מסנן שק ← מסנן פחם פעיל ← מחליף קטיונים חזק ← מחליף Cr סלקטיבי ← מחליף אניונים חזק ← אחסון מי DI

קיבולת מי ה-DI הנדרשת היא 8 מ"ק/שעה.

מכיוון שמי השטיפה הממוחזרים יכולו שמן, מוצקים מרחפים ומספר תרכובות אורגניות שיגררו החוצה מאמבטיות התהליך, משתמשים במסנן שק ומסנן פחם פעיל כטיפול מקדים במתקן לטיפול במי DI. טיפול מקדים זה הוא קריטי ויספק את ההגנה הדרושה לשרפים של המחליפים בפעולה לטווח ארוך.

לאחר הטיפול המקדים יזרמו המים המסוננים למחליף קטיון חזק ומחליף אניון חזק לדה-יוניזציה לרבות כל המלח מהאמבטיה. חוץ מהמוצקים המומסים במים, המים הממוחזרים ממיכלים (T08&T09) יכולו גם Cr, אותו יש צורך להסיר על ידי עמוד Cr מיוחד באמצעות שרף מיוחד סלקטיבי למתכת. עמוד Cr זו יותקן בין מחליף הקטיון החזק ומחליף האניון החזק.

חידוש של שפכים מעמוד הקטיון ועמוד האניון מותאם במיכל נטרול. עמוד הוצאת ה-Cr משתמש באותה מערכת חידוש קאוסטית כמו עמוד האניון פרט לכך שהשפכים המכילים את ה-Cr נשלחים למכל אחסון נפרד, ומשם יובלו השפכים לטיפול או לשימוש חוזר, אם האיכות מאפשרת זאת.



איור 6 - תמונות של קו טיפול ב-chromation



5. הזדמנות עסקית לחברת מים בתעשיית המתכת

תעשיות המתכת צריכות לעמוד במגבלות על כמויות השפכים הנפלטות, כמו כן נדרשות לאחרונה להגיע לשיעור השבת מים מינימאלי בתהליך הייצור שלהן. דרישה זו תהפוך מחמירה יותר ויותר ככל שהכלכלה תמשיך להתפתח והביקוש למים יעלה. הרחבת התעשייה מחייבת לשאוף להקטנת פליטת המזהמים לכוון אפס.

מגמה זו מחזקת את הצורך בהעמקת המאמצים לשכלול טכנולוגיות למחזור והשבה במטרה: (1) לצמצם עוד את הביקוש למים בתהליך הייצור הכולל – דגש על הגדלת מיחזור המים והשימושים האלטרנטיביים למים המושבים.

(2) לצמצם את פליטת המזהמים לסביבה – הגדלת השימוש החוזר בחומרים ופתרונות לטיפול בחומרים הייחודיים והרעילים.

להלן דוגמאות שחברות מים עשויות למצוא בהן הזדמנויות עסקיות כדאיות לכיווני מחקר ופיתוח:

5.1 לטווח הקצר - למרות שתעשיית גימור המתכות דוחפת באופן פעיל לטכנולוגיה "ירוקה" או לתהליכים שעושים שימוש בפחות חומרים רעילים או לחילופין לייצור בתהליך יבש במקום בתהליך רטוב אשר מייצר שפכים, במציאות, אין עדיין תחליפי עבודה אפקטיביים זמינים בשוק. לכן, בעצם, ב-5-8 השנים הקרובות, הטכנולוגיה הנוכחית עדיין תישאר העיקרית בתעשייה זו ואותם המים המוזרמים יהוו אתגר לפתרון בנושאים הסביבתיים. המשמעות היא צורך בהגדלת היעילות של הפתרונות הנוכחיים.

