

# **הפקת נפט מפצלי שמן בשפלת יהודה: השלכות מתקן הפקה מסחרית**

מסמך עבור המשרד להגנת הסביבה

שרון גולדרינג, הדס רוזן, שאול פרל

[rosenneh@netvision.net.il](mailto:rosenneh@netvision.net.il)

## תקציר

בחודש יולי 2008 קיבלה חברת IEI (Israel Energy Initiatives Ltd.) רישיון לחיפוש והפקת נפט מפצלי שמן בשטח של 238 אלף דונם באזור שפלת יהודה, בכפוף לחוק הנפט התשי"ב-1952. לפי החוק, רישיון שכזה כולל זכות ייחודית לבצע קדיחות ניסיון ופיתוח בשטח, ומקנה זכות לקבלת חזקה לצורך הפקה מסחרית לאחר הגעה לתגלית בשטח הרישיון. החזקה ניתנת לשלושים שנה לפחות, עם אפשרות הארכה לעשרים שנים נוספות. בהתאם לכך, מתוכנן קידוח ניסוי (פיילוט) שנועד להוכיח יכולת התכנות, בכוונה להמשיך לאחר מכן להפקה מסחרית בכמות שתספק לפחות את כל תצרוכת הנפט של מדינת ישראל, כלומר כ-300,000 חביות נפט ביום.

שיטת הפקת הנפט מפצלי שמן שבה עתידה חברת IEI להשתמש היא שיטת In situ, שבה מוחדרים צינורות חימום לעומק הקרקע. הקרוגן הנמצא בסלעים מתאדה, נאסף בלחץ למתקני איסוף על פני הקרקע, שם הוא עתיד לעבור עיבוי וזיקוק ראשוני. שיטה זו אינה משמשת להפקה מסחרית בשום מקום בעולם. למרות הטיעונים של תומכי השיטה בדבר העדר נזק סביבתי עקב שימוש בשיטה זו, ישנן עדויות ונתונים המעלים סימני שאלה לגבי זאת, ומכוונים לצורך בבדיקה מקדימה, ניטור, פיקוח ובקרת סיכונים ברמה שלא נעשתה עד כה. במסמך שלהלן מתואר מתקן הפקת דלקים מפצלי שמן בכמות מסחרית ומוערכות חלק מההשלכות הסביבתיות של מתקן כזה. המסמך מציג נתונים ותוצאות חישובים שנועדו להבהיר מספר נקודות יסוד הקשורות להפקה המסחרית. כל החישובים והנתונים שעליהם הם מבוססים מופיעים בגוף המסמך או בנספחיו.

להלן תקציר המסקנות העיקריות:

- א. ההספק שנדרש להפקה מסחרית הוא: 3 – 5 GigaWatt, הספק השווה לפי 2 בערך מההספק של תחנת הכוח "אורות רבין" בחדרה.
- ב. פליטת גזי החממה ( $CO_2$ ) בשנה כתוצאה מהפקה בלבד שווה לכ- 20-40% מסך הפליטה השנתית של גזי החממה בישראל היום (בהנחת שימוש בגז טבעי לחימום וללא חישובי שינוע).
- ג. דרושים כ-300 קידוחים תת קרקעיים אופקיים, כל אחד מהם לאורך של כ-5 ק"מ, בכל שנה. כמות החומר המוצאת שווה לכ- 300 מ"ק ליום.

בשל מורכבות העניין והשלכותיו, שעשויות להיות מרחיקות לכת במגוון רחב של תחומים, אנו סבורים שכל אישור שניתן לחברת IEI לביצוע עבודה בשטח, קטנה כגדולה, צריך להינתן אך ורק לאחר שנבחנו בקפידה ובאופן בלתי תלוי בחברה כל הנתונים והשלכותיהם, קצרות וארוכות הטווח: "סוף מעשה במחשבה תחילה".

לפני כשלושה חודשים נודע לנו, תושבי חבל עדולם, על רישיון שניתן לחברת IEI להפקת דלקים מפצלי שמן המצויים במעבה הקרקע באזורנו. בעקבות הידיעה התכנסנו מספר תושבים מהאזור במטרה לנסות ללמוד את הנושא על מגוון השלכותיו כדי לגבש עמדה מושכלת ככל האפשר. התמונה המתקבלת מורכבת ורב תחומית ונפרשת מהיבטים כלכליים ומשפטיים, דרך סוגיות של מים, אוויר, נוף, אקולוגיה ועד תשתיות, בריאות וביטחון. מבירור מהות הפרויקט התברר:

א. מדובר בפוטנציאל לפרויקט גדול ממדים שעשוי לספק לפחות את כל צריכת הדלק של

מדינת ישראל למשך כ- 30 שנה (בהנחה שהצריכה תישאר כפי שהיא היום).

