

גז טבעי

עורכים מקצועיים:
משה רבייב, קרן גול

תוכן עניינים ועמודים לדוגמה
מתוך הספר



גז טבעי

עורכים מקצועיים:
משה רבייב, קרן גול



תוכן עניינים מקוצר

1	מבוא	1
5	גיאולוגיה של מאגרי גז טבעי ונפט	2
31	מאגרי גז טבעי ועקרונות תהליכי קידוח	3
53	הנדסה וטכנולוגיה להפקת גז טבעי בים	4
95	תהליכי טיפול והפרדה על האסדה	5
111	הובלה ואחסון של גז טבעי	6
119	גז טבעי - תכונות, משמעויות, מדידות וחישובים (Downstream)	7
191	הולכת גז טבעי בלחץ גבוה	8
213	הפקת אנרגיה וחשמל מגז טבעי	9
237	גז טבעי דחוס (CNG) וגז טבעי מונזל (LNG)	10
261	גז טבעי כחומר גלם לתעשייה הכימית	11
301	הסבת מפעלים לגז טבעי	12
333	בטיחות במערכות גז טבעי	13
367	קורוזיה במערכות גז טבעי	14
429	הגנה קתודית	15
445	רגולציה בתחום הגנת הסביבה	16
479	עקרונות הרגולציה בתחום הגז הטבעי בישראל	17
495	אינדקס	

תוכן עניינים

1	מבוא	1
5	גיאולוגיה של מאגרי גז טבעי ונפט	2
6	2.1 המערכת הפחמימנית	2.1
7	2.1.1 שכבת המאגר	2.1.1
9	2.1.2 סלע אוטם	2.1.2
10	2.1.3 מלכודת	2.1.3
11	2.1.4 סלע מקור, הבשלה ונדידה	2.1.4
14	2.2 המערכת הפחמימנית בפעולה	2.2
14	2.2.1 המערכת הפחמימנית - התמונה ה"סטטית"	2.2.1
14	2.2.2 המערכת הפחמימנית - הכדור מתחיל להתגלגל	2.2.2
17	2.3 מאגרים קונבנציונליים ולא קונבנציונליים	2.3
17	2.4 מחזור החיים של מאגר	2.4
19	2.4.1 אקספלורציה	2.4.1
24	2.4.2 הערכה ופיתוח	2.4.2
28	2.4.3 הפקה	2.4.3
29	2.4.4 נטישת המאגר	2.4.4
30	2.5 סיכום	2.5
31	3. מאגרי גז טבעי ועקרונות תהליכי קידוח	3
31	3.1 הנדסת מאגרים ותכונות של מאגרי נפט וגז	3.1
31	3.1.1 נקבוביות (Porosity)	3.1.1
33	3.1.2 חדירות (Permeability)	3.1.2
33	3.1.3 מדידות	3.1.3
34	3.1.4 רוויה (Saturation)	3.1.4
35	3.1.5 לחץ נימים (Capillary Pressure)	3.1.5
35	3.1.6 לחץ במאגר	3.1.6
36	3.1.7 עובי שכבת המאגר	3.1.7
36	3.1.8 משטרי זרימה	3.1.8
39	3.1.9 אנרגיית אקוויפר (Water Drive)	3.1.9
40	3.2 קידוחי גז בים וביבשה	3.2
43	3.3 קידוח יבשתי	3.3
44	3.3.1 גלגלת וגלגלת נעה (Crown & Travelling Block)	3.3.1
45	3.3.2 מגדל קידוח (Derrick)	3.3.2

45.....	התקן סיבוב (Swivel)	3.3.3
45.....	מתקן קלי (Kelly drive)	3.3.4
45.....	לוח מסתובב (Rotary Table)	3.3.5
46.....	כננת (Draw Work)	3.3.6
46.....	צינורות קידוח וצינורות דיפון (Casing)	3.3.7
47.....	מתקן מונע התפרצויות - BOP	3.3.8
47.....	מבנה הקידוח	3.4
48.....	מערכות קידוח	3.5
48.....	מערכת בוץ	3.5.1
50.....	מילוט (Cementing)	3.5.2
51.....	ביבליוגרפיה	
53.....	4. הנדסה וטכנולוגיה להפקת גז טבעי בים	
53.....	הקדמה	4.1
54.....	הפקת גז ונפט משלב הקידוח הימי ועד להולכה ימית	4.2
	4.2.1 חיפושים והפקה (Upstream), הולכה, זיקוק ושיווק	
54.....	(Downstream)	
54.....	מחזור החיים של שדה גז / נפט ימי בפיתוח	4.2.2
57.....	תהליך הפרדה של גז/נפט בים	4.2.3
59.....	הפקת גז משלב הקידוחים ועד להולכה הימית	4.2.4
60.....	שימוש באסדות וכלי שיט וטכנולוגיית קידוחים בים	4.3
60.....	4.3.1 אניות לקידוח ימי (Drill Ship)	
62...	4.3.2 כלי שיט חצי-משוקעים לקידוח (Semi-Submersible Vessels)	
63.....	4.3.3 אסדה מתגבהת לקידוח (Jack-Up Platform)	
64.....	4.3.4 דוברות לקידוח בביצות (Drill Swamp Barge)	
65.....	4.4 טכנולוגיות והנדסה לקידוח ימי	
65.....	4.4.1 תכנית הקידוח הימי	
65.....	4.4.2 תכנון עבודות הקידוח	
65.....	4.4.3 תכנון הבאר	
67.....	4.4.4 מערכות קידוח והציוד הנכלל בהן	
68.....	4.4.5 הזרמת בוץ קידוח	
69.....	4.4.6 תפקידי מערכת ויסות הלחצים - BOP (Blow Out Preventer)	
71.....	4.4.7 עומק הקידוח וההפקה במים עמוקים	
72.....	4.4.8 רדיוס השפעה של הקידוח הימי	
73.....	4.5 פיתוח שדות הפקה בים	

73.....	פיתוח שדות גז מרוחקים מהחוף ובמים עמוקים	4.5.1
75.....	צינורות הזנה גמישים והפקה תת-ימית	4.5.2
76.....	שימוש באסדות צפות להפקה וטיפול בים	4.5.3
	פיתוח שדה הפקה במים עמוקים וקישור למתקני טיפול ממוקמים	4.5.4
80.....	במים רדודים	
82.....	מתקנים תת-ימיים להפקה של גז במים עמוקים - Subsea facilities	4.6
83.....	שיטות להנחה/הטמנה של צינורות ימיים	4.7
83.....	עקרונות תכנון לצנרת תת-ימית	4.7.1
85.....	דוברה ואנייה להנחת צינורות	4.7.2
87.....	טכנולוגיות לכיסוי ולהטמנה של צנרת תת-ימית	4.7.3
91.....	ביבליוגרפיה	
95.....	5. תהליכי טיפול והפרדה על האסדה	
95.....	טיפול בגז ונפט בים	5.1
95.....	תיאור המתקנים במערכת הטיפול בים	5.2
95.....	ראשי באר על קרקעית הים (Wellheads)	5.2.1
95.....	צינור הזנה לאסדת הטיפול בגז בים (Riser)	5.2.2
97.....	מתקן ללכידת נוזלים (Slug Catcher)	5.3
98.....	סיפון מיועד למתקני הטיפול בגז (Gas Processing Area)	5.3.1
98.....	מתקן הפרדה (Separator)	5.3.2
99.....	מתקן לייבוש הגז באמצעות גליקול (Glycol Contacting Tower)	5.3.3
100.....	לפיד - מתקן מגדל הלהבה (Flare)	5.3.4
100.....	טורבינות גז (Power Generation Turbine)	5.4
102.....	הפרדת נוזלים ושינוע הגז בים	5.5
102.....	תהליכי ייבוש והפרדה	5.5.1
104.....	תיאור גנרי של שרשרת הטיפול בגז	5.6
106.....	נוזלים המופרדים בתהליך הטיפול	5.6.1
106.....	מונעי קפוא ומחזורם (Antifreeze Coolant)	5.6.2
107.....	מי מוצר (Produced Water)	5.6.3
108.....	ביבליוגרפיה	
111.....	6. הובלה ואחסון של גז טבעי	
111.....	מאפיינים כלליים של תעשיית אחסון הגז הטבעי	6.1
116.....	רגולציה על מערכות אחסון גז טבעי	6.2
117.....	מוצרי אחסון להתקשרות ואספקה	6.3
117.....	קביעת המחיר	6.4

118.....	ביבליוגרפיה	
119.....	7. גז טבעי - תכונות, משמעות, מדידות וחישובים (Downstream)	
119.....	7.1 מבוא	
121.....	7.2 הרכב גז טבעי	
124.....	7.2.1 מדידת הרכב של גז טבעי	
126.....	7.2.2 מפרטי איכות	
129.....	7.3 תכונות ומשמעותן	
129.....	7.3.1 דליקות	
132.....	7.3.2 ריח והבאשה	
133.....	7.3.3 מסה מולרית של גז טבעי	
133.....	7.3.4 גורם דחיסות (Z)	
137.....	7.3.5 ערך קלורי (ע"ק)	
143.....	7.3.6 חלופיות ואינדקס Wobbe	
152.....	7.3.7 מקדם צמיגות דינמית (μ)	
154.....	7.3.8 מספר מתאן	
155.....	7.3.9 נקודת הטל המימית	
158.....	7.3.10 נקודת הטל הפחמימנית	
163.....	7.3.11 פונקציות תרמו-דינמיות שנגזרות ממשוואת המצב	
165.....	7.3.12 הדגשי איכות של גז טבעי דחוס (CNG) המשמש כדלק לתחבורה	
167.....	7.3.13 דגימת גז טבעי לאבטחת אנליזה מדויקת	
167.....	7.4 מדידות כמות גז טבעי	
167.....	7.4.1 חישוב כמויות של גז טבעי לצרכים מסחריים	
169.....	7.4.2 מערכות מדידה לגז טבעי	
178.....	נספח א': שלבי הכנת דיאגרמת Dutton	
178.....	1.א הצגת הרכב הגז בשני פרמטרים	
178.....	2.א הצגת ההרכב האקוויוולנטי על מערכת צירים משולשת	
179.....	3.א רוטציה של מערכת הצירים ומתיחתה לקבלת דיאגרמת Dutton	
	4.א עריכת ניסויים בציוד קיים ובתערובות גזים מגוונות,	
180.....	ואפיון אינדקסים לתופעות השליליות	
181.....	נספח ב': נוסחאות של מדדי חלופיות על פי Weaver	
183.....	נספח ג': הדגמת חישוב מספר מתאן	
185.....	ביבליוגרפיה	
191.....	8. הולכת גז טבעי בלחץ גבוה	
191.....	8.1 הקדמה	