כלומר, חברות לגימור מתכות משקיעות מאמץ בכיוונים הבאים:

- מאמץ לחשיפה מינימלית - בידוד עובדים ממגע עם חומרים או שפכים בפעולות בתהליך, מתוך שאיפה להתקרב למצב של אפס סיכון (שעשוי להיות הזדמנות עסקית עבור חברות טכנולוגיה לבקרת זיהום אוויר);
- מאמץ להתקרב להזרמה מינימאלית - למקסם את ניצול החומר וההשבה, ועל ידי כך לצמצם את ההשפעה על הסביבה משפכים, מפליטות לאוויר, ומזרמי פסולת מרוכזים (פתרונות לטיפול רטוב וטיפול בבוצה בתהליכי טיפול ייעודיים)

בסין, שבה יש מפעלים רבים, התקנה האחרונה בנוגע לזרימת השפכים נכנסה לתוקף בשנת 2008. היעד שהוצב הוא "אפס הזרמות" (ZLD – zero liquid discharge) של שפכים והשגת שימוש חוזר בתמיסות מהבריכות, מטרת שחברות רבות בתעשיית גימור המתכת הציבו לעצמן.

כפי שהוסבר (בדו"ח בסעיף 4.2.2.2), דרך מקובלת להוצאת מתכת ממי השטיפה בקו הגימור היא באמצעות שקוע כימי. שתי בעיות עולות משיטה זו: - יש ליבש את הבוצה ולסלקה לשטחים מרוחקים, תהליך ארוך ויקר. - בשיטה זו אין אפשרות לעשות שימוש חוזר במתכות ואין אפשרות להחזרה למכלי הטיפול.

למערכות שכבר משתמשות בפועל בחילוף יונים או באוסמוזה ההפוכה (RO) להפרדת המתכת, עדיין יש שתי בעיות שדורשות שיפור משמעותי:

5.1.1 בשני התהליכים, חילוף היונים או הממברנות, נדרש טיפול מקדים נרחב על מנת למקסם את זמן חיי השרף (בחילופי היונים) וזמן חיי הממברנה (כאשר הטיפול ממברנלי).

בדרך כלל טפול מקדים יכול גם פלואקולציה - סינון חול - ספיחת פחמן; או לחילופין סינון חול ולאחריו אולטרה פילטרציה (UF) וזאת כדי להגן על השרף או הממברנה מציפוי של זיהומים אורגניים ואי אורגניים בשפכים. עובדה זאת הופכת את תהליך הטיפול למסובך ויקר. כמו כן, גם עם תכנון כזה, בפועל מערכות רבות עדיין אינן יכולות לפעול לאורך זמן ביציבות או בצורה רציפה. אם מערכת הטיפול המקדים אינה מתפקדת מסיבה כלשהי, העכירות שתוצר בשרף או בממברנה תגרום למערכת באופן מיידי לירידה מסיבית של הביצועים, ובסופו של דבר לקיצור חיי השרף או חיי השירות של הממברנה.

הטיפול האפשרי עבור השרף או הממברנה יכול להיות תכנון התקן עשוי חומר מבנה משופר העמיד באופן כימי כך שהשרף או הממברנה יהיו בעלי יכולת עמידות אנטי אורגנית ונגד חמצון טובה יותר המונעת היווצרות הפילמים. הם יאפשרו קיום פעילות רצופה ללא צורך בניקוי וחידוש תכופים ופעולה בטווחי pH רחבים יותר.

באופן זה, פעולת המערכת תהיה יציבה יותר, וכן זמני השירות יתארכו. כתוצאה מכך תופחת עלות החלפת השרף או הממברנה.

5.1.2 בדרך כלל, על מנת לעשות שימוש חוזר במתכת מהתמיסה, יש להשיג ריכוז מינימאלי בסדרי גודל של מספר גרמים מתכת לליטר. כדי להשיג זאת, כמו גם כדי להשיג שיעור גבוה יותר של החזר מים, נעשה שימוש בשילוב של תהליכים שונים בממברנה. לדוגמה, UF או MF כטיפול מקדים ולאחר מכן שני שלבי RO בתוספת NF (סינון ננו). סוג זה של תהליך יכול לרכז את המתכת ל-3000 מ"ג/ליטר. לאחר מכן ניתן לעשות שימוש חוזר בתמיסה באופן ישיר לאמבטיית טיפול בפני השטח.