ב. ב-7.2008 קיבלה חברת IEI רישיון להפקת נפט מפצלי שמן בשטח של 238 אלף דונם

בשפלת יהודה, בכפוף לחוק הנפט התשי"ב-1952. לפי החוק, על החברה להוכיח יכולת הפקה בתוך 3 שנים, עם אפשרות הארכה ל-4 שנים נוספות. הוכחת יכולת מקנה זכות לקבלת חזקה לשלושים שנים לפחות על שטח להפקת נפט בכמות מסחרית, במסגרת שטח הרישיון.

ג. בהתאם לחוק, החברה פועלת להוכחת התכונות ומבצעת כעת קידוחי מיפוי. בכוונתה

להתחיל בפרויקט הפקה מקדים ("פיילוט"), קטן בעשרות מונים ביחס לפרויקט המתוכנן להפקה מסחרית.

בשל מורכבות העניין והשלכותיו, שעשויות להיות מרחיקות לכת במגוון רחב של תחומים, אנו סבורים שכל אישור שניתן לחברת IEI לביצוע עבודה בשטח צריך להינתן אך ורק לאחר שנבחנו בקפידה ובאופן בלתי תלוי בחברה כל הנתונים והשלכותיהם, קצרות וארוכות הטווח.

מטרת מסמך זה היא תיאור מתקן הפקת דלקים מפצלי שמן בכמות מסחרית והערכת חלק מההשלכות הסביבתיות של מתקן כזה. העובדות וההערכות שמובאות במסמך זה נלמדו מתוך פגישות, התכתבויות ושיחות עם מנכ"ל חברת IEI, ד"ר יובל ברטוב, וכן ממאמרים מדעיים, דוחות לגבי הפקת נפט מפצלי שמן במקומות אחרים בעולם ומידע זמין באינטרנט. המסמך מציג נתונים ותוצאות חישובים שנועדו להבהיר מספר נקודות יסוד הקשורות להפקה המסחרית:

א. אנרגיה והספק הדרושים להפקה המסחרית.

ב. מספר הקידוחים הדרוש וכמות החומר שצריך לסלק מהאתר בכל יום.

ג. פליטת גזי חממה בתהליך ההפקה.

החישובים נעשו במספר אופנים והשוו לנתונים מהספרות. כל החישובים והנתונים שעליהם הם מבוססים מופיעים בגוף המסמך או בנספחיו. ראוי לציין שהחישובים נעשו על פי עקרונות פיסיקליים בסיסיים ומטרתם לתת הערכות וסדרי גודל ולא מספרים מדויקים. עם זאת, חישובים אלו מבוססים דיים ויש בהם כדי לשפוך אור על סדרי הגודל של התהליכים הקשורים בהפקה המתוכננת.

להלן תקציר המסקנות העיקריות:

א. ההספק שנדרש להפקה מסחרית הוא 5 – 3 GigaWatt, הספק השווה לפי 2 בערך מההספק של תחנת הכוח "אורות רבין" בחזרה.

ב. פליטת גזי החממה (CO<sub>2</sub>) בשנה כתוצאה מהפקה בלבד שווה לכ- 20-40% מסך הפליטה השנתית של גזי החממה בישראל היום (בהנחת חימום על ידי גז טבעי, שהוא אחד מתוצרי ההפקה, וללא חישובי שינוע).

ג. דרושים כ-300 קידוחים תת קרקעיים אופקיים, כל אחד מהם לאורך של כ-5 ק"מ, בכל שנה (למשך 30 שנות החזקה). כמות החומר המוצאת שווה לכ- 300 מ"ק ליום.

בחלקו הראשון של המסמך מתואר באופן כללי מתקן הפקה מלא. בפרק השני מובאים הנתונים ותוצאות החישובים. החלק השלישי עוסק באותן השלכות סביבתיות הנובעות ישירות מתוצאות החישובים. ייתכנו השלכות סביבתיות נוספות, שאליהן אין התייחסות במסמך זה. בסיום, כנספחים, מתוארים החישובים המפורטים והמקורות שעליהם התבססנו.

## 1. מתקן הפקה מסחרית

באזור חבל עדולם קיימת שכבה ביטומנית (פצלי שמן) בעובי של עד כ- 200 מ' ובעומק של בערך 300 מ'. הפקת הדלק מתוכננת להתבצע בשיטה הקרויה "In situ". שיטה זו נוסתה במספר מקומות ותצורות בעולם אך אין כיום מקום שבו היא משמשת להפקה מסחרית. בשיטה זו מוחדרים גופי חימום לתוך שכבת פצלי השמן. גופי החימום מחממים את השכבה לטמפרטורה של כ- 350 מעלות צלזיוס. כתוצאה מהחימום מתאדה הדלק הגולמי ה"ספוגי" בשכבה וכך ניתן לשאוב אותו בצורה גזית. לאחר השאיבה מעבים את הגז בחזרה לנוזל על פני הקרקע. כשני שלישים מהדלק המתקבל בתהליך הם דלק נוזלי הקרוב באיכותו לדיזל והשליש הנוסף הוא גז טבעי [1].

