

אסטרטגית מימן

עקרונות מנחים וצמתי הכרעה
מסמך סופי לאחר הערות הציבור



עבודה זו נכתבה על ידי הצוותים המקצועיים במשרד האנרגיה

עורכים ראשיים:

נטע כאנר, תכנון פיזי

ד"ר שחר דולב, תכנון מדיניות ואסטרטגיה

ג'נט שלום, תכנון מדיניות ואסטרטגיה

נועם דגני, תכנון מדיניות ואסטרטגיה

יותם בן שטרית, תכנון מדיניות ואסטרטגיה

בת-ציון בן-דוד גרסטמן, תכנון מדיניות ואסטרטגיה

צוות מקצועי:

אפרת בכר נתנאל, יועצת מנכ"ל; אילן בנימין, מנהל אגף א', מינהל הדלק והגז; חן בר יוסף, מנהל מינהל הדלק והגז; ד"ר שרית ברנד קליבנסקי, מנהלת אגף מחקר מדעי האדמה, מדען ראשי; אלעד גולדברג, מנהל תחום אסטרטגיה ופרויקטים, רשות הגז הטבעי; משה גראזי, מנהל רשות הגז הטבעי; דורית הוכנר, מנהלת אגף בכיר, תכנון פיזי; מאזן זועבי, סגן מנהל אגף בכיר הנדסה, רשות הגז הטבעי; שרון חצור, סמנכ"לית תכנון מדיניות ואסטרטגיה; נחום יהושוע, ראש אגף תחבורה נקייה, אנרגיה מקיימת; משי לקס, מנהלת תחום חדשנות ומדיניות, אגף תכנון מדיניות ואסטרטגיה; חיים מלמד, מנהל אגף בכיר הנדסה ותשתיות, רשות הגז הטבעי; ד"ר גדעון פרידמן, מדען ראשי; עמוס קמחין, מרכז בכיר, הנדסה תקינה ורישוי ופיקוח;

תוכן עניינים

5	תקציר מנהלים
5	עיקרי העבודה
13	רקע
15	מימן – מאפיינים ושרשרת הערך
17	ייצור מימן
18	הובלת מימן
21	תהליך אחסון ואגירת מימן
23	שימושים
25	סיכום מימן – מאפיינים ושרשרת הערך
26	מבט עולמי ומקומי על משקי האנרגיה ואסטרטגית מימן
26	מבט עולמי
30	סיכום מבט עולמי
32	מבט מקומי: ישראל
33	הובלה
34	שימושים
35	מו"פ
36	סיכום מבט מקומי: ישראל
37	מודל טכני: עקרונות והנחות
37	ההנחות בבסיס המודל
38	מתודולוגיה
38	תרחיש מינימום
40	תרחיש מקסימום
42	מסקנות המודל
43	דיון
45	גיבוש מדיניות מימן וצמתי הכרעה
47	מפת הדרכים
49	מחקר ופיתוח – טווח קצר-בינוני
50	קידום עמקי מימן מקומיים-טווח קצר-בינוני
51	תשתיות
51	טווח קצר-בינוני
52	טווח ארוך
54	מדיניות ורגולציה
54	טווח קצר-בינוני
54	מדיניות
54	רגולציה
56	טווח ארוך

56	מדיניות
56	רגולציה
57	קידום ושילוב ישראל במארג הבינלאומי של מימן
59	סיכום
61	נספח א' – סוגי מימן
62	נספח ב' – סקירה בינלאומית
62	גרמניה
64	הולנד
66	יפן
68	בריטניה
70	איטליה
72	ארצות הברית
75	נספח ג – השקעה בעמקי מימן- השוואה בינלאומית
80	נספח ד – סטטוס הצעדים שהותוו והפעולות שנעשו

תקציר מנהלים

עבודה זו מבקשת לבחון את משמעות שילובו של מימן במשק האנרגיה הישראלי ולהתוות את האסטרטגיה לכך. העבודה נעשית לאור המטרה להפחית פליטות במשק האנרגיה תוך שמירה על הביטחון האנרגטי וכלכלת ישראל. במסגרת זו, עורך המשרד בחינת עומק של טכנולוגיות ושיטות שונות שיאפשרו למשק האנרגיה להגיע למשק דל פחמן בשנת 2050 ובכך לעמוד בחזון המשרד לשנת 2050.