מלבד העכירות האורגנית שהוזכרה לעיל, טכנולוגיות שעשויות לשמור את יון המתכת בריחוף בריכוז גבוה יותר (במקום בשיקוע על הממברנה) על ידי הטענת הממברנה במטען חשמלי או בשיטות אחרות ישפרו באופן משמעותי את היכולת של הממברנה להימנע מסתימות וממשקעים. יכולת זו חשובה במיוחד ביישום ספציפי זה שבו יש רמה גבוהה של ריכוז מתכות, ותחזק את את טכנולוגית הממברנה כפתרון מעשי "אמיתי" להשבת מתכת בענף גימור המתכת.

5.2 חלופה נוספת שעשויה לאפשר שימוש חוזר במתכות קשורה בתהליכי אידוי. אידוי יכולה להיות האפשרות הנרחבת ביותר, להשגת "אפס הזרמה" אמיתית בעוד בתהליכים הכוללים מחליפי יונים או ממברנות RO, קצב השבת המים יכול להגיע ל-95-98% ו-75-80%, בהתאמה. בכל פעם שערך המתכת המושב יצדיק את

ההשקעה הכלכלית במאייד ובתהליך האידי, פתרון זה עדיין תקף.

5.3 כפי שהוסבר בפרק 2, למרות שכיום שיעור מחזור המים הכולל במפעלי פלדה רבים יכול להגיע עד כ- 95-97%, עדיין הנפח המוחלט של שפכים המוזרמים לביוב הוא עצום. בסין, כמות זו היא לפחות 1-1.5 מיליארד מ"ק לשנה. כך שלטכנולוגיה אשר תגדיל את שיעור המחזור (באופן חסכוני) על מנת לשמור על קיימות משאבי המים יהיה פוטנציאל שוק גדול בטווח הארוך.

הקושי הנוסף בהגדלת שיעור המיחזור של קולחים במפעל פלדה הוא המליחות. לכן בדומה ל-5.1, ממברנת RO בעלת ביצועים טובים יותר ועלות מופחתת תצטרך לקיים את התנאים הבאים:

- שטף גבוה יותר או לחץ הפעלה נמוך יותר אשר יפחית את עלות האנרגיה
- שיעור גבוה יותר של השבת מים (< כרגע 75-80% למים מליחים) וכמות מופחתת של תמלחת (המהווה את המגבלה של שימוש בממברנות -RO).

5.3.1 תכנון מערכת מיוחדת אשר תוכל להגביר את השטף על פני שטח הממברנה יעזור גם הוא במניעת משקעים בקרום. זה המקום בו יכולות כיום חברות הנדסת המים לתרום משמעותית ומומלץ להשקיע בו.

5.3.2 שיפור במערכת CIP (Cleaning in place) לממברנת RO על ידי שיטה מכאנית מהווה אתגר.

כיום נבדק השימוש בבעות אוויר להגברת אפקט הניקוי. רעיון אחר כמו ניקוי בעזרת כדור ספוג המשמש בניקוי ממברנת UF עשוי להישקל. השיפור בניקוי הממברנה בדרך מכאנית יהיה הארכת חיי השירות של ממברנות שכבר נמצאות בשימוש מבלי לבצע שינוי גדול במערכות הקיימות.

5.4 בתעשיית הפלדה והברזל, מגדלי קירור מים הם הצרכנים הגדולים ביותר בתהליך הייצור. המפתח למערכת קירור מים מוצלחת הוא ייצוב איכות מים. מדינה כמו סין עדיין מתכננת ומפעילה מערכת של מגדלי קירור באמצעות מים בעיקר על ידי שימוש במי העיר להשלמת מים ולהרצת המערכת בשיעור סחרור של 3-4 פעמים. במקרה זה, פיתוח נוסף של ביצועים גבוהים וכימיקלים בעלי רעילות נמוכה המשמשים לייצוב מי הקירור (חומרים נוגדי אבנית, ביוצידיים, ונוגדי קורוזיה) יכולים להיות הכיוון לשיפור יעילות מערכת מגדל קירור.

5.5 במערכת מגדל הקירור, סינון זרם צד נמצא בשימוש נרחב מאוד. מסנן בעל יעילות גבוהה יותר עם קצב סינון הניתן לבקרה (על ידי אמצעי סינון חדשים ומיוחדים או בשיטות אחרות) יחסוך עלויות תפעוליות (בעיקר כימיות) ויגיע לתוצאה אמינה יותר. כמובן שזה יהיה רק אחד מאלפי היישומים המשמשים בתעשיות ושווקים מסחריים.

