

סיור למפעלי המלט "נשר" ברמלה

ורדה כספי*

חומר רקע למורים

חומרי הגלם לייצור המלט הם אבן גיר (80%) וחרסית (20%). אבן הגיר מכילה בעיקר סידן פחמתי $\text{CaCO}_3(s)$ ומעט מגנזיום פחמתי $\text{MgCO}_3(s)$, והחרסית מכילה בעיקר סיליקה, $\text{SiO}_2(s)$ ואלומינה $\text{Al}_2\text{O}_3(s)$ ומעט תחמוצת ברזל, $\text{Fe}_2\text{O}_3(s)$. האנליזה הכימית לקביעת הרכב חומרי הגלם הכרחית לצורך טיפול מתאים בחומרים שעלולים לפגוע ביציבות המלט ובסופו של דבר בבטון ובבניין. חומרים אלה הם בעיקר יוני זרחן, יוני מגנזיום, יוני כלור ויוני המתכות האלקליות, נתרן ואשלגן. קיימות שיטות שונות לזיהוי יונים אלו. שיטות הזיהוי מתבססות על אינדיקטורים ליונים, בדיקות הולכה חשמלית ומדידת בליעה אטומית. הטיפול לסילוק היונים הוא בהתאם לשיטות הייצור השונות של המלט.

שיטת הייצור תלויה בשיטת ערבוב חומרי הגלם. כאן מודגשת הבעייתיות שבערבוב הומוגני שיאפשר תגובה בין חומרים מוצקים שאינם מסיסים במים. בעבר יצרו ב"נשר" תרחיף של חומרי הגלם לאחר שנגרסו, אולם שיטה זו מצריכה ערבול תמידי, שימוש בכמויות גדולות של מים ושימוש באנרגיה רבה (שכפת דלקים), הצורכת משאבים ומזהמת את הסביבה. מסיבה זו עברו לשיטה היבשה שבה גרגרים של חומרי הגלם מעורבבים ללא מים בשיטת "מערום-מגרוף", המבוססת על עקרונות פיזיקליים פשוטים של חוקי הכבידה. בשיטה זו מכונה עורמת את חומרי הגלם הגרוסים, כך שמאות שכבות שונות של חומר גלם מונחות זו על גבי זו. השכבה שמכילה גרגרים המורכבים מחומרי הגלם הכבדים יותר נמצאת בתחתית, וזו שמכילה גרגרים מחומרי הגלם הקלים יותר - נמצאת למעלה. לקראת משלוח חומר

בחודש מרץ 2011 יצאנו, תלמידי כיתה י"א במגמת כימיה והמורות מירה תמיר וורדה כספי מתיכון "בגין" בראש העין, לסיור במפעלי המלט של חברת "נשר" ברמלה. הסיור היה מעניין, מרחיב אופקים, הדגיש את חשיבות לימודי הכימיה ושילוב הכימאים בתעשייה. מעבר לרלוונטיות שלו לנושאי הלימוד בכימיה, התייחס הסיור לנושא הקיימות, איכות הסביבה, מעט אזרחות, היסטוריה של מדינת ישראל וכן היבטים כלכליים של התעשייה בישראל. הן התלמידים והן אנחנו המורות נהנינו מאוד.

ניתן לערוך את הסיור כבר בתחילת י"א לאחר שלמדו בכיתה י' לימודי בסיס בכימיה: הפרדת תערובות, ניסוח תגובות, חומרים יונים ואטומים. לאחר שהתלמידים למדו חמצון-חיזור וחומצות ובסיסים, גדלה יכולתם להפיק תועלת מהסיור (ראו שאלות הכנה), ותלמידי כיתות י"ב יצאו בוודאי נשכרים כשסיימו את יחידת הלימוד הרביעית (אנרגיה, קינטיקה ותרמודינאמיקה) או במקביל אליה. הסיור מומלץ מאוד לתלמידים הלומדים ביחידת הבחירה כימיה סביבתית ואף לתלמידים הלומדים כימיה פיזיקלית (מרמת הננו למיקרואלקטרוניקה), בשל השימוש בבליעה אטומית כשיטה אנליטית מרכזית במפעל זה.

המפעל ממוקם במרכז הארץ ויכול להתאים לבתי ספר רבים, הסיור ללא תשלום ומצריך אוטובוס צמוד. יש לבקש מראש שהסיור יותאם לתלמידי הכימיה, כך שההדרכה תינתן על ידי מהנדס הכימיה במפעל. התיאום מתבצע דרך אתר האיטרנט של [מרכז המבקרים](#).