194.....	מתקני מערכת ההולכה	8.2
194.....	8.2.1 המצופ הימי לקליטת גז מאניות LNG	
195.....	8.2.2 צנרת	
195.....	8.2.3 תחנת PRMS	
204.....	8.2.4 תחנות הגפה	
204.....	8.3 מערכת הבקרה - מבנה ועיקרון פעולה	
205.....	8.3.1 בקרה מקומית	
206.....	8.3.2 בקרה מרכזית מרחוק - חדר הבקרה המרכזי	
209.....	8.4 תחזוקת מתקני הגז	
210.....	מושגים	
211.....	הגדרות וביבליוגרפיה	
213.....	9. הפקת אנרגיה וחשמל מגז טבעי	
213.....	9.1 הקדמה	
213.....	9.2 הסיבות להסבת יחידות הייצור לשריפת גז טבעי	
214.....	9.3 טיפול בגז לפני הזרמתו לשריפה	
216.....	9.4 טיפול בגז טבעי והכנתו לשריפה ביחידות ייצור	
218.....	9.5 עקרונות של טכנולוגיות שריפת גז טבעי בטורבינות גז	
221.....	9.6 טכנולוגיית שריפת גז טבעי ביחידות קיטוריות	
221.....	9.7 גזי פליטה בשריפת גז טבעי והקטנת איבודי אנרגיה בשריפת גז טבעי	
221.....	9.7.1 גזי פליטה ביחידות טורבינות גז	
222.....	9.7.2 גזי פליטה ביחידות קיטוריות	
222.....	9.7.3 הקטנת איבודי אנרגיה בשריפת גז טבעי	
223.....	9.8 הסבת היחידות	
223.....	9.8.1 הסבת חלק מכני	
224.....	9.8.2 תוספות ושינויים עיקריים בחלק מכני של יחידות טורבינות גז	
226.....	9.8.3 תוספות ושינויים עיקריים בחלק מכני של יחידות קיטוריות	
227.....	9.9 הסבת מערכות חשמל ובקרה	
228.....	9.9.1 תוספות ושינויים עיקריים בחלק חשמלי של יחידות טורבינות גז	
228.....	9.9.2 תוספות ושינויים עיקריים בחלק חשמלי של יחידות קיטוריות	
229.....	9.10 הסבת מערכת בקרה	
229.....	9.10.1 תוספות ושינויים עיקריים ביחידות טורבינות גז	
230.....	9.10.2 תוספות ושינויים עיקריים ביחידות קיטוריות	
230.....	9.11 הקמת יחידות קו-גנרציה בעידן גז טבעי	
231.....	9.11.1 תיאור יחידות קו-גנרציה ומרכיביהן	

234.....	9.11.2	למי כדאי ליישם קו-גנרציה.....
235.....	9.11.3	יתרונות קו-גנרציה.....
236.....	9.12	סיכום.....
237.....	10.	גז טבעי דחוס (CNG) וגז טבעי מונזל (LNG)
237.....	10.1	מבוא.....
239.....	10.2	גז טבעי דחוס.....
239.....	10.2.1	תכונות פיזיקליות של גז טבעי דחוס.....
241.....	10.2.2	השוואה בין תכונות הגז הטבעי הדחוס לדלקים אחרים.....
242.....	10.2.3	יתרון כלכלי.....
243.....	10.2.4	הקטנת התלות האנרגטית בגורמים זרים.....
243.....	10.2.5	יתרון סביבתי.....
244.....	10.2.6	הקטנת רעש.....
244.....	10.2.7	יתרון בטיחות.....
245.....	10.3	שימושים של גז טבעי דחוס.....
246.....	10.3.1	פוטנציאל של שימוש בגז טבעי דחוס במשק התחבורה הישראלי.....
246.....	10.4	רגולציה ותקנים ישראליים.....
248.....	10.5	סקירה של כלי רכב עם הנעה בגז טבעי.....
249.....	10.6	סקירת הציוד העיקרי בתחנות תדלוק גז טבעי.....
250.....	10.7	סוגי תחנות תדלוק גז טבעי דחוס ושיטות התדלוק.....
251.....	10.7.1	רשת ההולכה.....
251.....	10.7.2	רשת החלוקה.....
251.....	10.7.3	משווקי גז.....
251.....	10.7.4	תחנות התדלוק.....
252.....	10.7.5	שיטות התדלוק.....
253.....	10.8	תחנות אם/בת.....
255.....	10.9	סוגי צילינדרים וסקירה של משאיות להובלה גז"ד.....
257.....	10.10	גז טבעי דחוס לתעשייה.....
259.....		ביבליוגרפיה.....
261.....	11.	גז טבעי כחומר גלם לתעשייה הכימית
261.....	11.1	מבוא - פוטנציאל הגז הטבעי לפיתוח תעשייה כימית ופטרוכימית.....
263.....	11.2	תהליך פישור-טרופש - רקע היסטורי, כימיה וטכנולוגיה.....
263.....	11.2.1	כללי.....
265.....	11.2.2	רקע היסטורי של התהליך.....
268.....	11.2.3	הפיכת גז מתאן לגז-סינתזה.....

271.....	11.2.4	הפיכת גז-סינתזה לפחמימן
273.....	11.2.5	על מנגנון תגובת פישר-טרופש
275.....	11.2.6	ריאקטורים בתגובת פישר-טרופש
280.....	11.3	מוצרי המשך של גז טבעי
280.....	11.3.1	דלקים מגז טבעי
281.....	11.3.2	בנזין
283.....	11.3.3	קרוסין - דס"ל
284.....	11.3.4	סולר תחבורה (דיזל)
286.....	11.3.5	אתילן ופרופילן מגז טבעי
288.....	11.3.6	מתנול
291.....	11.3.7	די-מתיל אתר (Dimethyl Ether)
292.....	11.3.8	מימן
293.....	11.3.9	אמוניה ואוריאה
297.....	11.4	סיכום
300.....		ביבליוגרפיה
301.....	12.	הסבת מפעלים לגז טבעי
301.....	12.1	עקרונות מבנה משק הגז הטבעי בישראל
305.....	12.2	הערכות לקראת תהליך הסבת מפעל לגז טבעי
307.....	12.3	חקיקה, תקנים ותקנות בתחום הסבת מפעלים לגז טבעי
309.....	12.4	הגדרות מנחות במסגרת ת"י 6464
311.....	12.5	רישוי והנדסה
315.....	12.6	עלויות וכדאיות כלכלית
316.....	12.6.1	דוגמה לבדיקת כדאיות להסבת מפעל לגז טבעי
	12.7	חשיבות ביצוע קדם-פרויקט ובדיקת היתכנות
318.....		טרם תחילת הפרויקט בפועל
320.....	12.8	תכנון מערכת פנים-מפעלית, בדיקה ואישור
320.....	12.8.1	תכנון המערכת
321.....	12.8.2	תהליך הסקירה של הגוף הבודק (Inspection Body)
322.....	12.8.3	רכש והקמה
323.....	12.9	עבודה מול חברות החלוקה
323.....	12.9.1	עלויות החיבור והצריכה
324.....	12.9.2	תשלום לחברת החלוקה
326.....	12.10	צרכני קצה
326.....	12.10.1	הנחיות כלליות עבור IAA

327	12.10.2 הנחיות מיוחדות עבור CIAA
328	12.10.3 הנחיות מיוחדות עבור PIAA
329	12.10.4 בדיקה ואישור
330	12.11 תיעוד ואיכות
333	13. בטיחות במערכות גז טבעי
333	13.1 הרכב הגז הטבעי
333	13.2 מערכות הגז הנידונות מבחינת רמות הלחץ
334	13.3 מיפוי סוגי סיכונים
334	13.3.1 דליפת הגז
335	13.3.2 כמויות הגז הטבעי שעלולות לדלוף והסתברויות לדליפה
336	13.3.3 תנאים והסתברויות להצתת הגז הטבעי
337	13.3.4 התלקחות ופיצוץ
339	13.3.5 התלקחות מידית וסילון אש
340	13.3.6 הבהק אש
341	13.3.7 התלקחות ופיצוץ נפחי
342	13.3.8 פיצוץ ענן גז במקום לא מוגבל (UVCE)
342	13.3.9 פיצוץ של גז נוזלי BLEVE
342	13.3.10 הסתברויות לפיצוץ הגז במקום פתוח או מאוורר היטב
342	13.3.11 סכנת הדף הגז שהשתחרר (ללא הצתה)
343	13.3.12 תגובה כימית עם חומרים שונים
343	13.3.13 סכנות עקיפות נפוצות הקשורות למערכת הגז הטבעי
344	13.4 אירועי בטיחות בגז טבעי: סקירה של סטטיסטיקה בינלאומית
344	13.4.1 סטטיסטיקת אירועים אירופאית - מבט כללי
346	13.4.2 תמונת מצב של אירועי גז טבעי בהולנד
346	13.4.3 אירועי גז טבעי בתעשייה בארה"ב
349	13.4.4 ניתוח אופי אירועי גז בגרמניה לפי בסיס נתונים DVGW
350	13.5 מניעת הצתת הגז באזורים מסוכנים
350	13.5.1 הגדרת אזור מסוכן
351	13.5.2 סיווג אזורים מסוכנים (Zone) לפי NFPA
	13.5.3 סיווג אזורים מסוכנים (Zone) לפי NFPA ולפי תקנים אירופאים/בינלאומיים מסדרה IEC/EN 60079
352	
353	13.6 בחירה ומיקום של ציוד חשמלי
354	13.7 אזורי סיכון במערכת מפעלית של גז טבעי בישראל
354	13.8 יסודות הבטיחות בעבודות תפעול ותחזוקה במתקני גז טבעי