5.6 בתעשיית הברזל והפלדה ובתעשיית גימור המתכת, הוצאת המתכות מהשפכים מתבצעת כיום על ידי שיקוע כימי. תהליך זה דורש לעתים שני שלבים של התאמת pH במרווח pH גדול. לדוגמה, להסרה של Cr^{+6} , ההפחתה של Cr^{+6} ל- Cr^{+3} מתרחשת במצב חומצי, כלומר pH סביב 2-3, ולאחר מכן המשקעים של $Cr(OH)_3$ ידרשו שינוי של ה- pH ל- 8 לערך. אם ניתן למצוא שיטה להפחתת הפרש בחומציות בין שני השלבים, ניתן יהיה להפחית את הצריכה בחומרים כימיים.

5.7 בניגוד לאוסמוזה הפוכה, מחקרים רבים נעשים על אוסמוזה ישירה (FO). פיתוח מוצר מסחרי בשל, יפתור את האתגר הנובע מעכירות RO המהווה את הסיבה העיקרית להגבלת השימוש בתהליך RO, במיוחד ביישום שבו קיים COD גבוה (כמו שפכים מייצור תרופות API, מים מחיפושי גז ונפט וכו'). מומלץ להשקיע בכוון זה.

נספחים

1. נספח 1 – תקן הזרמה של מזהמי מים לתעשיית הברזל והפלדה (GB 13456-2012), פורסם על ידי המשרד הארצי להגנת הסביבה של הרפובליקה העממית הסינית ב-27 ליוני, 2012.

טבלה מספר 5 : גבול הזרמת מזהמי מים ממפעל קיים והזרמת נפח ליחידת מוצר יחידה: מ"ג/ליטר פרט ל PH

מיקום ההזרמה וניטור	גבולות							מזהם	מס'
	הזרמה עקיפה	הזרמה ישירה							
		מפעל פלדה לא משולב					מפעל פלדה משולב		
		ערגול		ייצור פלדה	ייצור ברזל	Sintering			
ערגול חם	ערגול קר								
מוצא ההזרמה הסופי של השפכים	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	pH	1
	100	50	50	50	50	50	50	מוצקים מרחפים	2
	200	60	80	60	60	60	60	COD	3
	15	8	-	8	-	8	8	אמוניה N	4
	35	20	-	20	-	20	20	חנקן כולל	5
	2.0	1.0	-	-	-	1.0	1.0	פוספט כולל	6
	10	5	5	5	5	5	5	נפט	7
	1.0	-	-	0.5	-	0.5	0.5	פנולים	8
	0.5	0.5	-	0.5	-	0.5	0.5	ציאניד כולל	9
	20	10	10	-	-	10	10	פלואוריד	10
	10	10	-	-	-	10	10	ברזל כולל	11
	4.0	2.0	-	2.0	-	2.0	2.0	אבץ כולל	12
	1.0	0.5	-	-	-	0.5	0.5	נחושת כולל	13
מוצא ההזרמה של בית מלאכה או מפעל ייצור	0.5	0.5	-	-	0.5	0.5	0.5	Cr 6+	14
	0.5	0.5	-	-	-	0.5	0.5	Cr כולל	15
	1.5	1.5	-	-	-	1.5	1.5	נחושת כולל	16
	1.0	-	-	1.0	-	1.0	1.0	עופרת כולל	17
	1.0	1.0	-	-	-	1.0	1.0	ניקל כולל	18
	0.1	0.1	-	-	-	0.1	0.1	Cd כולל	19
	0.05	0.05	-	-	-	0.05	0.05	כספית	20

							כולל	
מיקום להזרמה הנפח צריך להיות אותו הדבר כמו בניטור מזהמים	2.0					טחנת פלדה משולבת	יחידת מוצר נפח הזרמת מים (מ"ק/טון)	
	0.05					ייצור Coke		
						ייצור ברזל		
	0.1					ייצור פלדה		
	1.8					ערגול		