אנחנו לא ביקרנו במעבדה האנליטית, כדאי לברר אם ניתן לשלב גם ביקור במעבדות.

* ד"ר ורדה כספי, מורה בתיכון "בגין", ראש העין, במסגרת סדנת סיורים במכון דוידסון בהנחיית ד"ר מירה קיפניס, קיץ תשע"א

גלם לטחינה המכונה הגורפת לוקחת "פרוסה" שכל שכבות החומר נמצאות בה. המעבר של חומרי הגלם לכבשן הסובב מתבצע מלמעלה למטה, כך שבדרכם פוגשים חומרי הגלם גזים חמים שכבר נפלטו ממילא. גזים אלו שמתפשטים כלפי מעלה מחממים את תערובת חומרי הגלם טרם כניסתם לכבשן. בדרך זו יש חיסכון נוסף באנרגיה ובצמצום זיהום הסביבה מפליטת גזים נוספים.

התגובה הכימית בכבשן מתרחשת בכמה שלבים, בהתאם לטמפרטורה העולה.

ראשית, חומרי הגלם מאבדים את מי המבנה שלהם. בטווח שבין 400°C - 500°C נשרפים כל החומרים האורגניים. בסביבות 750°C מתחילות התגובות הכימיות. בשלב ראשון הגיר מתפרק לדו-תחמוצת-הפחמן ולסיד שרוף (סידן חמצני - CaO). בסביבות $1,200^{\circ}\text{C}$ תחמוצות הברזל והאלומינה ניתכות לנוזלים צמיגים. כאשר הטמפרטורה מגיעה ל $1,450^{\circ}\text{C}$ מתחילה התגובה בין הסידן החמצני לסיליקה, לאלומינה ולתחמוצת הברזל ליצירת



התוצרים¹: טריקלציום סיליקט, $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, דיקלציום סיליקט, $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, טריקלציום אלומינט, $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ וטטרה קלציום אלומינופיריט $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. תוצרי התגובה יוצרים את חומר המליטה - הקלינקר שהסיליקטים הם המרכיב העיקרי בו (כ-75%).

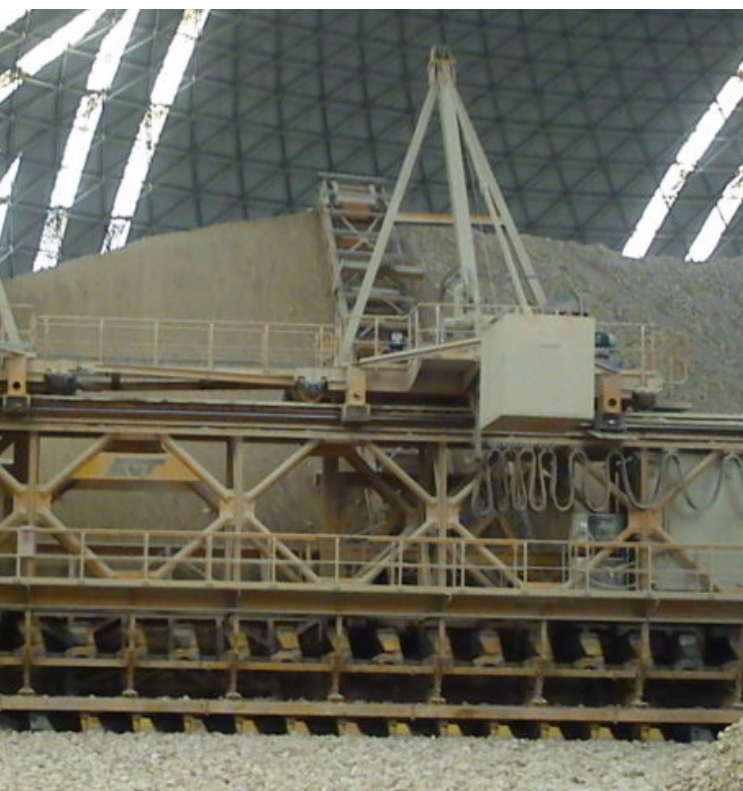
הצמנט (דבק) הוא למעשה מעין פולימר שנראה כעיסה צמיגה שנוצרת כתוצאה מהידרציה של מרכיבי הקלינקר. תהליך ההידרציה מתרחש רק בשטח הפנים, ולכן הקלינקר היוצא מהכבשן מקורר ונטחן לגרגרים קטנים כך שיהיה שטח מגע טוב בינו לבין המים. בזמן הטחינה מוסיפים חומרים שונים שמטרתם לשפר את תהליך ההידרציה ולווסת את קצב התהליך. הגבס, למשל, מאט את קצב ההידרציה וכך מאפשר לעצב את הבטון טרם התקשותו. הבטון הוא למעשה צמנט בתוספת אבנים וחצץ ששילובם יוצר אפקט סינרגסטי של התקשות.