354.....	סדר וניקיון	13.8.1
355.....	בגדי עבודה וציוד מגן אישי (צמ"א)	13.8.2
356.....	כללי בטיחות עבודה בסביבת גז	13.8.3
357.....	תקינה ורגולציה טכנית בתחום הבטיחות במתקני גז טבעי של צרכנים	13.9
358.....	תקן ישראלי 6464 "מתקני הצריכה התעשייתיים לגז טבעי"	13.9.1
359.....	תקנים זרים לציוד, תכנון והתקנה שאומצו (פרק 4 בתקן)	13.9.2
360.....	תכנון והקמה של צנרת אספקת הגז (פרק 7)	13.9.3
362.....	תהליך בדיקות ואישורים (פרק 6)	13.9.4
363.....	היתר בנייה לצנרת גז טבעי פנים-מפעלית	13.9.5
363.....	תקנים ונהלים לתפעול ותחזוקה	13.9.6
364.....	התנהלות בעת אירוע חירום	13.10
364.....	מהו אירוע חירום	13.10.1
364.....	התנהלות בזמן אירוע	13.10.2
366.....	ביבליוגרפיה	
367.....	14. קורוזיה במערכות גז טבעי	
367.....	תורת קורוזיה	14.1
368.....	מנגנוני קורוזיה	14.1.1
369.....	גורמי קורוזיה	14.1.2
369.....	תופעות קורוזיה	14.1.3
373.....	הרכב כימי של גז טבעי	14.2
373.....	מרכיבים גורמי קורוזיה	14.3
374.....	קורוזיה על ידי מימן גופרי (H_2S)	14.3.1
377.....	קורוזיה על ידי פחמן דו-חמצני (CO_2)	14.3.2
379.....	השפעת חמצן על קורוזיה	14.3.3
381.....	קורוזיה ע"י חומצות אורגניות	14.3.4
381.....	קורוזיה ע"י כספית	14.3.5
383.....	משקעים אי-אורגניים	14.4
384.....	קורוזיה בחלק עליון של קו צינור (Top-of-Line Corrosion)	14.5
385.....	השפעת טמפרטורה על קורוזיה במערכות גז טבעי	14.6
386.....	השפעת משטר ומהירות הזרימה על קורוזיה במערכות גז טבעי	14.7
386.....	הידרטים של גזים (Gas Hydrates)	14.8
388.....	מודלים לתחזית קצבי קורוזיה במערכות גז טבעי	14.9
388.....	מניעה ובקרת קורוזיה	14.10
389.....	תכנון הנדסי	14.10.1

389	14.10.2	בחירת חומרים
392	14.10.3	ציפויים
394	14.10.4	הגנה קתודית
396	14.10.5	שינוי הרכב כימי של תזרימים
399	14.11	ניטור קורוזיה במערכות גז טבעי
400	14.11.1	בדיקות אל-הרס (NDT)
401	14.11.2	בדיקת סביבה ומעקב אחר פרמטרים טכנולוגיים
402	14.11.3	גילוי דליפות של פחמימנים בעזרת בעלי חיים
404	14.11.4	גלאי גז
404	14.11.5	בדיקת שטח הפרדה מתכת-סביבה
	14.11.6	ניטור רציף בזמן אמת של קורוזיה
404		(On-line, Real-time Corrosion Monitoring)
405	14.11.7	ניטור יעילות הגנה קתודית
405	14.11.8	סיכום
407	נספח 1-14:	תקנים ונהלים המשמשים במערכות לניצול גז טבעי
415		ביבליוגרפיה
429	15.	הגנה קתודית
429	15.1	הקדמה
429	15.2	סוגי הגנה קתודית
430	15.2.1	הגנה פסיבית / "אנודות הקרבה"
430	15.2.2	סגסוגות של אנודות הקרבה
431	15.2.3	מערכת הגנה אקטיבית/ "זרם מאולץ"
431	15.2.4	התנגדות סגולית של הקרקע
432	15.3	מדידת התנגדות סגולית של הקרקע
433	15.3.1	רמת השיתוך על פי התנגדות סגולית של הקרקע
433	15.4	צידוד לבדיקת מערכת הגנה קתודית
433	15.4.1	חצי-תא
434	15.5	מפלי מתח - IR drop
434	15.5.1	זרימת זרם במעגל הגנה קתודית
435	15.6	קריטריונים לבדיקת פוטנציאלי הגנה
435	15.6.1	פוטנציאל ON -850 mV
436	15.6.2	קריטריון Instant OFF -850 mV (ניתוק מיד)
436	15.6.3	קריטריון Polarization of 100 mV, קיטוב של 100 mV
437	15.7	2 מתכות שונות בהרכבן

437.....	השפעות על תוצאות המדידה.....	15.8
438.....	15.8.1 השפעה על המדידה כתוצאה מזרם תועה.....	
438.....	15.8.2 השפעה פוטו-וולטאית על המדידה.....	
438.....	15.8.3 השפעת הטמפרטורה על המדידה.....	
438.....	15.9 בדיקת איכות הציפוי החיצוני של צנרת פלדה תת-קרקעית.....	15.9
438.....	15.9.1 Drainage Test.....	
439.....	15.9.2 DCVG.....	
440.....	15.9.3 Holiday Detector.....	
440.....	15.9.4 CIPS.....	
441.....	עיקרי התקנים הרלוונטיים.....	
443.....	ביבליוגרפיה.....	
445.....	16. רגולציה בתחום הגנת הסביבה.....	
445.....	16.1 יתרונות סביבתיים לשימוש בגז טבעי.....	
445.....	16.2 מדיניות סביבתית בשימוש בגז טבעי - שימוש מקומי וייצוא.....	
447.....	16.3 גז טבעי לייצור אנרגיה (חשמל).....	
447.....	16.3.1 פליטת מזהמי אוויר.....	
449.....	16.3.2 כלי רגולציה ומדיניות לקידום השימוש בגז טבעי לייצור חשמל.....	
452.....	16.4 גז טבעי בתעשייה.....	
452.....	16.4.1 פליטת מזהמי אוויר.....	
454.....	16.4.2 כלי רגולציה ומדיניות לקידום השימוש בגז טבעי בתעשייה.....	
455.....	16.5 גז טבעי בתחבורה.....	
455.....	16.5.1 פליטת מזהמי אוויר.....	
458.....	16.5.2 כלי רגולציה ומדיניות לקידום השימוש בגז טבעי בתחבורה.....	
460.....	16.6 היבטים סביבתיים בשימוש בגז טבעי כחומר גלם בתעשייה.....	
460.....	16.6.1 ייצור אמוניה.....	
461.....	16.6.2 GTL, תהליך ייצור דלקים סינתטיים מגז טבעי.....	
462.....	16.6.3 ייצור מתנול.....	
462.....	16.7 צמצום השפעות סביבתיות שמקורן בענף חיפוש והפקת הגז הטבעי.....	
463.....	16.7.1 פעולות לחיפוש גז טבעי בים.....	
465.....	16.7.2 זיהום אוויר מפעולות חיפוש גז טבעי.....	
465.....	16.7.3 סגירת/נטישת אתר קידוח.....	
466.....	16.8 פעולות להפקת הגז מהים.....	
466.....	16.8.1 פגיעה בביולוגיה הימית.....	
466.....	16.8.2 זיהום ים וחופים בשמן ובכימיקלים.....	