הערה: בתי חרושת קיימים חייבים לציית לטבלה 1 החל מ-1 בינואר, 2015

טבלה מספר 6 : גבול הזרמת מזהמי מים למפעל חדש (החל מ-1 באוקטובר, 2012) והזרמת נפח ליחידת מוצר יחידה: מ"ג/ליטר (חוץ מ-pH)

מיקום ההזרמה וניטור	גבולות הזרמה ישירה							מזהם	מס'
	הזרמה עקיפה	מפעל פלדה לא משולב					מפעל פלדה משולב		
		ערגול		ייצור פלדה	ייצור ברזל	Sintering			
		ערגול חם	ערגול קר						
מוצא ההזרמה הסופי של השפכים	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	pH	1
	100	30	30	30	30	30	30	מוצקים מרחפים	2
	200	70	70	50	50	50	50	CODcr	3
	15	5	5	5	5	-	5	אמוניה N	4
	35	15	15	15	15	-	15	חנקן כולל	5
	2.0	0.5	-	-	-	-	0.5	פוספט כולל	6
	10	3	3	3	3	3	3	נפט	7
	1.0	-	-	0.5	-	-	0.5	פנולים	8
	0.5	0.5	-	0.5	-	-	0.5	ציאניד כולל	9
	20	10	10	-	-	-	10	פלואוריד	10
	10	10	-	-	-	-	10	ברזל כולל	11
	4.0	2.0	-	2.0	-	-	2.0	אבץ כולל	12
	1.0	0.5	-	-	-	-	0.5	נחושת כולל	13
מוצא ההזרמה של בית מלאכה או		0.5	-	-	0.5	-	0.5	Cr 6+	14
		0.5	-	-	-	-	0.5	כולל Cr	15
		1.5	-	-	-	-	1.5	נחושת כולל	16

מפעל ייצור		-	-	1.0	1.0	1.0	עופרת כולל	17
		1.0	-	-	-	1.0	ניקל כולל	18
		0.1	-	-	-	0.1	Cd כולל	19
		0.05		-	-	0.05	כספית כולל	20
מיקום להזרמה הנפח צריך להיות זהה לניטור מזהמים	1.8						טחנת פלדה משולבת	יחידת מוצר נפח הזרמת מים (מ"ק/טון)
	0.05						ייצור Coke	
	0.1						ייצור ברזל	
	1.5						ערגול	

טבלה מספר 7: גבול הזרמת מזהמים לאזור מים מיוחד והיחס בין יחידת מוצר והזרמת נפח מים יחידה: מ"ג/ליטר (חוץ מ-pH)

מיקום ההזרמה וניטור	גבולות						מזהם	מס'
	הזרמה עקיפה	הזרמה ישירה						
		מפעל פלדה לא משולב				מפעל פלדה משולב		
		ערגול	ייצור פלדה	ייצור ברזל	Sintering			
מוצא ההזרמה הסופי של השפכים	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	pH	1
	30	20	20	20	20	20	מוצקים מרחפים	2
	200	30	30	30	30	30	COD _{Cr}	3
	8	5	5	5	-	5	אמוניה N	4
	20	15	15	15	-	15	חנקן כולל	5
	0.5	0.5	-	-	-	0.5	פוספט כולל	6
	3	1	1	1	1	1	נפט	7
	0.5	-	-	0.5	-	0.5	פנולים	8
	0.5	0.5	-	0.5	-	0.5	ציאניד כולל	9
	10	10	10	-	-	10	פלואוריד	10
	10	2.0	-	-	-	2.0	ברזל כולל	11

	2.0	1.0	-	1.0	-	1.0	אבץ כולל	12
	0.5	0.3	-	-	-	0.3	נחושת כולל	13
מוצא ההזרמה של בית מלאכה או מפעל ייצור	0.1	0.1	-	-	0.1	0.1	ארסניק כולל	14
	0.05	0.05	-	-	-	0.05	Cr 6+	15
	0.1	0.1	-	-	-	0.1	כולל Cr	16
	0.1	-	-	0.1	0.1	0.1	עופרת כולל	17
	1.0	1.0	-	-	-	1.0	ניקל כולל	18
	0.01	0.01	-	-	-	0.01	כולל Cd	19
	0.01	0.01	-	-	-	0.01	כספית כולל	20
מיקום להזרמה הנפח צריך להיות זהה לניטור מזהמים	1.2						טחנת פלדה משולבת	יחידת מוצר נפח הזרמת מים (מ"ק/טון)
	0.05						ייצור Coke	
	0.1						ייצור ברזל	
	1.1						ייצור פלדה ערגול	