כדי להחדיר את גופי החימום לשכבת הפצלים מתכננת חברת IEI להשתמש בטכנולוגיה של קידוחים אופקיים (Directional Drilling). קידוח בשיטה זו מתחיל בקידוח אנכי עד השכבה וממשיך בכיוון אופקי בתוך השכבה לאורך 2.5 ק"מ לכל כיוון (סה"כ אורך של 5 ק"מ). השימוש בשיטה זו מצמצם את השטח הדרוש לקידוחים על פני הקרקע. קידוחים אופקיים לעומקים כאלו ולמרחקים כאלו לא בוצעו עדיין בישראל ואין כיום בארץ ציוד לביצועם.

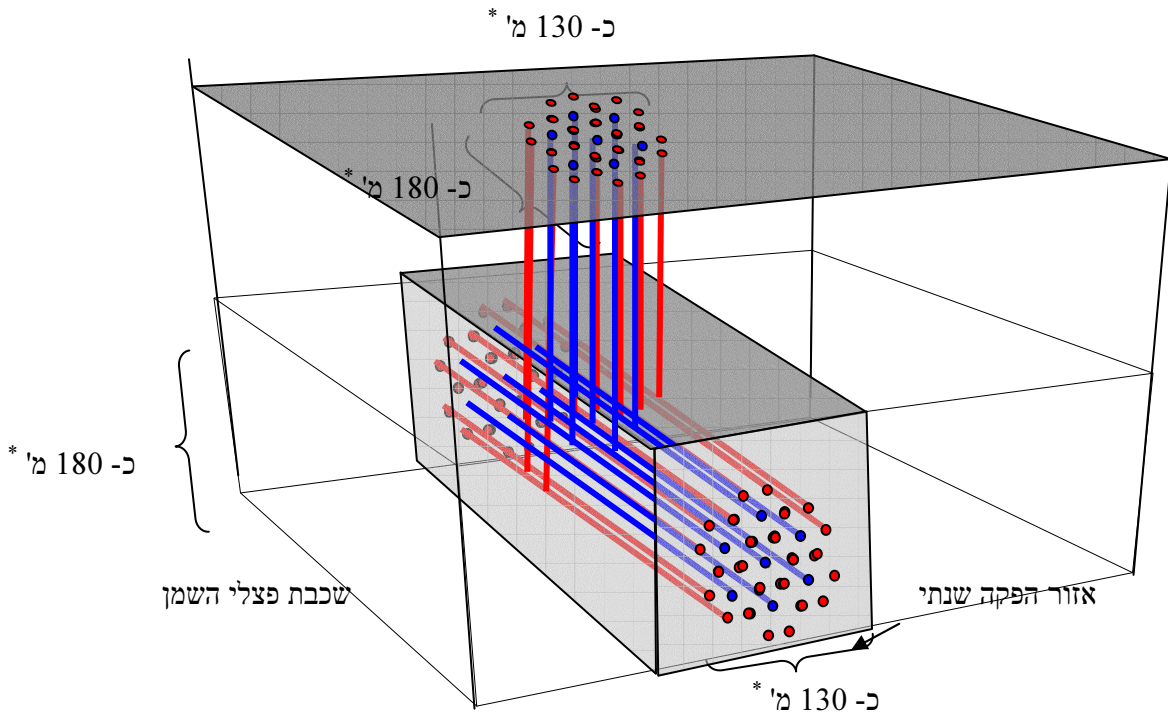
חימום נפח השכבה הדרוש להפקה יתבצע על ידי החדרת מספר רב של גופי חימום אופקיים ערוכים במבנה רוחבי של משושים סמוכים. אורך כל צלע במשושים מתוכנן להיות 10 מ' לפחות. בכל אחד מקודקודי המשושה יוחדר גוף חימום ובמרכז כל משושה (או לפחות בחלק נכבד מהמשושים) יהיה קידוח לשאיבה ועיבוי (ראו איורים 1 ו- 2).

על פי נתוני IEI השטח התת-קרקעי בשכבת פצלי השמן הדרוש להפקה מסחרית לצורך הספקה של כ-300,000 חביות ליום במשך 30 שנה הוא כ-20 קמ"ר. כמו כן, כאמור, נטען שהקידוחים האופקיים יהיו לאורך כולל של כ-5 ק"מ. על סמך נתוני עושר השכבה הביטומנית (בדלק) ועל סמך המבנה הגיאומטרי של הקדחים, ניתן להעריך שכדי לספק את צרכי מדינת ישראל על חברת