מטרת העבודה לבחון את מידת התאמתה של טכנולוגיית המימן למדינת ישראל, ובהתאם למפות את הצעדים וצמתי ההכרעה הנדרשים כדי להטמיעה במשק האנרגיה. העבודה כוללת בחינה של מאפייני המימן, משלב הייצור ועד לשימושים האפשריים, המגמות העולמיות ביחס למימן והשתלבותו במשקי האנרגיה והתנאים ההכרחיים לכך. בנוסף, נבחנה השתלבות המימן לאור המאפיינים הייחודיים של ישראל, ואף גובש מודל ייחודי שדרכו נבחנו השלכות שילוב המימן. לאחר בחינת עומק של כל אלו, גובשה מפת דרכים דינמית להערכות לשילוב מימן בישראל.

♥! העבודה פורסמה להערות הציבור במאי 2023, ועתה מובאת בגרסה עדכנית לאחר הטמעת ההערות.

מידע שנוסף מסומן בהערות שוליים בצבע אדום.

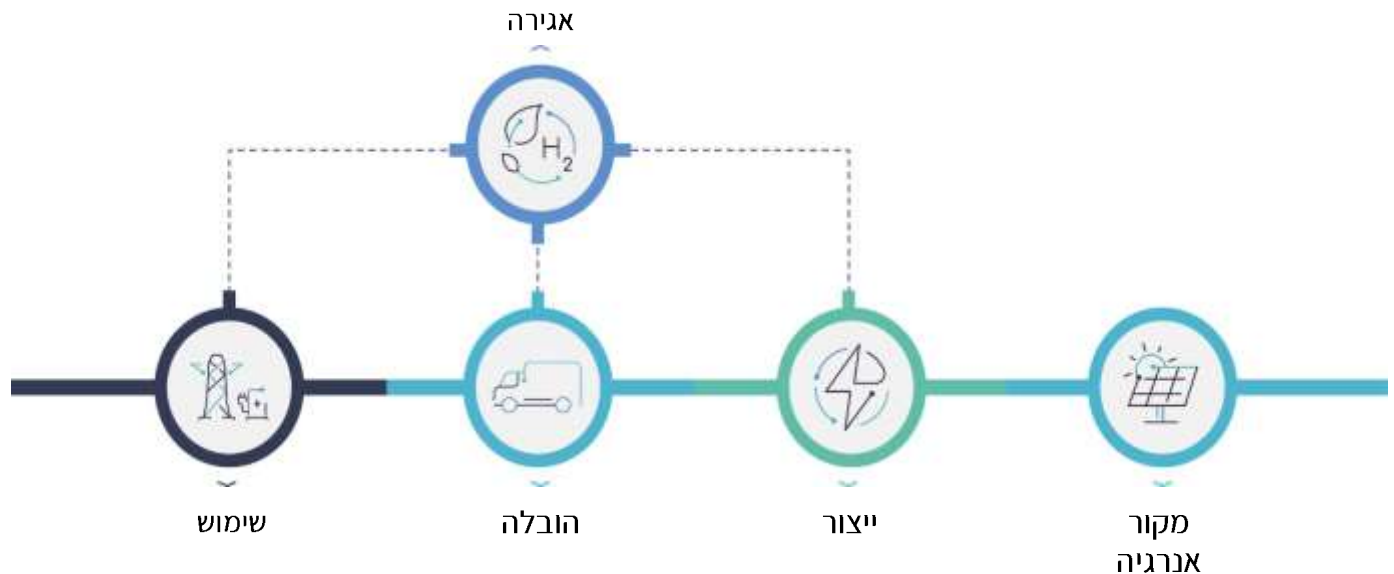
עיקרי העבודה

מאפייני המימן: החלק הראשון של העבודה עוסק במיפוי ובתיאור שרשרת הערך של המימן - משלב הייצור, ההובלה, האגירה ועד השימושים. המימן יכול לשמש כמקור אנרגיה זמין ונקייה לתעשייה, לייצור ולאגירת חשמל, כחומר גלם בתעשייה הכימית והנעת תחבורה כבדה (משאיות, ספינות ומטוסים). המימן הנו יסוד קל במיוחד ודליק, הוא מצוי באחוזים בודדים כיסוד חופשי בטבע ועל כן הוא מצריך תהליך פירוק מתרכובות מכילות מימן. ניתן לייצר מימן ממגוון תרכובות (דלקי מאובנים, גז טבעי ואפילו מים).