נספח 2 – תקן להזרמת מזהמים הקשורים לציפוי מתכות (GB21900-2008, סין)

טבלה מספר 8 : גבול הזרמת מזהמי מים לבתי חרושת קיימים

מס'	מזהם	גבול הזרמה	מיקום ההזרמה וניטור
1	Cr כולל (מג"ל)	1.5	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
2	הקס Cr (מג"ל)	0.5	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
3	ניקל כולל (מג"ל)	1.0	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
4	COD כולל (מג"ל)	0.1	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
5	Ag כולל (מג"ל)	0.5	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
6	Pb כולל (מג"ל)	1.0	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
7	Hg כולל (מג"ל)	0.05	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
8	Cu כולל (מג"ל)	1.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
9	Zn כולל (מג"ל)	2.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
10	Fe כולל (מג"ל)	5.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
11	Al כולל (מג"ל)	5.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
12	pH	6~9	מוצא סופי להזרמת שפכים
13	מוצקים מרחפים (מג"ל)	70	מוצא סופי להזרמת שפכים
14	COD _{Cr} (מג"ל)	100	מוצא סופי להזרמת שפכים
15	Ammonia N (מג"ל)	25	מוצא סופי להזרמת שפכים
16	N כולל (מג"ל)	30	מוצא סופי להזרמת שפכים
17	P כולל (מג"ל)	1.5	מוצא סופי להזרמת שפכים
18	נפט (מג"ל)	5.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
19	פלואוריד כולל (מג"ל)	10	מוצא סופי להזרמת שפכים
20	CN כולל (מג"ל), CN ⁻	0.5	מוצא סופי להזרמת שפכים
הזרמת נפח מים ליחידת (ליטר/מ"ר)		750	מיקום לניטור נפח המים המוזרמים יהיה זהה למיקום לניטור המזהמים.