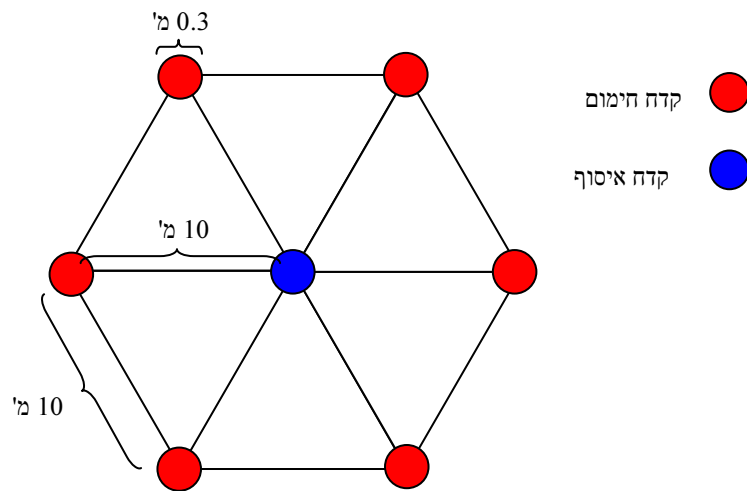
IEI לבצע כ-300 קידוחים (כ-96 משושים) כפי שתוארו לעיל בכל שנת הפקה. פירוט החישוב מוצג בנספח ב'.

מהאמור נובע שעל המיתקן לאפשר לפחות:

- א. יכולת חימום
- ב. קידוח רציף
- ג. סילוק שפוכת
- ד. איסוף ושינוע דלקים



איור 1: סכימה של קידוחי ההפקה המסחרית במעבה האדמה (בסכימה מופיעים 31 קידוחים בלבד)



איור 2: סכימה של מבנה משושה לחימום והפקה

\* הערכה על סמך חישובים

## 2. חישובים

כדי להעריך את גודלו והיקפו של פרויקט ההפקה המסחרית בוצעו מספר חישובים המבוססים בעיקר על נתוני חברת IEI ומעט נתונים ממקורות אחרים. החישובים בוצעו בשתי גישות: בגישה הראשונה חושבה סך האנרגיה הדרושה כדי לחמם את נפח השכבה הביטומנית הדרוש להפקה מסחרית, עד לטמפרטורת ההפקה. צורת חישוב זו אמורה לספק את החסם התחתון לצריכת אנרגיית הפקה שכן מניחים 100% יעילות חימום בשכבה מבודדת. בפועל, יעילות תהליכי ייצור והעברת החום אינה 100%, לכן מתקבלת על הדעת צריכת אנרגיה כפולה או משולשת. חלוקת האנרגיה למשך זמן ההפקה מתארת את ההספק הדרוש. בגישה השנייה נלקחו נתוני הספק החימום בפיילוט של חברת IEI והושלכו על הנפח הדרוש להפקה המסחרית (מטעמי עושר הדלק בשכבה). חישובים אלו הביאו לתוצאות נמוכות ממה שאמור להיות הגבול התחתון שחושב בגישה הראשונה. בשיחה עם מנכ"ל IEI הובהר כי הספק החימום ליחידת אורך מוגבל מחשש שהטמפרטורה סמוך לגופי החימום תהיה גבוהה מידי. כלומר - יידרש זמן רב יותר לחימום (כ-2.5-3 שנים), ולכן יהיה צורך לחמם במקביל נפח גדול יותר כדי לעמוד בקצב ההפקה הדרוש. המשמעות היא שאת התוצאה המתקבלת בחישוב זה יש להכפיל פי 3 – 2.5 כדי להעריך את הספק החימום הדרוש לקצב ההפקה המדובר. לבסוף, הושוו התוצאות להערכות שפורסמו ע"י RAND בדוח מקיף שבתן את נושא הפקת הנפט מפצלי שמן בארצות הברית והוגש למשרד האנרגיה שם.

### 2.1 נתונים

מקור	יחידות	ערך	נתון
1	barrel/Day	300,000	קצב הפקה
2	litter	159	נפח חבית
1	Liter/Ton	80	עושר השכבה
3	Joule	6,100,000,000	אנרגיית חבית אחת
4,5	J/(kg K) // cal/(g C)	1,020 // 0.25	חום סגולי של השכבה
1	°C	350	טמפרטורת חימום השכבה
1	W/m	1,000	הספק חימום ליחידת אורך (בפיילוט)
1	m	5,000	אורך גוף חימום אחד
6	m <sup>2</sup>	260	שטח משושה יחיד (אורך צלע = 10 מטר)
1	g/cm <sup>3</sup>	1.8	יחס משקל לנפח בשכבת ההפקה
1	km <sup>2</sup>	20	שטח שיכבה ביטומנית הדרוש להפקה למשך 30 שנה
1	inch	12	קוטר חור קידוח יחיד

## 2.2 תוצאות

א. חישוב משיקולי אנרגיה (חישוב מינימליסטי - 100% יעילות חימום)