הכימיה של חומרי המליטה היא מורכבת אך חשובה, שכן עקרונות בסיסיים רבים במדע הכימיה באים לידי ביטוי בתהליך הייצור. העקרונות כוללים בין השאר העברת אנרגיה בצורת חום בתהליכים כימיים, עבודת התפשטות של גז, יציבות תרמודינמית של חומרים, השפעת פני שטח על קצב התגובה, התקשות חומרים בתהליכי הידרציה, יצירת תערובות הומגניות ושיטות הפרדה וכן מדידות ספקטרוסקופיות המתבססות על בליעה אטומית.

ביבליוגרפיה

1. [אתר נשר "איכות הסביבה"](#)
2. הרצאה של מר יהודה תורג'מן, מרכז מבקרים נשר, מרץ 2011
3. [מצגת בנושא "צמנט"](#) - חלק א, המחלקה להנדסת בניין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

¹ המלט מורכב מאוליגומרים בעלי שרשרת מרכזית של תחמוצות בעלות מבנה אמורפי (סיליקה אלומינה ופיריט) העטופות בתחמוצת סידן ביחסים שונים. מקובל לייצג את המבנים המורכבים האלו באמצעות נוסחאות המכילות מצד שמאל את המקדם של ה- CaO , לאחר מכן נקודה במרכז כמו בהידראטים, ואח"כ התחמוצת שממנה עשויה השרשרת המרכזית.



תיאור מהלך הסיור

בחלקו הראשון של הסיור שמעו התלמידים הרצאה מאלפת במרכז המבקרים מפיו של מהנדס כימיה ומנהל המחלקה לסייע תהליכי, מר יהודה תורג'מן. ההרצאה כללה רקע היסטורי והסבר על תהליך ייצור המלט משלב חציבת חומרי הגלם ועד לאריזת המלט. ההסבר התייחס לאנליזה הכימית, שיטות הערבוב, התהליכים הכימיים בכבשן וכן התהליכים הפיזיקליים בייצור המלט. התלמידים קיבלו הסבר גם על השיתוף בין התעשיות בארץ, שמתבטא בין היתר בכך שחומר לא חיוני למפעל אחד מועבר למפעל אחר לשם ניצולו. בנוסף מפעל נשר לוקח פסולת שנשרפת ממילא ומנצל אותה כחומר דלק, ובדרך זו מושגים חיסכון במשאבי אנרגיה והקטנת הזיהום הכולל של הסביבה.

יש לציין שההרצאה תוכננה ל-45 דקות ובשל התעניינות התלמידים נמשכה שעה וחצי שבמהלכה היו התלמידים מרותקים. ההרצאה כללה שימוש באמצעי המחשה שונים, כדוגמת מודל פיזי של הכבשן במרכז המבקרים, מישוש חומרים שאינם בני-קיימא וחומרים בני-קיימא כמו הקלינקר שהוא בעל יציבות תרמודינמית גדולה.

הכנה לסיור

כדאי לבצע ניסוי מקדים של בערת מלחים בלהבה (חנוכיית צבעים). ניסוי זה יהווה הכנה להבנת בדיקות בליעה אטומית במכשיר ICP (inductively coupled plasma). זו השיטה המדויקת ביותר לזיהוי מרכיבי חומרי הגלם.

הרקע התאורטי והניסוי "בערת מלחים בגל" מתוארים בספר כימיה "מכול וחול: מרמת הננו למיקרואלקטרוניקה", ד"ר עירית ששון, רותי שטנגר, פרופ' יהודית דורי, פרופ' אורי פסקין, המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים, שוליק- הפקולטה לכימיה, הטכניון, מטה מל"מ, משרד החינוך.