16.8.3	זיהום אוויר ופליטת גזי חממה מפעילות הפקת גז טבעי	467
16.9	רגולציה (אסדרה) סביבתית לצמצום השפעות פעולות חיפוש והפקת	
	גז טבעי בים על הסביבה הימית	469
16.9.1	פעילות חיפוש והפקת גז מעבר למים הטריטוריאליים	469
16.9.2	פעילות חיפוש גז והפקתו בתוך תחום המים הטריטוריאליים	469
16.9.3	המתווה הקיים של האסדרה הסביבתית כיום	470
16.9.4	תלמ"ת - תכנית למוכנות ותגובה לתקריות זיהום הים בשמן	471
16.9.5	צמצום פליטת מזהמי אוויר וגזי חממה בשלב קידוחי החיפוש	
	ובשלב ההפקה	471
16.10	פעילות פיקוח ואכיפה על מתקני חיפוש והפקת גז טבעי בים	472
16.11	רגולציה ואמנות בינלאומיות	472
16.11.1	אמנת ה-OPRC	472
16.11.2	אמנת ברצלונה	473
16.11.3	הדירקטיבה האירופאית EU/2013/30	473
16.12	השפעות סביבתיות של ייצור ואחסון קונדנסט	474
16.12.1	ייצור קונדנסט	474
16.12.2	שינוע ואחסון קונדנסט	475
16.12.3	השימוש בקונדנסט	476
	ביבליוגרפיה	477
17.	עקרונות הרגולציה בתחום הגז הטבעי בישראל	479
17.1	הקדמה	479
17.2	תעריף ההולכה	481
17.3	תעריף ההולכה למשווק ברשת החלוקה	482
17.4	הסכם ההולכה	483
17.5	מגזרי צריכה נוספים לרשתות החלוקה	489
17.5.1	צריכה ביתית	489
17.5.2	קו-גנרציה	490
17.5.3	תחבורה	491
	אינדקס	495

פרק 1

מבוא

פרופ' עמירם גרובייס, ד"ר אליק גרויסמן

אחת ההגדרות האפשריות עבור תקופות היסטוריות של התפתחות בני האנוש, היא באמצעות מקור האנרגיה בו השתמשו: "תקופת העץ", "תקופת הפחם", "תקופת הנפט". בשנים האחרונות, אנו עדים כנראה לתחילתה של תקופת "הגז הטבעי" כמקור אנרגיה מוביל. הראשונים שהשתמשו בגז טבעי בקנה מידה משמעותי היו הסינים, כבר בשנת 400 לפני הספירה. הגז הטבעי הופק מבארות רדודות והובל בצינורות במבוק. בין היתר, הגז נשרף לשם הרתחת מים מלוחים וקבלת מלח ביסול. קיימות התייחסויות היסטוריות רבות, בין היתר ציטוטים מהתנ"ך, על הבהקים שונים שנצפו במצרים, במזרח הקרוב ובמזרח התיכון. רבים ממקדשי הפולחן העתיקים, מלפני כ-3,000 שנה ויותר, נבנו בקרבתם של חלחולי גז טבעי (seepage).

הבאר המסחרית הראשונה, שהייתה בעלת עומק של כ-9 מטר, נקדחה כבר ב-1825 בפרדוניה אשר במדינת ניו-יורק (Fredonia, New York, USA) ע"י סוחר נשק אמריקאי בשם ויליאם א. הארט (William Aaron Hart). הגז מהבאר הוזרם בצינורות עץ, ושימש לתאורת בתים וחנויות. מאוחר יותר, ב-1857, פרסטון בארמור (Preston Barmore) יזם הפקתו של גז טבעי באותו מקום והובלתו בצינורות עשויים עופרת. הגז שימש בעיקר לבישול מזון, כדלק לחימום ולתאורת רחובות.

בתחילת המאה העשרים החלו להיבנות קווי גז, אולם ההתפתחות המשמעותית התרחשה רק לאחר מלחמת העולם השנייה, כאשר הישגים הנדסיים אפשרו בניית קווים בטוחים ואמינים להובלת גז למרחקים ארוכים. בארה"ב, גז טבעי החל להיות מסופק לבתים החל מהשנים 1940-1950, ובאנגליה - מאוחר יותר בשנים 1960-1970.

משברי האנרגיה ברבע האחרון של המאה העשרים, והעליות התלולות במחירי הנפט והדלקים השונים, דחפו את העולם לחיפושים נרחבים של מקורות אנרגיה אלטרנטיביים לנפט. גילוי מאגרים עצומים של גז טבעי ברחבי העולם - ביבשה ובים - גרמו לשינויים משמעותיים בתעשייה, בחייהם של אנשים ובפילוסופיית הגישה לאיכות הסביבה. ניתן למצוא יתרונות רבים בשימוש בגז הטבעי בהשוואה למקורות אנרגיה אחרים, בין אם ממקורות מאובנים (fossil), גרעיניים, או אפילו מקורות

פרק 2

גיאולוגיה של מאגרי גז טבעי ונפט

ד"ר צבי (קול) קרץ'

השתתפו בכתיבה: ידידיה גלמן, יניב מריג

מאגרים של נפט וגז נמצאים בתת-הקרקע, על-פי רוב בעומק של ק"מ מתחת לפני הקרקע או מתחת לקרקעית הים. אז איך למעשה יודעים גיאולוגים, גיאופיזיקאים ומהנדסים, שלהלן ייקראו "מומחי מאגר", לאתרם, לאפיינם ולמצותם, מבלי בעצם לראותם? בפרק זה ננסה לענות על שאלות אלו, על-ידי תיאור של יסודות גיאולוגיית והנדסת מאגרי נפט וגז, כפי שהם מיושמים מדי יום ביומו ברחבי העולם. נתחיל בסקירה של האלמנטים הגיאולוגיים הנדרשים בכדי שנפט וגז ייווצרו וייאגרו במשך מיליוני שנים, נדון במה שמכונה "מחזור החיים" של המאגר, ונסיים בתיאור של השיטות העיקריות העומדות לרשות מומחי המאגר בכדי לאפיינו, לנהלו, ולמצותו בדרך הטובה ביותר.

כבר בפתח הדברים, נציין היבט מרכזי המייחד את עבודת מומחה המאגרים, העובד בתעשייה, מעבודת עמיתיו חוקרי תת-הקרקע באקדמיה. בתעשיית הנפט והגז שיקולים כלכליים הם מכריעים, ומשפיעים באופן ישיר על אופי והיקף הפעילות המיושמת. לדוגמה, ההחלטה האם לבצע קידוח אקספלורציה במאגר שעדיין לא נתגלה, ובכך להוכיח את קיומו, אינה תלויה רק באומדן גודל המאגר, או בהערכה לגבי סיכויי ההצלחה למוצאו, אלא גם בעלותו (שתלויה בין השאר בעלות היומית של שכירת אסדת קידוח, ואיושה באנשי מקצוע), וביכולת של קידוח זה לבדו להוכיח בוודאות גבוהה את קיומו וגודלו של המאגר. בנוסף, נצטרך גם להתייחס לשאלות הקשורות להתחייבויות חוזיות מול המדינה ומול שותפים אחרים ברישיון, ולשאלות לגבי היתכנות טכנית וסביבתית; לסיום, נצטרך להשיב על שאלת ה"מה יהיה אם" הקידוח יצליח (success case), כלומר, במידה והקידוח מאשש את ההערכות שלנו לגבי גודל המאגר וטיבו, כמה זמן ייקח לפתחו, והאם ניתן לשווק באופן כלכלי את הנפט/גז שבו? לכן, בעוד שמבחינה טכנית גרידא, מומחה המאגרים יכול לסווג פרוספקט מסוים כאטרקטיבי מאוד (בדרך כלל בא לידי ביטוי במכפלה של גודל המאגר בסיכויי ההצלחה, מה שמכונה גודל המאגר המשוקלל, risked volume), הרי שהחברה עשויה להחליט שלא לקדוח אותו עקב שיקולים כלכליים ומסחריים.

פרק 3

מאגרי גז טבעי ועקרונות תהליכי קידוח

ד"ר ויקטור בריודין

לפי ההגדרות המקובלות בעולם הנפט והגז - הנדסת מאגרים הנה יישום של עקרונות מדעיים לזרימת נוזלים וגזים, הנובעת מהפקה מסחרית של נפט וגז, בתוך שכבות נקבוביות תת-קרקעיות. המטרה העיקרית של הנדסת מאגרים הנה בחירת שיטות הפקת הנפט והגז ביעילות הגבוהה ביותר.

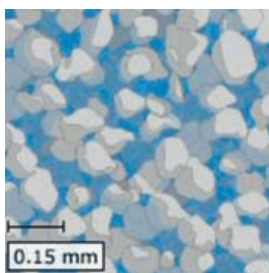
קיימים 3 עקרונות עבודה של מהנדסי מאגרים:

1. הגדרת קיום של פחמימנים במאגרים תת-קרקעיים.
2. הערכת העתודות ברי הפקה.
3. הגדרת הקצב של ניצול המאגר.

3.1 הנדסת מאגרים ותכונות של מאגרי נפט וגז

3.1.1 נקבוביות (Porosity)

עתודות של פחמימנים במאגרים תת-קרקעיים נמצאות בתוך נקבוביות קטנות ביותר בסלעים. גודלה של נקבובית שבה נמצאות מולקולות של פחמימנים הוא פחות מ-1 מ"מ (ראה איור 3-1):



איור 3-1: חתך של דגימת סלע עם פחמימנים

פרק 4

הנדסה וטכנולוגיה להפקת גז טבעי בים

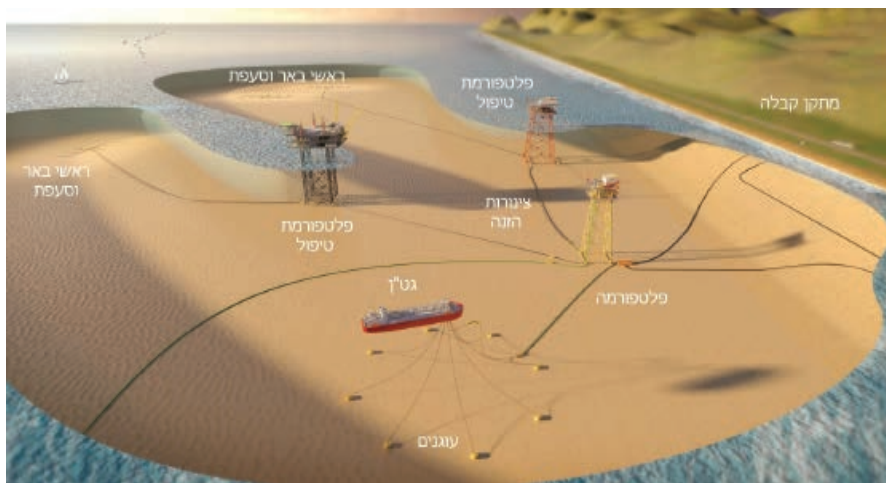
אברי שפלר

4.1 הקדמה

פרק זה מתאר בראייה רחבה את הנושאים הכרוכים בפיתוח שדות גז ונפט בים. נעסוק בהיבטים ההנדסיים והטכניים שאליהם יש להתייחס בעת תכנון הפיתוח ובשלב ההפקה משדות וקידוחים בלב ים. לאחר איסוף כל המידע הנוגע להיבטים הגיאולוגיים, הגיאו-טכניים והסביבתיים, ניתן לערוך תכנונים הנדסיים-טכניים ובדיקות כלכליות לקראת הפיתוח. אלה כוללים הערכת החלופות הטכנולוגיות האפשריות לבניית מבנה מקובע בלב ים, מבנה צף ומערכת הפקה תת-ימית המחוברת לצנרת תת-ימית ולמסופי גז.