יחידות	ערך	פרמטר מחושב
barrel	109,500,000	כמות חביות בשנה
Ton	217,631,250	משקל החומר הדרוש לשנת הפקה
Joule	77,694,356,250,000,000	אנרגיה הדרושה לחימום כמות החומר הדרוש לשנת הפקה
Giga-Watt	2.4	הספק חימום נדרש
Joule	679,128,547	אנרגיה הדרושה להפקת חבית
	0.118	יחס אנרגיית הפקת חבית לאנרגיית חבית

ב. חישוב משיקולי הספק – לפי אקסטרפולציה מנתוני הפיילוט

יחידות	ערך	פרמטר מחושב
m <sup>3</sup>	1,300,000	נפח "משושה" יחיד בהפקה מסחרית
Ton/m <sup>3</sup>	1.80	יחס משקל לנפח בשכבת ההפקה
m <sup>3</sup>	120,906,250	נפח שיכבה הדרוש לשנת הפקה
km <sup>2</sup>	0.667	שטח שיכבה ביטומנית הדרוש להפקה למשך 1 שנה
m	181	עובי השיכבה הביטומנית הנדרש
m	133	רוחב השיכבה הביטומנית הנדרש לשנת הפקה
	93	מספר משושים הדרוש למילוי נפח שנת הפקה
	210	מספר גופי חימום דרוש לחימום נפח שנת הפקה (על פי מערך של 9x10 משושים)
Giga-Watt	1.05**	הספק חימום
Joule	302,400,000	אנרגיה הדרושה להפקת חבית
	0.050	יחס אנרגיית הפקת חבית לאנרגיית חבית

\*\* בפועל צריך לכפול ב-2.5-3 כפי שהוסבר לעיל

ג. חישוב על סמך נתוני RAND [7]

יחידות	ערך	פרמטר מחושב
kWh	300	אנרגיית חימום להפקת חבית
Joule	1,080,000,000	אנרגייה הדרושה להפקת חבית
GigaWatt	3.75	הספק להפקה מסחרית
	0.177	יחס אנרגיית הפקת חבית לאנרגיית חבית

השוואה בין החישובים השונים מצביעה על כמה נקודות חשובות :

א. הספק החימום התת-קרקעי הדרוש להפקה מסחרית יעלה על 2.5 GW ויתכן מאוד שיתקרב לכ- 4 GW. נתונים אלו אינם לוקחים בחשבון את יעילות החימום (שיכבה לא מבודדת) ואת יעילות הפיכת מקור האנרגיה (למשל גז טבעי) לחום במעבה הקרקע. לדוגמה, אילו היו משתמשים בגופי חימום חשמליים אזי היעילות המקסימאלית תהיה כ-52% שכן יעילות הפיכת אנרגיית הגז לחשמל יכולה להגיע עד כ- 55% לפי נתוני חברת החשמל [8] וויקיפדיה [9], ויעילות הפיכת החשמל לחום היא כ- 95% [10].

בתנאים אלו ההספק החשמלי שיידרש לחימום הקרקע בהפקה מסחרית יהיה בערך כפול מהמספרים שמופיעים בטבלאות. בנוסף, חשוב להדגיש שוב שצריכת אנרגיה תפעולית לא נלקחה בחשבון. לפיכך, לקבלת תמונה מדויקת יותר יש להוסיף את האנרגיה הדרושה לקידוחים, שאיבה, שינוע וכיוצא בזה. לשם השוואה, תפוקת כל תחנות הכוח של חברת החשמל ביחד היא 11 GW לערך. כלומר להפקת 300,000 חביות ביום יידרש מתקן לייצור אנרגיה בהיקף של בין שליש למחצית מכושר ייצור האנרגיה של מדינת ישראל.

ב. בטבלה ב' (חישוב משיקולי הספק) ניתן לראות שסך כל הקידוחים הנדרשים לשנת הפקה עומד על כ-300. חישוב הנפח הכולל של הקדחים שווה לכמות השפוכת המוצאת ממעבה האדמה במשך שנה ומסתכם לכמות של כ-300 מ"ק שפוכת (כ- 20 משאיות) בכל יום.

### **3. גורמים בעלי השפעה סביבתית**

בחינת הנתונים ותוצאות החישובים כפי שהוצגו לעיל מעלה מספר נקודות שעשויות להיות בעלות השלכה סביבתית ניכרת. נקודות אלו מוצגות להלן :

#### **א. הקמת מתקן להספקת אנרגיה**

כאמור, שיטת ההפקה שאותה מתכננת חברת IEI ליישם דורשת השקעת אנרגיה רבה. על פי חברת IEI [1] בכוונתם להשתמש בגז הטבעי המשתחרר תוך כדי הפקת הדלקים הנוזליים (30% לערך מסך הדלקים הנו גז) כדלק לחימום התת-קרקעי. בנוסף, לפחות בתחילת התהליך, נדרשת אנרגיה ממקורות אחרים (למשל חברת החשמל). סביר להניח שחברת IEI תהיה מעוניינת להקים

את מתקן הספקת האנרגיה קרוב ככל האפשר לאזור ההפקה כדי לחסוך בעלויות שינוע והקמת תשתיות מתאימות. כמו כן, דרישה זו תתחזק אם בכוונת החברה להשתמש בשיטות חימום שאינן חשמליות כדי ליעל את התהליך.