תהליך הייצור של מימן מתחיל במקור אנרגיה זמין לתהליך הפקת המימן. כיוון שנקודת המוצא לשימוש במימן היא הפחתת פליטות, המיקוד של עבודה זו יהיה במקורות של אנרגיה מתחדשת, או לחילופין בתהליכים שמאפשרים תפיסת פד"ח (פחמן דו חמצני). בהקשר זה יצוין כי נכון להיום מתבצע ייצור מימן מדלקים פוסיליים (מימן אפור), או מתוך תהליך תעשייתי/כימי (by product); וחלק קטן, פחות מ-0.7% הוא מימן דל פליטות. אולם, בחינת התחזיות העולמיות מלמדת כי עד שנת 2030 המקורות לייצור מימן יהיה מאנרגיות מתחדשות (מימן ירוק כ-60%) או עם טכנולוגיות לתפיסת פחמן (מימן כחול כ-40%).

ייצור המימן ממקור האנרגיה הנבחר מתבצע תוך שימוש באחת משלוש טכנולוגיות מרכזיות: אלקטרוליזה, פירוליזה וקיטור. בתום תהליך הייצור, המימן מובל בדרכים שונות, תשתיות (צנרת), או שינוע במכלי אחסון במשאיות או בספינות

לשימושים במגזרים השונים (תחבורה, תעשייה, חשמל ואגירה). מניתוח Bloomberg עולה,¹ כי עלות ההובלה לק"ג מימן, זולה יותר באמצעות הקמת צנרת יבשתית, לעומת אחסון במכלים (תרשים 5 – ניתוח עלויות הובלת מימן). יצוין כי היכולת לאגור מימן משתלבת בשרשרת הערך לפני ו/או אחרי ההובלה. בכל הנוגע לאחסון אנרגיה, כיום, עיקר הטכנולוגיות הזמינות הן לטווחי זמן קצרים, ולמימן קיים פוטנציאל יכולת לאחסן גם לטווח הקצר והבינוני, ובכך לחזק את אמינות האספקה.² למימן אף יתרון נוסף, והוא לתת מענה לאגירת אנרגיה לטווח הארוך (אגירה עונתית).³



למימן פוטנציאל לשמש כדלק לתעשייה הכבדה, לתחבורה, להפעלת תחנות כוח ולאגירה לטווח ארוך. ככל שהמימן מיוצר מאנרגיות מתחדשות או עם טכנולוגיות לתפיסת פחמן, אזי השימוש בו מאפשר הפחתת פליטות משמעותית, ועשוי להוות מקור אנרגיה נקי בתמהיל האנרגיה העתידי. מסקירה עולמית וטכנולוגית עולה כי הייצור, ההובלה והשימוש מחייבים התאמות שטח והקמה של תשתיות למימן, לעיתים אף בהיקף נרחב. עוד עולה מהסקירה, כי הבשלות הטכנולוגית של מימן לשימושים השונים, מתאימה באופן משמעותי יחסית לתחבורה, באופן בינוני לתעשייה, ואילו במשק החשמל, נכון להיום, הבשלות הטכנולוגית היא הנמוכה ביותר.