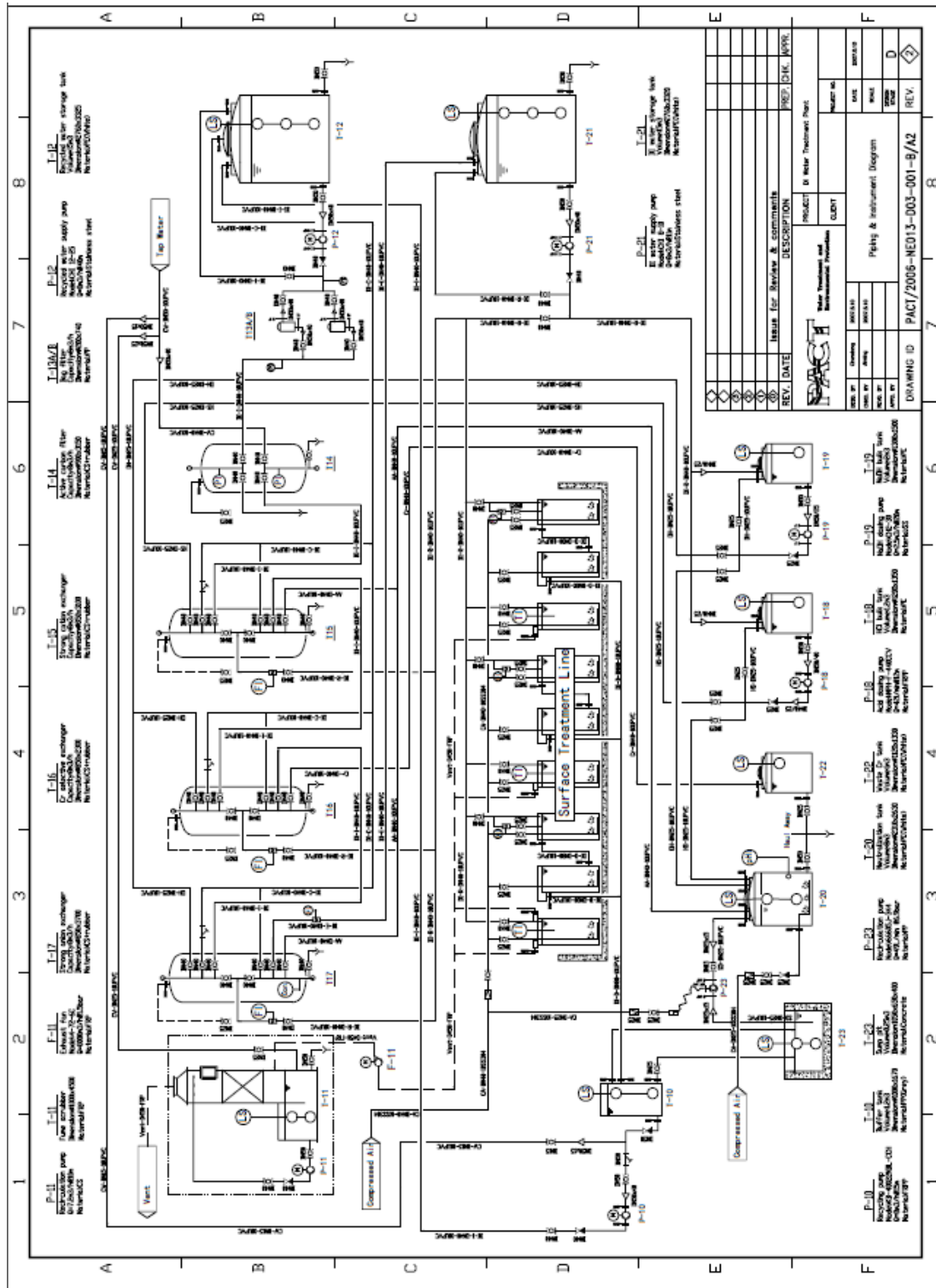
טבלה מספר 9 : גבול הזרמת מזהמי מים לבתי חרושת חדשים

מס'	מזהם	גבול הזרמה	מיקום ההזרמה וניטור
1	Cr כולל (מג"ל)	1.0	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
2	הקס Cr (מג"ל)	0.2	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
3	ניקל כולל (מג"ל)	0.5	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
4	COD כולל (מג"ל)	0.05	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
5	Ag כולל (מג"ל)	0.3	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
6	Pb כולל (מג"ל)	0.2	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
7	Hg כולל (מג"ל)	0.01	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
8	Cu כולל (מג"ל)	0.5	מוצא סופי להזרמת שפכים
9	Zn כולל (מג"ל)	1.5	מוצא סופי להזרמת שפכים
10	Fe כולל (מג"ל)	3.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
11	Al כולל (מג"ל)	3.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
12	pH	6~9	
13	מוצקים מרחפים (מג"ל)	50	מוצא סופי להזרמת שפכים
14	COD _{Cr} (מג"ל)	80	מוצא סופי להזרמת שפכים
15	Ammonia N (מג"ל)	15	מוצא סופי להזרמת שפכים
16	N כולל (מג"ל)	20	מוצא סופי להזרמת שפכים
17	P כולל (מג"ל)	1.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
18	נפט (מג"ל)	3.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
19	פלואוריד כולל (מג"ל)	10	מוצא סופי להזרמת שפכים
20	CN כולל (מג"ל) (כ- CN ⁻)	0.3	מוצא סופי להזרמת שפכים
		500	מיקום לניטור נפח המים המוזרמים יהיה זהה למיקום לניטור המזהמים.
הזרמת נפח מים ליחידת מוצר (ליטר/מ"ר)		ציפוי מרובה	