כדי לקבל קנה מידה לגודלו של מיתקן כזה אפשר להניח שממדיו יהיו גדולים מאלו של תחנת הכוח "רוטנברג" באשקלון או "אורות רבין" בחדרה (תחנות אלו מספקות כ- 2.6 GW) [11,12].

#### **ב. פליטת גזי חממה**

כדי לספק את האנרגיה הדרושה להפקה, ובהנחה שלא יעשה שימוש באנרגיות מתחדשות, יהיה צורך בשרפת דלקים. מכיוון שחלק מתוצרי ההפקה הם גזים טבעיים, סביר להניח שאלו יהוו את עיקר מקורות האנרגיה. למרות שגז טבעי נחשב למקור האנרגיה ה"נקי" ביותר ביחס לדלקים פוסילים אחרים, פליטת CO<sub>2</sub> כתוצאה מהבעירה היא תהליך אינהרנטי ובלתי נמנע. על סמך החישובים המינימליסטיים לצריכת אנרגיה להפקה מסחרית ובהתחשב באנרגיית הבעירה של גז טבעי ניתן לחשב את הגבול התחתון לפליטת CO<sub>2</sub> כדי לספק את האנרגיה לתהליך הבעירה. חישוב זה מוביל לכ-15,000,000 טון לשנה (ראו נספח ה' לפרטים). כמות זו שווה בערך ל-20% מכלל פליטת גזי החממה בישראל. מספרים ריאליים (ללא הנחת 100% יעילות המרת גז לחום במעבה הקרקע) יכולים להיות כפולים ויותר מאלו המוצגים כאן.

#### **ג. תהליכים נלווים לקידוחים מתמשכים לאורך זמן**

תוצאות החישובים כפי שהוצגו לעיל מראות שלצורך ההפקה המסחרית יהיה למעשה תהליך קידוח רציף רחב היקף לאורך עשרות שנים. תהליך כזה מעלה בעיות הקשורות באבק, תשתיות ואנרגיה העשויים להיות בהיקפים נרחבים ובעלי משמעות סביבתית/אנרגטית רבה. בנוסף, נושאים הקשורים בסילוק ושינוע השפוכת הרבה ו/או שימושים משניים חייבים להילקח בחשבון בבחינת התמונה הכללית. מעבר לאמור, השלכות שינוי מבנה הסלע בתת הקרקע הן בשל הוצאת החומרים הקרוגניים והן בשל הקידוחים הרבים חייבות להיבדק.

#### **ד. תהליכים ארוכי טווח**

בשל הולכת החום הנמוכה של השכבות באזור ההפקה, כמות חום גדולה תישאר אגורה במעבה האדמה זמן רב לאחר סיום תהליך ההפקה בכל אזור ואזור. למרות שכנראה לא צפוי חימום משמעותי באזורים מרוחקים מגופי החימום (כמה עשרות מטרים), נראה כי תהליכים איטיים תלויי חום באזור ההפקה יימשכו לאחר שהאזור ימצא עצמו מבחינה כלכלית, בתוך תקופת החזקה וגם שנים ארוכות לאחר שתסתיים. השפעת תהליכים אלו על הסביבה חייבת להיבחן. כך, לדוגמה, ייתכן שחימום לאורך זמן ממושך כל כך יגרום לסידוק בקרקע וכתוצאה מכך לזיהום האקוויפר הנמצא מתחת לשכבת פצלי השמן. בפרסומים של חברת Shell, לדוגמה, על שיטת ההפקה המוצעת, מופיע שלב של שיקום תת-הקרקע אחרי סיום הפקת הדלקים. אנו לא ראינו התייחסות לסוגיה זו בנוגע לפעילותה של חברת IEI בארץ.

## סיכום

שיטת IN SITU להפקת נפט מפצלי שמן על ידי חימום תת-קרקעי בהיקף שעתיד לספק את כלל צריכת הנפט של מדינת ישראל כרוכה בהשקעת אנרגיה רבה ובפליטה של גזי חממה. החישובים המפורטים בדוח זה מצביעים על הנקודות הבאות:

1. הפקה מסחרית תדרוש הספק של כ-3-5 Giga-Watt: מתקן להפקת אנרגיה בהיקף כזה הוא בסדר גודל של פי שניים לערך מההספק של תחנות הכוח הגדולות בישראל.

2. פליטת גזי החממה בתהליך צפויה להיות בכמות של 20-40% מסך פליטת גזי החממה בישראל היום.