ניסוי "האור שבכימיה" מבוצע גם במסגרת פעילויות נחמ"ד במכון דוידסון, מכון ויצמן, וניתן לצפות בו ב**[קישור הזה](#)**.

להלן מצורף דף הכנה לתלמידים ודף שאלות למהלך הסיור.

חלקו השני של הביקור במפעלי המלט היה סיור במפעל עצמו שנמשך כ-45 דקות. סיור זה הוא צמוד-אוטובוס, והוא כלל ירידות והסברים נלווים באזורים שונים במפעל, כדוגמת המחצבה ומתקן מערום-מגרוף. בסיור בשטח הושם דגש על אמצעים למניעת זיהום סביבתי, וביניהם חיפוי של המסוע ומתקן המערום-מגרוף, שימוש במסננים ובאמצעי בקרה וניטור הגזים וחלקיקי האבק הנפלטים. המסוע המוגבה מאפשר מעבר של חיות מתחתיו, כדי לצמצם את הפגיעה בסביבה. עוד קיבלנו הסבר על היתרון שבחציבה לעומק חציבה אנכית כלפי מטה, שייחודית למפעל מלט זה, וזאת כדי לצמצם מפגעי רעש. נטיעת העצים מעבר למחצבה מצמצמת אף היא נזקי רעש ופיזור אבק. גם הסיור בשטח היה מרתק, והתלמידים שאלו והתעניינו. כאמור, הסיור מעשיר מאוד וממחיש את הקשר בין לימודי הכימיה לתעשייה ומלווה בהיבטים כלכליים וחברתיים.

דף הכנה לסיור במפעלי המלט "נשר" ברמלה

מפעלי המלט של חברת "נשר" הם למעשה "אבני הבניין" של המדינה. המלט הוא אבקה דקה המכילה חלקיקים קטנים מ-2.5 מיקרון (1 מיקרון = 10^{-6} מטר). המלט נוצר מתערובת של כ-80% אבן גיר, סידן פחמתי $\text{CaCO}_3(s)$ וכ-20% חרסיות (בעיקר סיליקה $\text{SiO}_2(s)$ אלומינה $\text{Al}_2\text{O}_3(s)$ ומעט $\text{Fe}_2\text{O}_3(s)$). החומרים בתערובת הופכים באמצעות תהליך קלייה למינרלים ותחמוצות שונות. בנוסף מכיל המלט תערובת של מוספים כגון: סיד כבוי (סידן הידרוקסידי Ca(OH)_2), גבס דיאנהידרט $\text{CaSO}_4(s)$ ועזרי טחינה מטיפוס טרי אתנול-אמין. $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{N}$ המלט הוא חומר בסיסי, בעל $\text{pH}=12$.

ענו על השאלות הבאות

1. סיליקה ואלומינה הם מוצקים בעלי נקודות רתיחה גבוהות. קבעו את הסוג של כל אחד מהחומרים, תארו את מבנה החומר ברמה המיקרוסקופית והסבירו מדוע החומר מוצק בטמפרטורת החדר.
2. רשמו נוסחת ייצוג מלאה ונוסחת ייצוג מקוצרת לטרי-אתנול-אמין.
3. התבוננו במרכיבי המלט והסבירו מדוע המלט בסיסי. לוו הסברכם בניסוח תגובה מתאימה.
4. הסבירו ברמה מיקרוסקופית מדוע החום האינטנסיבי בתהליך הקלייה מזרז את התהליכים המתרחשים.
5. בתהליך השַרְפָה משתחרר פד"ח וכן תחמוצות גפרית וחנקן. הסבירו מדוע שחרור התחמוצות האלו פוגע באיכות הסביבה. לוו את ההסבר בניסוח משוואות מתאימות.
6. רשמו שאלות שהייתם רוצים לברר בביקור במפעל המלט.

דף עבודה למהלך הסיור

1. שאלה זו עוסקת באנליזה הכימית לצורך קביעת הרכב חומרי הגלם. ענו על תת-השאלות האלה:
 - א. באיזו בדיקה ראשונית משתמשים ומדוע?
 - ב. באיזו בדיקה השתמשו בעבר ומדוע אין משתמשים בה כיום?
 - ג. מהי השיטה המדויקת שבה משתמשים היום? הסבירו על מה מבוססת השיטה.
2. הסבירו מהי השיטה הרטובה ומהי השיטה היבשה לייצור המלט. באיזו שיטה משתמשים היום בחברת "נשר" ומדוע?
3. מהם התהליכים הפיזיקליים והכימיים המתרחשים בכבשן לקבלת הקלינקר ובאילו תנאים הם מתרחשים? רשמו ניסוחי תגובות.
4. מדוע מוסיפים למלט גבס דיהידראט $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(s)$?
5. אילו פתרונות טכנולוגיים מיושמים בחברת "נשר" למניעה וצמצום נזקים לסביבה?