בנוסף, לפי התחזית העולמית השימוש במימן צפוי לגדול, ולכן עשויות להיווצר מדינות בהן הביקוש למימן עולה על ההיצע. כתוצאה מכך, יהיו מדינות שייבאו מימן ויהיו כאלו שייצאו מימן, וזאת כמובן בהתאם לפוטנציאל ייצור המימן מאנרגיות מתחדשות בכל מדינה. על-פי התחזיות השונות, עד שנת 2030 הביקוש למימן עתיד לגדול בכ-40% (כ-130 מליון טון מימן ביחס לשנת 2021), כאשר רוב השימוש יהיה עבור התעשייה (כ-115 מליון טון) והיתר יהיה לשימוש תחבורה, מבנים וייצור חשמל.⁴

¹ [Hydrogen: The Economics of Transportation & Delivery](#), Bloomberg, October 2019, p.1

² [The Future of Hydrogen](#), IEA, June 2019, p.86; 04.08.2022

³ לטובת עבודה זו – אחסון מימן הוא לטווח זמן קצר עד בינוני (ימים עד חודשים), בעוד שאגירה היא לטווח זמן ארוך (שנים).

⁴ [Global Hydrogen Review 2022](#), IEA, September 2022, p.18

עם זאת, נכון להיום, תהליכי הייצור והשימוש במימן הם בעלי נצילות נמוכה, בייחוד כאשר מדובר על ייצור ושימוש במימן ירוק. בנוסף, עלויות הייצור של מימן מאנרגיות מתחדשות הן גבוהות יחסית לאלטרנטיבות (\$4-9 לק"ג מימן).⁵ נתונים אלו מעלים סימן שאלה מהותי לגבי כדאיות השימוש במימן, אך ככל שיהיה שיפור בנצילות ועלויות הייצור ירדו, יתעצם השימוש במימן במשק העולמי, דבר שיחייב מענה לאתגרי הובלת המימן ברמה האזורית וברמה הבינלאומית.

מבט עולמי: על מנת להבין לעומק את פוטנציאל השימוש במימן, נעשתה סקירה משווה שבחנה את מדיניות המימן של מספר מדינות נבחרות - גרמניה, הולנד, יפן, בריטניה, איטליה וארה"ב.⁶ מתוך הסקירה עלה כי מדינות בעולם, ובראשן מדינות אירופה וארה"ב, בוחנות את השימוש במימן כחלק ממנגד הטכנולוגיות להפחתת פליטות במשק האנרגיה. על בסיס הסקירה ניתן למפות שני מניעים מרכזיים לקידום משק המימן: האחד הוא צרכי המשק המקומי, בדגש על צרכי התעשייה הכבדה. המניע השני הוא מיצוב המדינה כשחקנית בינלאומית - אם כמדינה שמייצאת מימן, ואם כשחקנית מפתח בהובלת המימן לחלקים שונים באירופה. כמעט בכל המדינות ישנם מספר צעדים מרכזיים, הכוללים:

1. גיבוש אסטרטגיה לקידום מימן, בין היתר כדי להבין את היקף הצריכה הצפוי של מימן, ובחינת מקורות אנרגיה למימן.
2. השקעה תקציבית נרחבת החל מתקציבי מו"פ ועד מתן תמיכות, הטבות מס ותמיכות נוספות במחקרים בכל שרשרת הערך של מימן לפיתוח משק המימן. מתוך כך, ניכרת השקעה משמעותית בעמקי מימן, כאחד הכלים המרכזיים בפיתוח משק מימן.
3. בחינת היתכנות לשימוש במימן בתשתיות הקיימות של גז טבעי.
4. מדינות רבות מבקשות לקדם הסכמים בינלאומיים לעידוד וקידום מימן ולייצר שיתופי פעולה ביחס לייצור וצריכה עתידיים, קידום תשתיות בינלאומיות, שיתוף ידע, מחקר משותף ועוד.

חלק מהמדינות שנסקרו הציבו לעצמן יעדים להפחתת פליטות בתהליך הייצור באמצעות הגדלת השימוש במימן ירוק כבר בשנת 2030. עם זאת, המדינות גם קבעו מספר תנאים הכרחיים שרק עם קיומם, תבשיל העת לשימוש נרחב במימן; **הוזלת מחירים משמעותית, קפיצה טכנולוגית שתאפשר נצילות גבוהה יותר, התפתחות של תשתיות ייבוא בינלאומיות, ויכולת הסבה של תשתיות קיימות להובלת מימן (רשת גז טבעי) -** כל אלו נתפסות כהכרחיות לשילוב משמעותי של מימן במשק האנרגיה.