פרק זה מקיף את התחומים הנוגעים לטכנולוגיות התומכות בפיתוח שדות גז ונפט בים; החל בסקרים תת-ימיים וקידוחי חיפוש, דרך התכנון ההנדסי של מתקני ההפקה והתשתיות, ועד לדרך החסכונית והאמינה ביותר להפקת גז ונפט והולכתם, ולבניית תשתיות צנרת ומתקנים אחרים מתחת לים.

מערכי ההפקה בלב ים הוא מכלול סבוך, הכולל מערכות תמך מגוונות כגון מתקני חוף, תעבורה אווירית וימית, טיפול במטען ושינועו, צלילה וכד', כפי שמוצג באופן סכמטי באיור 4-1.



איור 4-1: תרשים של שדה גז טיפוסי עם מבני שלד, תשתית צנרת וחיבור למסוף על החוף

פרק 5

תהליכי טיפול והפרדה על האסדה

אברי שפלר

5.1 טיפול בגז ונפט בים

בחלק זה נבחן את התהליך הפיזי שעוברת התערובת המכילה את הגז, בשלב ההפקה שלה, בכדי להגיע לרמה הנדרשת במפרט של המוצר הסופי. בצאתה מהבאר, התערובת מכילה גז, נפט, ונוזלים בלתי רצויים. התהליכים אותם היא עוברת כוללים הפרדת גז ונוזלים, הפרדת נוזלים מנוזלים, ייבוש הגז, טיפול במים ועוד. מהנדס התהליך (Process Engineer) עוסק בקביעת סדר הפעולות של הטיפול, ויפעל עפ"י עקרונות ההנדסה הכימית. כמקובל בתעשייה, מהנדס המתקן (Facilities Engineer) יקבע איזה ציוד נדרש כדי להגיע לרמת הטיפול המבוקשת. בטרם ניגשים לתכנן את הליך הטיפול, חשוב להבין את איכות החומרים הגולמיים הנכנסים לתוך המערכת (כלומר כפי שהם יוצאים מהבאר) ואת דרישות המפרט של המוצר הסופי. מרבית מערכות הטיפול מתוכננות לבצע הפרדה ראשונית לשלוש רמות - גז, נפט ומים - מהר ככל האפשר. לאחר ההפרדה הראשונית בין חלקים אלו, תוצרי ההפרדה עוברים טיפול נוסף, על מנת להביא כל מוצר לרמת האיכות הנדרשת.

5.2 תיאור המתקנים במערכת הטיפול בים

5.2.1 ראשי באר על קרקעית הים (Wellheads)

תהליך הטיפול בגז מתחיל בראש הבאר, על קרקע הים, במערכת המגופים המכונה "עץ חג המולד" (Christmas Tree), שמורכבת על ראשי הבאר. זהו "השיבר הראשי" שדרכו עובר הגז הגולמי, על כל מרכיביו, בלחץ גבוה - בין 140 ל-600 בר. הלחץ תלוי בעומק הים ואופי המאגר. הגז עובר דרך ראשי הבאר, הצנרת הימית, וצנרת ההזנה לפלטפורמה/אסדת טיפול, ונכנס לשרשרת הטיפול בגז. [15]

5.2.2 צינור הזנה לאסדת הטיפול בגז בים (Riser)

הצנרת הימית קולטת את הגז הלא מטופל בצאתו מהבאר, בלחץ גבוה מאוד. הגז מוזן לאסדה/פלטפורמה באמצעות צינור הזנה (riser) העולה במעלה הפלטפורמה, לתחילת תהליכי טיפול וההפרדה. צנרת ההזנה ממוקמת ברגלי הפלטפורמה. המערכת כוללת גם שסתומי חירום - SD valves¹, להפסקת זרימת הגז מהבאר במקרה של תקלה. ראה איורים 1-5, 1-5-2 ו-5-1. [15]

1 ESD valve - Emergency Shut Down (שסתום חירום)

פרק 6

הובלה ואחסון של גז טבעי

אברי שפיר

6.1 מאפיינים כלליים של תעשיית אחסון הגז הטבעי

לצריכת הגז הטבעי ישנם מאפיינים עונתיים, הקשורים בשינויי מזג האוויר, בטמפרטורה, ובצריכה תעשייתית וציבורית. מערכות אחסון של גז טבעי מיועדות להתמודד עם שינויים באספקה ובביקוש לאורך זמן. גז טבעי ניתן לאחסון במספר תצורות. התצורה הנפוצה ביותר הנה אחסון הגז מתחת לאדמה, בלחץ גבוה. קיימים שלושה סוגי אחסון בתצורה זו: מאגרי גז מדולדלים (Depleted Gas Reservoirs), אקוויפרים (Aquifers), ונקרות מלח תת-קרקעיות (Salt Caverns). כן ניתן לאחסון גז טבעי מעל פני האדמה, בטכנולוגיות אחסון ¹LNG ו-²CNG [2]. בישראל, תקופת השיא בצריכת גז קשורה לביקוש מוגבר לחשמל בתקופות הקיץ והחורף, בעיקר בשל צריכת מערכות המיזוג. את הגמישות המתבקשת ניתן לספק על ידי שינויים בקצב הפקת הגז, באמצעות מתקני אחסון מקומיים בקרבת הצרכנים, או באמצעות מערכת ההולכה הארצית. המערכות הנפוצות ביותר לצורך איזון עונתי, הן מערכות אחסון תת-קרקעיות, הממוקמות במאגרים מדולדלים של גז או של נפט טבעי. לעתים יידרש אחסון לטווח קצר ואף יומי; מענה לאיזון מסוג זה יינתן באמצעות מערכות אחסון קטנות יותר, כגון נקרות מלח או מתקנים בצורת מכלים כדוריים, או באמצעות מערכת ההולכה (Line Packing). במקרים רבים, גמישות המערכת לשינויים העונתיים מתאפשרת באמצעות מתקנים תת-קרקעיים במורד הזרם (Downstream) והספקים, במשולב. בשווקים רבים בעולם מתקיים מערך של מתקני אחסון מסחריים ו/או שירותי גמישות למערכת, הנמצא בשליטת ספקים שונים. במקרים מסוג זה, ייתכן ולא יהיה צורך ברגולציה הדוקה, ולכוחות השוק יינתן לפעול ולהשפיע על מחירי האחסון. הערך (שווי) של השימוש במתקני אחסון עונתיים, נקבע על פי הפרש במחיר שבין תקופת השיא והשפל בביקוש, וזאת אם קיימים אמצעים להתאים את הביקוש לגמישות המערכת. במקרים אחרים, אחסון גז טבעי כפוף לתקנות הקשורות לביטחון האספקה, לדוגמה: כאשר מחייבים ספקים להתאים את עצמם לדרישות האחסון, ע"י מתן עדיפות לגישה למתקני אחסון על פני שימושים אחרים. בחינת הצרכים התפעוליים והאסטרטגיים של התעשייה הישראלית

1 LNG - Liquefied Natural Gas

2 CNG - Compressed Natural Gas

פרק 7

גז טבעי - תכונות, משמעויות, מדידות וחישובים (Downstream)

ד"ר אהוד סוצקובר

7.1 מבוא

גז טבעי מופק מבארות כחלק מהפקת נפט גולמי או כהפקת גז בלבד¹. הוא מופק כתערובות (גז, נוזלים אורגניים, מים ושאריות מוצקים), שאותן מסיעים לנקודת טיפול ראשונה². התערובת המוסעת עשויה להכיל תוספים מונעי קיפאון, מייצבי pH ואינהיביטורים נגד קורוזיה. בנקודת הטיפול הראשונה מרחיקים נוזלים מהגז, מרחיקים את מרבית התוספים ומפחיתים את לחץ הגז. משם עובר הגז ל"נקודת הקבלה"³. בנקודה זו מרחיקים את שאריות התוספים על ידי טיפול המשך, מייבשים את הגז משאריות מים, מרחיקים פחמימנים כבדים וחומרים מזהמים נוספים, מביאים את הגז הטבעי לרמת איכות של שימוש ומכירה ומזינים אותו למערכת ההולכה. גז באיכות שימוש, שהוא נטול נוזלים, מכונה "גז יבש"^[1].

האיכות של הגז הטבעי במכירה תלויה באיכות הגז בבאר, בטיב הטיפול, בשאריות החומרים שנוספו לטיפול לצורך אחזקה ולשינוע ולא הורחקו, בחומרי ריח - שמוסיפים בחלק מהמערכות⁴ - ובזיהומים שחדרו למערכת, כגון תוצרי קורוזיה ושמן מדחסים.

כתוצר סופי מכיל הגז הטבעי תערובת של פחמימנים, אשר מרכיב הרוב בהם הוא מתאן, והוא מכיל בדרך כלל גם אתאן, פרופאן ופחמימנים כבדים יותר - בכמויות ההולכות ופוחתות על פי כובד הפחמימן^[2]. בנוסף, מכיל הגז הטבעי גם רכיבים בלתי דליקים (אינרטיים) כגון חנקן ופחמן דו-חמצני ורכיבי מיעוט אחדים⁵.