סיור מפנה!!!

פעילות בעקבות הסיור

לאחר הסיור ניתן לבצע ניסוי לבדיקת מוליכות יונים. ניסויים מסוג זה מתבצעים במעבדות בלמונטה באוניברסיטה העברית, גבעת רם. <http://sites.huji.ac.il/belmonte/chemi.html>
להלן ניסוי לבדיקת מוליכות של אלקטרוליטיים שנכתב על ידי המורות שולמית מרגליות ונינה פינץ מתיכון אמ"ת "רננים" ברעננה.



הקונדוקטומטר לשירותנו - ניסוי ברמה II

בדיקת מוליכות של תמיסות מימיות של אלקטרוליטים חזקים וחלשים

קונדוקטומטריה - ניסוי מס' 1 | שולמית מרגליות, נינה פניץ | אמי"ת "רננים", רעננה

שלב א': טרום חקר

- « הפעילו וכיילו את הקונדוקטומטר על פי ההוראות המצורפות.
- « מדדו את המוליכות של התמיסות הנתונות.
- התחילו למדוד את המוליכות של התמיסות המרוכזות יותר.
- שטפו את תא המוליכות במים מזוקקים בין בדיקה לבדיקה.
- ודאו שתא המוליכות נקי לפני שתתחילו לבדוק תמיסה חדשה.
- « רכזו את תוצאות המדידה בטבלה שלהלן:

שלב ב': מהלך החקר

- « שאלו שאלות רבות ומגוונות ככל האפשר, הקשורות לתוצאות המדידה שקיבלתם בניסוי.
- « נסחו שאלת חקר שיש לה משתנה תלוי ומשתנה בלתי תלוי.
- « נסחו השערת חקר מנומקת על סמך ידע מדעי.
- « תכננו ניסוי שבאמצעותו תבדקו את נכונות השערתכם.
- פרטו את כל שלבי הניסוי, כולל הבקרה.
- ציינו את צורת המדידה של המשתנה התלוי.
- ציינו את הגורמים הקבועים בניסוי.
- הגישו רשימה מפורטת של חומרים וציוד לניסוי המתוכנן.

« ביצוע הניסוי המתוכנן

- בצעו את הניסוי ורשמו תצפיות מגוונות ומפורטות.
- אם המדידות שביצעתם כמותיות, נתחו את תוצאותיהן ב- Excell.
- הציגו את התוצאות בצורה מאורגנת (טבלה, תרשים, גרף וכו').
- פרשו ונתחו את התוצאות.
- הסיקו מסקנות רבות ככל האפשר על סמך כל תוצאות הניסוי.
- התייחסו למידת ההתאמה בין המסקנות לבין שאלת החקר וההשערה.

« דיון מסכם

- התייחסו בביקורתיות לתוצאות הניסוי (דיוק המדידות, מגבלות הניסוי וכו').
- התייחסו בביקורתיות לתוקף המסקנות.
- במידת הצורך הצביעו על השינויים הרצויים בתהליך החקר.
- בדיון הכיתתי המסכם, התייחסו למסקנות כל הקבוצות.
- הגישו דו"ח מאורגן, אסתטי וקריא.

צבוצב ארנב!

שם החומר	ריכוז התמיסה	מוליכות התמיסה
מים מזוקקים		
מי ברז		
מים מינרלים		
מי ים המלח		
NH _{3(aq)}	0.1M	
CH ₃ COOH _(aq)	0.1M	
NaCl _(aq)	0.1M	
KCl _(aq)	0.1M	
HCl _(aq)	0.1M	
HCl _(aq)	0.2M	
NaOH _(aq)	0.1M	
NaOH _(aq)	0.2M	

על בסיס תוצאות המדידות שקיבלתם, ציינו שלושה גורמים המשפיעים על מוליכות התמיסה, הסבירו בעזרת ידע מדעי.