⁵ [Global Hydrogen Review 2022](#), IEA, September 2022, p.92

⁶ ארה"ב נוספה לסקירה המשווה בעדכון העבודה, מתוך הערות הציבור שהועלו במסגרת פרסום טיוטת העבודה ובכנס שיתוף בעלי עניין שהתקיים ביוני 2023

מבט מקומי: בהסתכלות מקומית, נראה כי המאפיינים הייחודיים של ישראל מצביעים מצד אחד על צורך עתידי לקידום משק המימן בישראל, ומצד שני על אתגר בקליטת מימן עתידית:

1. משק האנרגיה הישראלי מתקיים בתוך הקשר עולמי רחב. לכן, למגמות העולמיות ביחס לשימוש במימן תהיה השפעה ישירה על שילוב מימן במשק האנרגיה בישראל.
2. מיקומה הגאוגרפי-אסטרטגי של ישראל מאפשר למצב אותה כנקודת קישור בין המדינות המייצאות מימן למדינות צורכות מימן באירופה.
3. מקור האנרגיה המרכזי של ישראל, נכון להיום, הוא עתודות גז טבעי משמעותיות שהתגלו בשנים האחרונות. מאפיין זה יכול לייצר לישראל יתרון יחסי בשימוש בייצור ושימוש במימן כחול. עם זאת, אמצעי תפיסת פחמן נחשב לטכנולוגיה שעדיין נמצאת ברמת בשלות בינונית⁷. בנוסף, בשנים הקרובות שימוש ישיר במקורות האנרגיה של ישראל יהיה יעיל יותר מניצולם לייצור מימן.
4. בתחום האנרגיה המתחדשת, המקור העיקרי בישראל הוא אנרגית שמש (סולארית). שימוש במימן ירוק יכול לענות על הצורך באגירה עונתית באחוזי חדירה גבוהים מאד של אנרגיה סולארית.
5. ישראל נתפסת בעולם כאומת החדשנות, הודות להון האנושי שלה. שילוב ההון האנושי עם מאפייני הייחודים מאפשרים לה להיות "מעבדת חדשנות", גם לפיתוח טכנולוגיות מימן.
6. מדינת ישראל מאופיינת בקצב גידול מהיר ובצפיפות אוכלוסייה גבוהה, יחד עם שטח מוגבל. מצב זה עלול לאתגר את היכולת להקים תשתיות נדרשות לייצור, הובלה, אחסון ושימוש במימן.
7. בסקטור התחבורה הדגש הוא על תחבורה כבדה, שגם זו מאוד מצומצמת בישראל ביחס למדינות הנסקרות. רובד נוסף המשפיע באופן ישיר על השימוש בתחבורה כבדה מונעת מימן בישראל הוא גודלה, בעלת מרחקי נסיעה קצרים יחסית, שלא בהכרח מצדיקים שימוש בו.
8. בכל הקשור לתעשייה הישראלית נראה כי מאפייניה של ישראל, כמו גם אופייה של התעשייה הישראלית, מובילים לאסטרטגיה כללית של חשמול התעשייה, למעט תעשיות כבדות שאינן מתאימות לחשמול אך מתאימות למימן.

ניתוח מאפייניה של ישראל, לצד ניתוח משק האנרגיה ומאפייניו של המימן, מצביעים על אפשרויות שונות לקידום משק המימן בישראל במטרה להפחית פליטות. הניתוח התבסס על מאפייניה הייחודיים של ישראל, בשילוב המגמות העולמיות, ובמודל הביקושים למימן.