מפרטי איכות נכתבים כחלק מהרגולציה או כנספחים להסכמים, ומהווים בסיס לתיאור איכות המוצר. כאשר הגז חוצה גבולות של מדינות ועובר ממערכת הולכה אחת לחברתה, מפרטי האיכות חשובים במיוחד.

-
- 1 בבארות "תמר" - הגז איננו חלק מהפקת נפט גולמי.
 - 2 בישראל - כגון "פלספורמת תמר", אשר בין הצינור המוביל מן הקידוח לבין נקודת הקבלה שעל החוף.
 - 3 בישראל - נקודת הקבלה שעל החוף באשדוד, שמכונה AOT (Ashdod Onshore Terminal).
 - 4 בישראל - מוסיפים חומרי הבאשה במערכות החלוקה, ובחצרים של חלק מצרכני מערכת ההולכה.
 - 5 גז שמכיל תרכובות גופרית בריכוז העלול לפגוע בציוד או בבטיחות ובגהות, מכונה "גז חמוץ". הגז מבארות "תמר" איננו חמוץ.

פרק 8

הולכת גז טבעי בלחץ גבוה

סילבי רון, השתתפה בכתיבה: הדר דבורקין

8.1 הקדמה

תהליך הפקת הגז הטבעי מבארות במעמקי הים, כולל שלבים של הורדת לחץ והפרדה ראשונית של נוזלים. לאחר מכן, הגז עובר בצנרת ימית ויבשתית מהאסדה למתקן טיפול יבשתי לצורך הורדת לחץ נוספת, השלמת הפרדת נוזלים וביצוע מדידה, וזאת על מנת שיהיה ניתן להכניס את הגז למערכת ההולכה. לאחר אישור תכנית הנדסית מפורטת ברשות הגז, וקבלת היתרי בנייה מרשות רישוי מחוזית לגז טבעי, מתחיל שלב ההקמה.

מערכת הולכת הגז מורכבת ממקטעי הולכה, הפרוסים מדרום הארץ ועד צפונה. קווים אלה מאפשרים להוליך את הגז למגוון הלקוחות בתוואי התכנון של מערכת ההולכה. **מקטעי מערכת ההולכה: מקטע צפוני** חגית-תל קשיש-חיפה, תל קשיש-אלון תבור. **מקטע מרכזי** אשדוד-שורק-קריית גת-אשקלון, שורק-נשר. **מקטע דרומי** קריית גת-סדום **ומקטע ימי**.

להלן השלבים העיקריים בהקמה:

Right of way	יצירת רצועת עבודה
Stringing	הנחת הציווד לאורך רצועת העבודה
Bending	כיפוף הצנרת
Welding	ריתוך הצנרת
Trenching	חפירה תעלה
Lowering-in	הנחת הצנרת
Backfilling	כיסוי התעלה

רצועת העבודה הנה רצועה הכוללת דרך שירות זמנית, מרחב עבודה לצד התעלה, תעלת חפירה, וכן שטח שבו יונח החומר החפור, ראה איור 8-1.

הכשרת רצועת העבודה כוללת יישור של שכבת הקרקע העליונה, פינוי צמחיה וסילוק מפגעים, כמתואר באיור 8-2. לאחר גמר הכשרת "רצועת העבודה" מניחים את הצנרת לאורך תוואי העבודה.

פרק 9

הפקת אנרגיה וחשמל מגז טבעי

נחום רפפורט

9.1 הקדמה

לאחרונה, הגז הטבעי, שמהווה מקור אנרגיה נקי, נהיה זמין בישראל. גז טבעי הוא תערובת גזים, שהמרכיב העיקרי בה הוא הגז מתאן (CH_4) בשיעור של 95% ויותר. בנוסף, התערובת מכילה כמויות קטנות עד זעירות של אתאן, פרופאן, בוטאן, ופנטאן. ככל שאחוז המתאן בגז הטבעי גבוה יותר, תכונות הגז קרובות יותר לתכונות המתאן. מעבר לכך, עשויים להימצא בגז טבעי מולקולות של פחמימנים כבדים (מקובל למדוד עד ל- C_{14}), מים, ומימן גופרי (H_2S). הגז נוצר במעמקי האדמה, והוא קל מהאוויר וחסר ריח וצבע. עם גילוי גז טבעי בישראל והשלמת מערכת הולכת הגז משדה הגז Mary-B לחוף אשדוד, בשנת 2004, התחיל עידן ייצור אנרגיה חשמלית באמצעות גז טבעי בישראל, וראשיתו בהתחלת ההסבה של תחנות הכוח של חברת החשמל לישראל לשריפה דו-דלקית - גז כדלק עיקרי, ומזוט דל גופרית - כדלק גיבוי למקרים בהם מתהווה תקלה באספקת גז טבעי לתחנת הכוח. זו הייתה התחלת המהפכה שהתחילה מייצור החשמל באמצעות הגז הטבעי. ראשונה הופעלה בגז טבעי יחידת טורבינת גז בעלת הספק מותקן של כ-235 מגוואט, בתה"כ אשכול באשדוד, אשר הפכה ב-2005, לאחר שחברה אליה התוספת הקיטורית בעלת ההספק של 135 מגוואט, ליחידת מחזור משולב בעלת הספק כולל של 370 מגוואט. אחריה, ובהתאם להגעת הגז הטבעי לאתרי תחנות הכוח, הופעלו בגז טבעי יחידות ייצור בתחנות רבות נוספות.

עם זאת, יש לציין כי טרם החלה כניסת גז טבעי באופן מסיבי לצרכנים בינוניים וקטנים, וכפועל יוצא מכך לא נבנים מתקני קו-גנרציה קטנים יחסית, המבוססים על ייצור חשמל בהספק 1-20 מגוואט וייצור של קיטור, מים חמים, ומים קרים לשימוש בתהליכים טכנולוגיים ולמיזוג אוויר. עם התקדמות הפיתוח של רשת חלוקת הגז הטבעי, תהליך הקמת מתקני קו-גנרציה ילך ויגבר, בשל היתרונות הכלכליים הטמונים בייצור חשמל מבוזר, ובייצור חום/קור באמצעות חום שיורי הנפלט ממתקני ייצור חשמל.

9.2 הסיבות להסבת יחידות הייצור לשריפת גז טבעי

הגז הטבעי הוא דלק זול ונקי, ושימוש בו מוריד את עלויות ייצור האנרגיה ומצמצם את רמת הפליטות לאוויר. להלן פירוט הסיבות המרכזיות לכך:

פרק 10

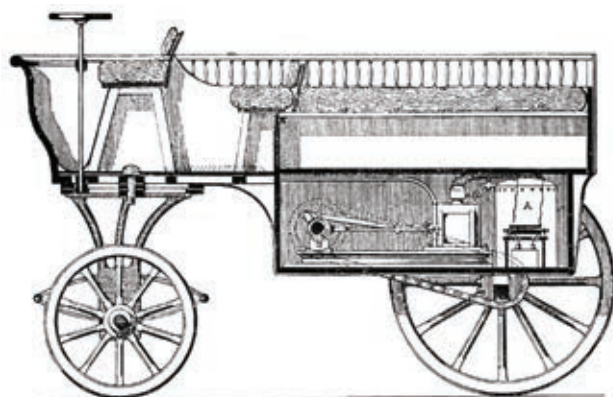
גז טבעי דחוס (CNG) וגז טבעי מונזל (LNG)

אנטולי דובוב, ד"ר ברכה חלף

השתתפו בכתיבה: אור פרס, ליאור פרימט

10.1 מבוא

השימוש בגז טבעי בתחום התחבורה החל בשנת 1860, כאשר הממציא הבלגי ז'אן ז'וזף אטיין לנואר¹ [1] תכנן ובנה את מנוע הבעירה הפנימית הראשון, שהונע בתערובת גזים שכללה מימן, מתאן ופחמן חד-חמצני. ב-1862 לנואר הציג כלי רכב שפעל עם מנוע זה, בעזרתו נסע 10 ק"מ, ראה איור 10-1. עד 1865, למעלה מ-1400 מנועי בעירה פנימית של לנואר פעלו באנגליה ובצרפת (שימושם העיקרי היה בשאיבה ובהדפסה).



איור 10-1: רכב גז הראשון 1862 [1]

גילוי מאגרי נפט גדולים, בנוסף להתפתחות טכנולוגיות הקידוח באמצע המאה ה-19, אפשרו ייצור נפט בכמויות גדולות ובעלות נמוכה יחסית, וכתוצאה מכך הובילו לפיתוח מנועים מבוססי בנזין. הסיבות העיקריות לשימוש בבנזין כללו: אחסון דלק פשוט יותר ובכמות גדולה יותר, וכן מרחקי נסיעה גדולים יותר. ההתפתחות וההתקדמות בפיתוח מנועי הבנזין הובילו לכך ששימוש במנועים מבוססי גז טבעי כמעט והופסק לחלוטין. בתחילת המאה ה-20, במהלך מלח"ע הראשונה והשנייה, נוצר חוסר בבנזין כתוצאה

1 Jean Joseph Etienne Lenoir, 1822-1900

פרק 11

גז טבעי כחומר גלם לתעשייה כימית

פרופ' עמירם גרובייס

11.1 מבוא - פוטנציאל הגז הטבעי לפיתוח תעשייה כימית ופטרוכימית

ריבוי תגליות הגז הטבעי במים הכלכליים של מדינת ישראל בעשור הראשון של המאה, ובמיוחד אלו של "תמר" (2009) ו"לווייתן" (2011), יצרו מצב חדש למשק האנרגיה הישראלי בפרט, ולכלכלה הישראלית בכלל. ממשק המבוסס בכ-100% על ייבוא של נפט ופחם, הפך משק האנרגיה הישראלי לכזה שיכול לספק את כל יכולת ייצור החשמל, האנרגיות התהליכיות המפעליות, חלק מהאנרגיות לתחבורה ועוד, לו רק יחפוץ בכך. יתרה מזו: כמויות הגז הטבעי המוכחות נכון ל-2016, כ-800 מיליארד מטרים מעוקבים (BCM¹), ופוטנציאל שמוערך בסביבות 2,000 BCM בסך הכול, יוצר אפשרויות להפיכת הקערה על פיה: מייבוא של דלקים פוסיליים, לייצוא של גז בצורות שונות, כגון ייצוא בצנרת למדינות השכנות, ניזול לגז טבעי נוזלי (LNG²) וכדומה.