3. יידרשו כ-300 קידוחים תת-קרקעיים למרחק 5 ק"מ כל אחד, בכל שנת הפקה. כמות החומר המוצאת שווה ל-300 מ"ק ליום בערך: תוכנית זו מצריכה אנרגיה, מיכון ותשתיות לקידוחים ופינוי שפוכת באופן רציף לאורך עשרות שנים.

לתהליך עשויות להיות השלכות נוספות לטווח קצר וארוך, בסדרי גודל מקומיים ולאומיים. השלכות של שינוי מבנה הסלע בתת-הקרקע הן בגלל הוצאת החומרים הקרוגניים והן בשל הקידוחים הרבים חייבות להיבדק. כמו כן, נראה שתהליכים איטיים תלויי חום באזור ההפקה יימשכו למשך שנים ארוכות, גם לאחר שהאזור ימצה את עצמו מבחינה כלכלית. השפעת תהליכים אלו על הסביבה (לדוגמה: זיהום האקוויפר עקב סידוק הקרקע) חייבות להבחן, ויש צורך בהתייחסות לשיקום תת-הקרקע בסיום תהליך ההפקה.

בשל מורכבות הנושא וההשלכות שעלולות להיות מרחיקות לכת במגוון רחב של תחומים, אנו סבורים שטרם מתן אישור לחברת IEI לבצע כל פעולה בשטח, יש לבחון בקפידה ובאופן בלתי תלוי בחברה את כל הנתונים ואת השלכותיו האפשריות של תהליך ההפקה, כולל השלכות שלא פורטו במסמך הנוכחי, קצרות וארוכות טווח: "סוף מעשה במחשבה תחילה".

#### 4. נספחים

##### א. יחידות וסימונים

liter	<i>l</i>
calorie	cal
gram	g
degree Centigrade	degC
kilogram	kg
degree Kelvin	degK
Joule	J
watt	W
meter	m
kilometer	km
watt hour	Wh
kilowatt	kWh
feet	ft
British thermal unit	BTU

**ב. נוסחאות חישוב הנתונים בטבלה א'**

נוסחא	סימונים	ערך
$Pr \times 360$ [Day]	קצב הפקה [barrel/Day] Pr =	כמות חביות בשנה [barrel]
$By \times BV / Lr$	כמות חביות בשנה [barrel] By = נפח חבית [l/ barrel] BV = (עושר השכבה [l/Ton] Lr =)	משקל החומר הדרוש לשנת הפקה [Ton]
$Ehy/(365[Day] \times Pr)$	כמות החום הדרוש לחמום החומר הדרוש לשנת הפקה Ehy = [J] קצב הפקה [barrel/Day] Pr =	אנרגיה הדרושה לחימום כמות החומר הדרוש לשנת הפקה [J]
$Ehy/(365 [Day] \times 86400$ [sec])	כמות החום הדרוש לחמום החומר הדרוש לשנת הפקה Ehy = [J] קצב הפקה [barrel/Day] Pr =	הספק חימום נדרש

**ג. נוסחאות חישוב הנתונים בטבלה ב'**

נוסחא	סימונים	ערך
$A \times L$	שטח משושה יחיד $A = [m^2]$ אורך גוף חימום $L = [m]$	נפח "משושה" יחיד בהפקה מסחרית $[m^3]$
$Mat / a$	משקל החומר הדרוש לשנת הפקה Mat = [Ton] יחסי משקל/נפח בשכבת הפקה $a = [Ton/m^3]$	נפח שיכבה הדרוש לשנת הפקה $[m^3]$
$Ap / (30 [Year])$	שטח שיכבה ביטומנית הדרוש להפקה למשך 30 שנה $Ap = [km^2]$	שטח שיכבה ביטומנית הדרוש להפקה למשך 1 שנה $[km^2]$
$Vpy / (Apy [(1000)^2])$	נפח שיכבה הדרוש לשנת הפקה $Vpy = [m^3]$ שטח שיכבה ביטומנית הדרוש להפקה למשך 1 שנה $Apy = [km^2]$	עובי שיכבה ביטומנית הנדרש $[m]$
$Vpy/(L \times D)$	נפח שיכבה הדרוש לשנת הפקה $Vpy = [m^3]$ אורך גוף חימום $L = [m]$ עובי שיכבה ביטומנית הנדרש $D = [m]$	רוחב שיכבה ביטומנית הנדרש לשנת הפקה $[m]$
$Vpy / Hv$	נפח שיכבה הדרוש לשנת הפקה $Vpy = [m^3]$ נפח "משושה" יחיד בהפקה מסחרית $Hv = [m^3]$	מספר משושים דרוש למילוי נפח שנת הפקה
$(2m+1)(n+1)$	על פי סידור של 10 שכבות משושים בנות 9 משושים בכל שיכבה: מספר משושים בשיכבה = n מספר שכבות = m	מספר גופי חימום דרוש לחימום נפח שנת הפקה
$Hn \times L \times Hpr$	מספר גופי חימום דרוש לחימום נפח שנת הפקה $Hn =$ אורך גוף חימום $L = [m]$ הספק חימום ליחידת אורך $Hpr = [W/m]$	הספק חימום [GW]
$HP \times (24 \times 60 \times 60 \text{ sec}) / Pr$	הספק חימום [GW] HP = מספר חביות ביום Pr =	אנרגיה הדרושה להפקת חבית [J]