מודל הביקושים והמתודולוגיה הנבחרת: מודל הביקושים למימן מתבסס על מודל ביקוש כללי לאנרגיה שפותח במשרד האנרגיה והתשתיות.⁸ המודל מנתח את ערוצי הביקוש לאנרגיה, ובפרט במגזרי התחבורה השונים, כמו גם הביקוש בתעשייה ובמשק החשמל. במודל מספר תרחישים לכל מגזר, והוא מפרט את הביקוש המצרפי למימן, חשמל ודלקים סינתטיים על פי שנים ועד לשנת 2050. המודל מחשב את השינוי שיתחולל עד לשנת 2050 בביקוש לשירותים השונים – כגון סך הנסועה בכלי הרכב מהסוגים שנבחנו, או סך הביקוש לחשמל. נדגיש כי המודל עוסק בביקושים

⁷ [Global Hydrogen Review 2022](#), IEA, September 2022, p.226

⁸ הנתונים במודל חושבו בהתאם לנתונים פנימיים של משרד האנרגיה והתשתיות, רשות החשמל, נתוני למ"ס ונתונים בינלאומיים

המצרפיים לאנרגיה, וכולל ניתוח שטח ראשוני נדרש בלבד (לדוגמה, השטח הנדרש למערכות סולאריות), ואינו כולל ניתוח כלכלי או ניתוח שעתי של הביקושים.

מכיוון שחוסר הוודאות באשר לאימוץ טכנולוגית המימן גבוהה יחסית, בנקודת הזמן הקיימת נבחרה מתודולוגיות קצוות: כלומר, מתודולוגיה שבוחנת שני תרחישי קצה - שימוש מינימלי במימן, ושימוש מקסימלי. מתודולוגיה מסוג זה מניחה כי התפתחות המשק בפועל תהיה בטווח בין התרחישים. מתודולוגיה זו מאפשרת היערכות לתרחיש המינימום כבר היום, ובמקביל להיערך, לפי הצורך, לקראת תרחיש מקסימום אשר ישרת גם תרחישי ביניים.

שימושים: השימושים העיקריים שנבחנו במודל הם במשק התחבורה, התעשייה והחשמל, תוך התייחסות לתרחיש מינימום ומקסימום צריכה של מימן לשנת 2050.

משק התחבורה: לפי תרחיש מינימום ההערכה שידרש כ-22 אלף טון מימן בשנה, לעומת תרחיש מקסימום שעשוי להגיע עד כ-278 אלף טון מימן. הנחת הבסיס היא שבשל התנאים הקיימים בארץ, רוב התחבורה תהיה חשמלית, אך ישראל תלויה במגמה העולמית לגבי השינויים וכיום מתקיים דיון עולמי אודות הסוגיה האם מימן ייכנס באופן משמעותי לתחבורה כבדה וציבורית.

משק תעופה וספנות: רוב הדלקים במשק זה עתידיים להיות עם נגזרות כלשהן של מימן, ולכן בתרחיש מינימום אנו מעריכים שידרשו כ-382 אלף טון לעומת תרחיש מקסימום שידרשו כ-442 אלף טון מימן בשנה. עם זאת, כיוון שמדובר בנגזרות מימן, יתכן ויידרש ייבוא.

משק התעשייה: בישראל יש תעשייה כבדה מצומצמת הנדרשת לתהליכים חום גבוה (בשונה ממדינות כמו גרמניה), ולכן הונח כי בתרחיש מינימום 50% מצריכת האנרגיה ב-10 המפעלים הגדולים יידרשו התאמה/הסבה למימן, ואילו בתרחיש מקסימום הנחה זו הוחלה על כ-15 מפעלים.⁹

משק החשמל: בתרחיש המינימום הונח כי כל החשמל שמיוצר מאנרגיות מתחדשות מופנה ישירות למשק החשמל, וחלק מהביקוש לחשמל מקבל מענה דרך טכנולוגיות אחרות ממימן, כמו אחסון או ייצור בגז טבעי עם תפיסת פחמן. בתרחיש המקסימום הונח שהמימן יהיה רלוונטי גם לייצור חשמל וגם לאחסון. הנחה זו מעלה משמעותית את הביקוש למימן בתרחיש זה.