ההערכות שהוגשו בזמנו ל"וועדת צמח" (2012)³ היו שהמשק הישראלי יצרוך גז טבעי בכמות של 20-25 BCM בממוצע לשנה במהלך 2015-2040. הערכות אלה טרם התקרבו לידי מימוש, מסיבות שונות שלא זה המקום לפרטן. בשלב זה צרך המשק הישראלי ממאגר "תמר", ובצינור היחיד הקיים ממנו, סך הכול 30 BCM בשנים 2013-2016⁴. גם רעיון פיתוח משק התחבורה המבוסס על גז טבעי דחוס (גט"ד - CNG⁵), שטרם עבר אף את שלב הניקוח, לא אמור לשנות בצורה דרסטית את כמות הגז הטבעי הנצרכת בישראל, וקיימת הערכה הנוקבת במספר 40 BCM ככמות הכוללת שתידרש עבור שימוש זה עד לשנת 2040⁶.

כל הנתונים הללו הובאו אך ורק כדי לאשש את המסקנה כי שפע הגז הטבעי, שנמצא בים מדינת ישראל, מהווה משאב אדיר שניתן לנצל על מנת לבסס תעשייה כימית ופטרוכימית

1 BCM - Billion Cubic Meters (of natural gas)

2 LNG - Liquefied Natural Gas

3 ועדת צמח היא הוועדה הממשלתית שעסקה בשאלת ייצוא הגז הטבעי.

4 נתונים נלקחו מאתר האינטרנט של משרד האנרגיה.

5 CNG - Compressed Natural Gas

6 מסקנות ועדת צמח.

פרק 12

הסבת מפעלים לגז טבעי

איציק אביגור

השתתפו בכתיבה: ליאת גוטנטג, הדר דבורקין

12.1 עקרונות מבנה משק הגז הטבעי בישראל

גילוי מאגרי הגז הטבעי מול חופי ישראל, עורר את הצורך בהסדרה חקיקתית של משק הגז הטבעי תוך הדגשת מספר מטרות חשובות: יצירת תנאים המאפשרים את התפתחותו של משק הגז הטבעי וקיום תחרות בענף זה, הסדרת פעילות משק הגז הטבעי באופן שיאפשר ויעודד השקעות בענף, מתן שירותים ברמת איכות, אמינות, וזמינות נאותה ובהתחשב בשיקולי יעילות, ובעיקר הבטחת הקפדה על בטיחות בפעילויות משק הגז הטבעי. על מנת לקדם מטרות אלה הוקמה רשות הגז הטבעי במשרד האנרגיה והמים, שלה האחריות על נושא הבטיחות, אחריות להבטחת אספקת גז רציפה באמצעות תכנון אסטרטגי לטווח ארוך, סמכות להענקת רישיונות ופיקוח על בעלי רישיונות בתחום הגז הטבעי, האחריות לקביעת תעריפים וקביעת אמות מידה למתן שירותים וקביעת הסדרים בין השחקנים בשוק.

משק הגז הטבעי מורכב ממספר גורמים (ראה איור 1-12) בעלי תפקידים שונים, אשר פועלים יחדיו על מנת לקיים את כלכלת הגז בישראל:

ספק גז - חברה אשר לה זיכיון לאספקת גז טבעי מהמאגרים בהתאם למפרט המוגדר מראש ברשיון ובהסכם עם חברת ההולכה. ספק הגז אחראי להפקת הגז ממעמקי הים, להולכת הגז לאסדה ימית או למתקן טיפול יבשתי לצורך טיפול בגז והבאתו לאיכות הנדרשת, לביצוע הפחתות לחץ כנדרש, ולמדידת הכמויות המוזרמות, במונחי אנרגיה, לפני כניסת הגז למערכת ההולכה. כיום, שותפות תמר הנה ספק הגז היחיד הפעיל בישראל, המספק גז ממאגר "תמר". בימים אלה מקודם גם פיתוח מאגר "לווייתן".

בנוסף למקורות הגז שבשדות הגז שבים, ניתן במידת הצורך ליבא את הגז בצורתו הנוזלית (LNG)¹ באמצעות אניות מיוחדות לישראל. גט"ן מועבר מהאנייה המובילה לאנייה מיוחדת ("אנייה מגזזת"), העוגנת על מצוף ימי מיוחד, ותפקידה לקבל את הגז כנוזל, להפכו לגז, ולהוליכו בצנרת ימית למערכת ההולכה.

1 גט"ן - LNG - Liquefied Natural Gas

פרק 13

בטיחות במערכות גז טבעי

אינג'נדב אנוך

השתתפו בכתיבה: אינג' ברוך פוקס, אינג' איתי ברנד

13.1 הרכב הגז הטבעי

תורת הבטיחות של הגז הטבעי מתבססת על הנחת זהות בין הגז הטבעי לבין מתאן - כך לפחות למערכות הולכה, חלוקה וצריכה (downstream). בישראל, נכון לעכשיו, הנחה זו היא טריוויאלית מפני שהגז הטבעי הנמצא באזורנו מורכב מ-99% מתאן וחלקו של הגז המיובא (LNG) קטן מאוד. עם זאת, גם במרבית המדינות המפותחות - שבהן חלקו של המתאן בגז שבמערכת ההולכה עומד על 90-95% - מקובל לזהות בין הגז הטבעי למתאן. כך למשל, התקן הבריטי לקביעת אזורי סיכון בהתקנות גז טבעי שאומץ בישראל (IGEM/SR/25, ת"י 25000) מגדיר את התכולה המינימלית של מתאן בגז הטבעי ברמה של 89% [1].

13.2 מערכות הגז הנידונות מבחינת רמות הלחץ

רמת הלחץ הנה גורם מרכזי לניתוח הסיכונים של המערכת הגז טבעי. נציין כי בניגוד לגפ"מ, בכל המערכות הרלוונטיות מבחינתנו, הגז הטבעי נמצא במצב צבירה גזי. בשום לחץ אפשרי הוא לא יהפוך לנוזל כל עוד טמפרטורת הגז גבוהה מ-82°C (נקודה קריטית של מתאן).

לחץ נמוך מוגדר בישראל, בדומה למרבית מדינות אירופה וארה"ב, ברמה של 16 בר ומטה (לחץ תפעולי). לחץ נמוך מאוד מוגדר בישראל כ-4 בר ומטה. מרבית צרכני התעשייה מקבלים היום מרשתות החלוקה (או מתוכננים לקבל) לחץ תפעולי של 2 בר, כאשר הסטייה שלא דורשת התערבות מוגדרת ברמה של $\pm 10\%$. בחלק מהמקרים הורדת הלחץ מתבצעת בגבול שטח המפעל - בדרך כלל מ-7 בר (לחץ מרבי בצנרת פלסטיק) ל-2 בר. בחלק אחר מהמקרים הורדת הלחץ מתבצעת מחוץ לשטח המפעל.

הצנרת הפנים-מפעלית, בלחץ האמור, מתחברת לחדרי האנרגיה, שבהם מתבצעת הורדת לחץ נוספת, בד"כ בקרבת מתקני הצריכה (מבערים של דודי קיטור ושמן, תנורים, מייבשים וכו') מ-2 בר ל-0.2-0.5 בר, ובמרבית המקרים ללחץ של 0.03-0.05 בר, לאחר מכן (לחץ כניסת הגז למרבית המבערים).

פרק 14

קורוזיה במערכות גז טבעי

ד"ר אליק גרויסמן

בתחילת הקורס "חומרים ותקנים בהנדסת נפט וגז" שאני מעביר בטכניון בתכנית "האנרגיה" לתואר שני, אני תמיד מספר את הבדיחה הבאה.

"משה רבנו הוביל את בני ישראל במדבר במשך 40 שנים. משה הוביל אותם לארץ מסוימת, בני ישראל רחרחו את האוויר ואמרו: "מסריח פה מאוד (נפט, כמובן...). בואו נלך לארץ אחרת." משה הביא אותם לארץ אחרת. בני ישראל רחרחו את האוויר בארץ החדשה ואמרו: "גם כאן מסריח (נפט, כמובן...). בואו נלך לארץ אחרת." משה הוביל את בני ישראל לארץ כנען. בני ישראל רחרחו את האוויר כאן ואמרו: "או, כאן האוויר לא מסריח!" ואכן, בישראל אין נפט, וגז טבעי (מתאן) שנמצא לפני זמן מה – הוא טהור כל כך עד שאינו מסריח."

אז אם גז טבעי כל כך טהור, מדוע הוא עלול להיות "אגרסיבי" כלפי חומרים פולימרים ומתכתיים?