טבלה מספר 10 : גבול הזרמת מים מזוהמים לשטחי מים מיוחדים

מס'	מזהם	גבול הזרמה	מיקום ההזרמה וניטור
1	Cr כולל (מג"ל)	0.5	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
2	הקס Cr (מג"ל)	0.1	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
3	ניקל כולל (מג"ל)	0.1	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
4	COD כולל (מג"ל)	0.01	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
5	Ag כולל (מג"ל)	0.1	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
6	Pb כולל (מג"ל)	0.1	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
7	Hg כולל (מג"ל)	0.005	מוצא להזרמת שפכים בבית מלאכה או מבנה ייצור
8	Cu כולל (מג"ל)	0.3	מוצא סופי להזרמת שפכים
9	Zn כולל (מג"ל)	1.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
10	Fe כולל (מג"ל)	2.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
11	Al כולל (מג"ל)	2.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
12	pH	6~9	
13	מוצקים מרחפים (מג"ל)	30	מוצא סופי להזרמת שפכים
14	COD _{Cr} (מג"ל)	50	מוצא סופי להזרמת שפכים
15	Ammonia N (מג"ל)	8	מוצא סופי להזרמת שפכים
16	N כולל (מג"ל)	10	מוצא סופי להזרמת שפכים
17	P כולל (מג"ל)	0.5	מוצא סופי להזרמת שפכים
18	נפט (מג"ל)	2.0	מוצא סופי להזרמת שפכים
19	פלואוריד כולל (מג"ל)	10	מוצא סופי להזרמת שפכים
20	CN כולל (מג"ל), CN ⁻	0.2	מוצא סופי להזרמת שפכים
		250	מיקום לניטור נפח המים המוזרמים יהיה זהה למיקום לניטור המזהמים.
הזרמת נפח מים ליחידת מוצר (ליטר/מ"ר)		ציפוי מרובה	

תרשים תהליך וזרימה של קו טיפול בשטח, מי DI בשגחאי, סין



References

-
- ⁱ שירי פרוינד קורן, ד"ר גלעד פורטונה, הפקת גז ונפט בראי אתגרים גלובליים לתעשיות המים, מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית ו-Israel NewTech, דצמבר 2011
- ⁱⁱ שירי פרוינד קורן, ד"ר גלעד פורטונה, כריית מחצבים בראי אתגרים גלובליים לתעשיות המים, מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית ו-Israel NewTech, מרץ 2012
- ⁱⁱⁱ שירי פרוינד קורן, ד"ר גלעד פורטונה, ייצור תרופות בראי אתגרים גלובליים לתעשיות המים, מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית ו-Israel NewTech, מאי 2012
- ^{iv} שירי פרוינד קורן, ד"ר גלעד פורטונה, תעשיית המזון בראי אתגרים גלובליים לתעשיות המים, מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית ו-Israel NewTech, אוקטובר 2012
- ^v שירי פרוינד קורן, ד"ר גלעד פורטונה, תעשיית המיקרואלקטרוניקה בראי אתגרים גלובליים לתעשיות המים, מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית ו-Israel NewTech, אוגוסט 2013
- ^{vi} World Steel in Figures 2012 by World Steel Association
- ^{vii} World Steel in Figures 2012 by World Steel Association
- ^{viii} Mark Haveman, WRITAR, Profile of the Metal Finishing Industry
- ^{ix} Mark Haveman, WRITAR, Profile of the Metal Finishing Industry
- ^x 2020 Vision: the future of coatings, Products Finishing Magazine
- ^{xi} Dr. Ahamed Sirajuddin, Rathi K and Chandra Umesh, Wastewater Treatment Technologies Commonly Practised in Major Steel Industries in India
- ^{xii} 2010 Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production
- ^{xiii} Dr. Ahamed Sirajuddin, Rathi K and Chandra Umesh, Wastewater Treatment Technologies Commonly Practised in Major Steel Industries in India
- ^{xiv} Dr. Ahamed Sirajuddin, Rathi K and Chandra Umesh, Wastewater Treatment Technologies Commonly Practised in Major Steel Industries in India
- ^{xv} Mark Haveman, WRITAR, Profile of the Metal Finishing Industry



מוסד שמואל נאמן

למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

טל. 04-8292329, פקס. 04-8231889

קרית הטכניון, חיפה 32000

www.neaman.org.il