תוצאות המודל מעידות על כך שנדרשת היערכות כבר בעשור הקרוב של משק האנרגיה הישראלי כדי לאפשר שימוש במימן כמקור אנרגיה. ככל שמימן צפוי לקחת חלק ממשקי האנרגיה בעולם, הרי שכבר בתרחיש מינימום היקף הביקוש הצפוי בשנת 2050 יעמוד על כ-578 אלף טון מימן בשנה,¹⁰ כאשר בתרחיש מקסימום הביקוש הצפוי עשוי לנוע בין כ-1.6 מיליון טון מימן ועד כ-5.2 מיליון טון מימן בשנה.

גם צפי לתרחיש המינימום בלבד מחייב היערכות הנוגעת להקמה של תשתיות לשימוש במימן; בין אם מדובר על ייצור מקומי ובין אם מדובר על אפשרויות ייבוא שיתנו מענה לביקושים הצפויים, וכאמור ייבוא עשוי לחזק את מעמדה של

⁹ הערה שנוספה בעדכון העבודה: בימים אלו מבוצע סקר מימן בתעשייה, בשיתוף פעולה עם התאחדות התעשיינים. תוצאות הסקר עם הביקושים העתידיים למימן, ייחלבו בעדכון העבודה העתידי

¹⁰ הערה שנוספה בעדכון העבודה: הנתון כ-550 אלף טון מימן בשנה שהוצג בפרסום המסמך הראשוני, לא כלל שימוש עבור תעופה וספנות

ישראל כגורם מקשר בין מדינות ייצוא מימן למדינות אירופה. מתרחיש המינימום עולה צורך בשימוש מקומי ומצומצם במימן (התואם את הצריכה המקומית), ובהתאם מוצע להקים אזורי ייצור וצריכה מקומיים (עמקי מימן) אשר ייתנו מענה משלים לאיפוס פליטות של מגזרי התחבורה והתעשייה הכבדה. בהמשך, אזורים אלה יוכלו להוות בסיס למשק מימן נרחב. מתרחיש המקסימום עולה צורך בהערכות לשימוש נרחב במימן במשקי החשמל והתחבורה הכבדה. עוד עולה כי בשני התרחישים יהיה שילוב של ייצור מימן באופן מקומי וייבוא מימן.

מסקנות

מסקנת העבודה היא כי נכון להיום, וככל שמימן צפוי להשתלב במשקי האנרגיה בעולם, הרי ששילובו של מימן במשק האנרגיה הישראלי בכל אחד מהתרחישים שנבחנו מחייב הערכות וצעדי מדיניות אשר יאפשרו זאת. עם זאת, יש לפעול בצורה הדרגתית וזאת בהתאם למגמות העולמיות והמאפיינים הייחודיים של ישראל:

1. **יש להיערך לשילוב מימן כבר היום:** כאמור, גם תרחיש המינימום צופה שימוש במשק האנרגיה במימן, אשר מחייב הערכות הן ברמה הרגולטורית, הן ברמת התשתיות הפיסיות והן ביחס למדיניות ברמה הלאומית והבינלאומית. סיבות נוספות אשר תומכות בהערכות הן הפוטנציאל הרחב שיש לישראל לקחת תפקיד מוביל בתחום החדשנות, בייחוד לטכנולוגיות שנמצאות בשלבי הבשלה ופיתוח כגון טכנולוגיית מימן. בנוסף, מתוך הסקירה הבינלאומית עולה כי כל המדינות משקיעות בפיתוח מימן, ואף פועלות לקידום MOU עם מדינות שונות לייבוא מימן. בשל מיקומה האסטרטגי של ישראל, היא נדרשת להיערך כבר היום כדי לקחת חלק מרכזי כמדינה שתהווה גשר בין מדינות מייצאות לאירופה. עובדה אשר מחזקת את החשיבות בהשקעה בפיתוח מקומי של טכנולוגיית המימן ותשתיות נדרשות הן לייבוא, והן ביחס להשתלבות אפשרית במארג הבינלאומי של תשתיות.