**ד. נוסחאות חישוב הנתונים בטבלה ג'**

נוסחא	סימונים	ערך
$E_{wh} \times 3600 \times 1000$	$E_{wh} = [kWh]$	אנרגיה הדרושה להפקת חבית [J]
$E \times Pr / (24 \times 60 \times 60)$	$E = [J]$ $Pr = [barrel/Day]$	הספק להפקה מסחרית [GW]

**ה. חישוב מינימום לפליטת CO<sub>2</sub>**

החישוב מתייחס לכמות הגז הטבעי הדרושה לספק את אנרגיית החום להפקה של כמות שנתית אחת בהנחה של 100% יעילות העברת האנרגיה מהגז לשכבה הביטומנית.

מקור	יחידות	כמות	ערך
[13]	$kg/10^6 m^3$	1,920,000	פליטת CO <sub>2</sub> משריפת גז טבעי
[14]	Ton	77,000,000	פליטה שנתית של גזי חממה בישראל (בשנת 2007)
[15]	BTU/ft <sup>3</sup>	1,028	ערך אנרגטי של גז טבעי
[16]	Joule/BTU	1,060	יחס BTU ל Joule
	ft <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	9	יחס m <sup>3</sup> ל ft <sup>3</sup>
	Joule/m <sup>3</sup>	9,807,120	ערך אנרגטי של גז טבעי
	m <sup>3</sup>	7,582,712,960	נפח גז דרוש לחימום שכבת ההפקה
	Ton	14,558,809	פליטת CO <sub>2</sub> בהפקה של כמות שנתית אחת

[1] סיכום פגישת תושבים עם מנכ"ל החברה

[http://www.g-y.org.il/image/users/120578/ftp/my\\_files/%D7%A4%D7%99%D7%A6%D7%9C%D7%99%20%D7%A9%D7%9E%D7%9F.doc?id=3274585](http://www.g-y.org.il/image/users/120578/ftp/my_files/%D7%A4%D7%99%D7%A6%D7%9C%D7%99%20%D7%A9%D7%9E%D7%9F.doc?id=3274585)

[2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Barrel\\_of\\_oil\\_equivalent](http://en.wikipedia.org/wiki/Barrel_of_oil_equivalent)

[3] [http://en.wikipedia.org/wiki/Barrel\\_of\\_oil\\_equivalent](http://en.wikipedia.org/wiki/Barrel_of_oil_equivalent)

[4] Donald B. Jones, Krishnan Rajeshwar, and Joel B. DuBow, "Specific Heats of Colorado Oil Shales. A Differential Scanning Calorimetry Study", Ind .Eng. Chem. Prod. Res. Dev., 19, 125-128, 1980.

[5] Zhenglu Pan, H. Y. FENG and J. M. SMITH, "Rates of Pyrolysis of Colorado Oil Shale ", AIChE Journal, 31(5), 721, 1985.

[6] <http://en.wikipedia.org/wiki/Hexagon>

[7] James T. Bartis, Tom LaTourrette, Lloyd Dixon, D.J. Peterson and Gary Cecchine, "Oil Shale Development in the United States: Prospects and Policy Issues". www.rand.org, pp 20.

[8] <http://www.iec.co.il/Static/WorkFolder/ComEnv/hagit.pdf>

[10] [http://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_conversion\\_efficiency](http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_conversion_efficiency)

[11]

[http://he.wikipedia.org/wiki/%D7%AA%D7%97%D7%A0%D7%AA\\_%D7%94%D7%9B%D7%95%D7%97\\_%D7%A8%D7%95%D7%98%D7%A0%D7%91%D7%A8%D7%92](http://he.wikipedia.org/wiki/%D7%AA%D7%97%D7%A0%D7%AA_%D7%94%D7%9B%D7%95%D7%97_%D7%A8%D7%95%D7%98%D7%A0%D7%91%D7%A8%D7%92)

[12]

[http://he.wikipedia.org/wiki/%D7%90%D7%95%D7%A8%D7%95%D7%AA\\_%D7%A8%D7%91%D7%99%D7%9F](http://he.wikipedia.org/wiki/%D7%90%D7%95%D7%A8%D7%95%D7%AA_%D7%A8%D7%91%D7%99%D7%9F)

[13] <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/final/c01s04.pdf>

[14] [http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/ModulKvatzim/plitot-gaze-hamama1209\\_1.pdf](http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/ModulKvatzim/plitot-gaze-hamama1209_1.pdf)

[15] [http://en.wikipedia.org/wiki/Natural\\_gas](http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas)

[16] <http://en.wikipedia.org/wiki/BTU>