בניגוד לבארות נפט, אשר יכולות לייצר נוזלים לא קורוזיביים במשך שנים רבות, בארות גז טבעי יכולות להיות קורוזיביות מלכתחילה. אנו צריכים להיות מודעים לכך, ולהתכונן למצב שבו מרכיבי גז טבעי יגרמו לקורוזיה ולסיכון חיי אדם, היות שהפקה, טיפול, הפרדה, הובלה, אחסון וחלוקה של גז טבעי מתבצעים תוך שימוש בצינורות ובציוד מתכתיים. קורוזיה של מבנים אלה עלולה לגרום להיווצרות חורים וסדקים, והגז – שהוא חסר ריח וצבע ומכיל זיהומים רעילים – עלול לגרום נזקים לסביבה ולבני אדם, עד כדי מוות. לכן, נושא הקורוזיה במערכות גז טבעי הוא חשוב מאוד. בפרק זה נתאר תורה ותהליכים של קורוזיה, בקרה וניטור במערכות גז טבעי.

14.1 תורת קורוזיה

קורוזיה הנה קשר הדדי בין מתכת לסביבה אשר גורם להידרדרות תכונות של מתכת וסביבה [1]. לכן, על מנת להבין ולחזות התנהגות של מתכות, יש לחקור תכונות של מתכות וסביבה. מבנים וציוד במערכות גז טבעי עד לשנות ה-80 של המאה העשרים היו עשויים מפלדה רכה. התפתחות בארות גז הנמצאות בעומקים גדולים ובעלות טמפרטורות

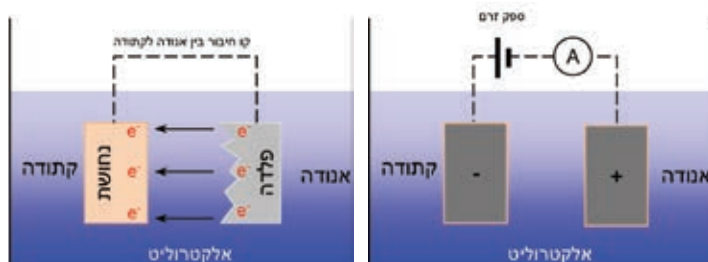
פרק 15

הגנה קתודית

אינג' אלי אלגריסי

15.1 הקדמה

בתורת הקורוזיה, ידוע כי זרם ישר הנפלט מגוף מתכתי גורם לאיכול של המתכת ביחס ישר לגודל הזרם הנפלט. על פי פאראדיי - מסת החומר הנוצר או המתכלה בתהליך אלקטרוליזה נמצאת ביחס ישר לכמות המטען הזורם דרכו. לדוגמה, זרם של אמפר אחד, שנפלט מצינור ברזל במשך שנה, יגרום להפחתת מסת המתכת בכ-10 ק"ג [5-1]. תא גלווני, או תא וולטאי (Galvanic or Voltaic Cell) הנו תא שבו מתרחשת תגובה כימית ספונטנית, המייצרת זרם חשמלי. השימושים הנפוצים של תא וולטאי הנם במצברים ובסוללות. בנוסף, ניתן להגדיר גם תא אלקטרוליטי Electrolytic Cell, ראה איור 1-15. זהו תא שבו מופעל זרם חשמלי ממקור חיצוני הגורם לתגובה הכימית (תגובה מאולצת). שימושו הנפוצים: בתהליכי הפרדת תרכובות ליסודות, ציפויים מתכתיים, הגנה קתודית ועוד.



ב

א

איור 1-15: תיאור סכמטי של **א.** תא אלקטרוליטי **ב.** תא גלווני

15.2 סוגי הגנה קתודית

ישנם 2 סוגים של מערכות הגנה קתודית להגנה על תשתיות תת-קרקעיות והם: הגנה פסיבית או "אנודות הקרבה", והגנה אקטיבית או "הגנה בזרם מאולץ". פרק זה אינו מתיימר לתאר את עיקרון ההגנה הקתודית, וההנחה היא שהקורא מתמצא בבסיס הרעיון. בעיקרון, שני סוגי הגנה קתודית אלו פועלים באמצעות היפוך הזרם החשמלי. שני סוגי ההגנה

פרק 16

רגולציה בתחום הגנת הסביבה

רעות רבי

16.1 יתרונות סביבתיים לשימוש בגז טבעי

גז טבעי נחשב לדלק הפוסילי הנקי ביותר. השילוב שבין הרכבו הכימי, ערכו הקלורי, תכונותיו, והטכנולוגיות הקיימות להפקת אנרגיה באמצעותו, מביא לכך שייצור יחידת אנרגיה מגז טבעי הנה החלופה הסביבתית הטובה ביותר מבין הדלקים הפוסיליים. לגז הטבעי תפקיד קריטי בהחלפת השימוש בדלקים מזהמים ובצמצום סיכונים סביבתיים ובריאותיים. הגז הטבעי, כחלופה לדלקים פוסיליים אחרים, מפחית את זיהום האוויר הנפלט מתחנות הכוח ומהתעשייה, והנו בעל פוטנציאל משמעותי לצמצום הזיהום והנזק הבריאותי מכלי רכב. בנוסף, הגז הטבעי יאפשר צמצום הסיכונים אליהם חשופה האוכלוסייה, כדוגמת אחסון אמוניה בכמויות גדולות, אשר יתייתר במידה ותיוצר באופן עצמי. מסיבות אלה, גובשה מדיניות סביבתית במדינות המערביות ככלל, והאירופאיות בפרט, המורכבת מרגולציה סביבתית, הקובעת תנאים הגורמים להרחבת השימוש בגז טבעי, מחד, ומכלים וולונטריים לעידוד השימוש בגז טבעי, מאידך. בפרק זה מפורטים היתרונות הסביבתיים הקיימים בגז טבעי, בשימושי השונים בייצור אנרגיה, בתעשייה ובתחבורה, ולצדם כלי מדיניות ורגולציה סביבתית שמטרתם עידוד השימוש בגז טבעי ומקסום התועלות הסביבתיות והבריאותיות הטמונות בו.

16.2 מדיניות סביבתית בשימוש בגז טבעי - שימוש מקומי וייצוא

שאלת מדיניות הקצאת הגז לשימוש מקומי, וכן שאלת הייצוא, נדונות במשק ובחברה הישראלית החל מעת גילוי מאגרי הגז בשנת 1999, דרך דיוני הוועדה הבין-משרדית לבחינת מדיניות הממשלה בנושא משק הגז הטבעי בישראל ("ועדת צמח"), בשנים 2012 עד 2013, ועד לסיכום מתווה הגז בשנת 2016. ועדת צמח, אשר המלצותיה שימשו כבסיס להחלטת שיעורי ייצוא הגז, קבעה אותן תוך שאיפה למקסם את ערכם של המשאבים המוגבלים בעבור המשק הישראלי, וכן להיעזר בהם לשיפור יחסי החוץ של המדינה. לדו"ח הוועדה נלוותה "עמדת מיעוט" של המשרד להגנת הסביבה, אשר סבר כי יש לתת עדיפות מוחלטת לצורכי המשק המקומי, על מנת ליצור תנאים למיצוי כל התועלות הטמונות באפשרות הסבת המשק הישראלי לגז טבעי, ובהתאמה - לדחות את ההכרעה בשאלת הייצוא בשלוש שנים. תרחישי הביקוש שבחנה הוועדה התייחסו לשיעורי שימוש שונים של גז טבעי לחשמל, לתעשייה ולתחבורה, וכן

פרק 17

עקרונות הרגולציה בתחום הגז הטבעי בישראל

קונסטנטיין בלז

”לצפות שהכול ילך לפי התכנית שהוכנה מראש

זה כמו לנענע אדם מבוגר בעגלת תינוק”

(אדמונד בורק, 1729-1797)

17.1 הקדמה

חוק משק הגז הטבעי, אשר נחקק בשנת 2002, מסדיר את מרבית הפעילות בתחום הגז הטבעי בישראל, ומתווה הסדרה במספר רבדים מרכזיים: רישוי ויחסים מסחריים, תכנון סטטוטורי ורישוי מקרקעין, ופיקוח על הבטיחות בפעילותם של בעלי הרישיונות עפ”י החוק.

בתחום הרגולציה הכלכלית, מדובר בחוק שבא לעודד פעילות מסחרית של גורמים פרטיים, והסעיף הראשון לחוק ברור מאוד בעניין זה:

1. (א) מטרתו של החוק הן:

- (1) ליצור תנאים לפיתוח ענף הגז הטבעי בישראל באמצעות המגזר הפרטי ולקיום תחרות בענף זה, בהתאם למדיניות הממשלה בתחומי הכלכלה והאנרגיה;
- (2) להסדיר את הפעילות במשק הגז הטבעי באופן שיאפשר השקעות בו ומתן שירותים ברמת איכות, אמינות וזמינות נאותים, ובשים לב לשיקולי יעילות;

ראייה זו של משק הגז הטבעי הושתתה על שני שיקולים מרכזיים: (1) כאשר חוקק, וכן כאשר נבנו יסודות המשק בשנים 2003-2008, לישראל היו מקורות מצומצמים של גז טבעי; (2) גז טבעי איננו מוצר חיוני טהור, היות שיש לו חלופות בדקות, שהמשק מתבסס עליהן עשרות שנים: פחם, סולר, ומזוט - בייצור חשמל; סולר, מזוט, גפ”מ וחשמל - בתעשייה; וגפ”מ וחשמל - בצריכה הביתית.

התגליות של השנים 2009-2013 (“תמר”, “לווייתן”, “תנין” ו-“כריש”) והקמת מתקן קליטת גז טבעי נזלי מול חוף חדרה, פתרו, נכון להיום, את סוגיית הבטחת האספקה למשק; כאשר המאגרים “לווייתן” ו”כריש” מבטיחים עתודות גז רציפות לטווח ארוך.

הדיון הוא בנוגע להיותו של הגז הטבעי מוצר חיוני שיש להביא לכל צרכן פוטנציאלי, בדומה למים או לחשמל (ולמה שעד לפני כמה שנים היה קו טלפון או כבל טלוויזיה, לפני