2. **ביחס למשק המקומי עם מאפייני הייחודיים של ישראל, ובשילוב הבשלות הטכנולוגיות של מימן – ניתן להסיק על הערכות לשימוש מצומצם במימן בשלב זה:** לישראל יש צפי לשימושים בהיקף מצומצם יותר משל מדינות אחרות, בייחוד בתחבורה ובתעשייה. בהתאם, נראה כי ההיערכות למשק המקומי מצריכה תשתיות אזוריות והערכות לתשתיות נדרשות לייבוא (כאמור שילוב של מימן במשק החשמל יצריך תשתיות ארציות, אך כפי שעולה גם מהסקירה הבינלאומית, שימוש במימן במשקי חשמל אינו צפוי בטווח הזמן הקצר והבינוני על כן, בשלב זה מומלץ להיערך, ביחס למשק המקומי, להקמת תשתית מקומית). במקביל, יש לבחון ולהיערך לאפשרות להשתלבות של ישראל במארג הבינלאומי של תשתיות מימן.

3. **המעבר להיערכות רחבה למשק המקומי מותנה במספר תנאים:** קיים חוסר ודאות אודות השימוש העתידי במימן, משום שהטכנולוגיה עוד בשלבי נסיונות ופיתוח וישנם מספר לא מבוטל של גורמים בעלי השפעה על הכדאיות הכלכלית. לכן, המעבר מהיערכות לתרחיש מינימום לתרחיש נרחב יותר מותנית בהבשלה של מספר תנאים הכרחיים. יש לציין, כי גם מהסקירה הבינלאומית עולה כי מדינות רבות הציבו תנאים הכרחיים לפני מעבר לשימוש נרחב. **התנאים המתלים מפורטים בהרחבה בהמשך וכוללים: שימוש עולמי נרחב במימן, התפתחות טכנולוגית, עלות, התכנות שינוע בתשתיות קיימות, יכולת אגירת מימן ואחסון פד"ח בתת הקרקע.**

4. **מומלצת מפת דרכים הדרגתית אשר תבחן בכל שנה, בין היתר בהתאם לתנאים המתלים:** המורכבות שבשילוב מימן מחייבת לבנות מפת צעדים מדורגת, כאשר אופי הצעדים והיקפם יהיה תלוי בבשלות הטכנולוגיה, בין היתר ביחס לשימושים השונים, במאפיינים והצרכים הייחודיים של ישראל, במגמות העולמיות, בהשלכות והמשמעויות אשר עלו מניתוח המודל ובמספר תנאים מתלים אשר גובשו בהתאם לכל אלו.
5. **מפת הדרכים תתמקד בחמישה תחומים מרכזיים:** מחקר ופיתוח, הקמת עמק מימן, תשתיות, מדיניות ורגולציה, מדיניות בין לאומית.

על כן, ככל שמימן צפוי להוות חלק במשקי האנרגיה בעולם, וזאת תחת מספר תנאים הכרחיים אשר מפורטים בהמשך, הרי ששילובו של מימן במשק האנרגיה הישראלי, מחייב היערכות וצעדי מדיניות אשר יאפשרו את כניסתו ושילובו של המימן במשק.

צעדים מומלצים בטווח המיידי:

1. צעדי המדיניות שמניחים את התשתית הראשונית לשימוש מצומצם במימן כבר היום, ויאפשרו הערכות לתרחיש מינימום.
2. צעדי הכנה קריטיים לטווח הארוך ושלא גוררים "עלות" טעות גבוהה.

צעדים לבחינה עתידית: צעדים לקליטה נרחבת של מימן במשק האנרגיה (תרחיש המקסימום), אשר כרוכים ב"עלות" טעות גבוהה. ביצוע צעדים אלה תלוי בתנאים המתלים.

עיקר הצעדים במפת הדרכים:

1. **השקעה במחקר ופיתוח:** לאור היותה של ישראל כלכלה קטנה, לצד היותה אחד ממוקדי החדשנות המובילים בעולם, חלק מתרומתה לכלכלת המימן תהיה בהשקעות משמעותיות במו"פ של טכנולוגיות מימן חדשניות ובהדגמה של מתקנים וטכנולוגיות. פרויקטים של מו"פ והדגמה יאפשרו הנעת משק מימן בישראל ויאפשרו בחינה והתאמת היבטים שונים של הרגולציה, סטטוטוריקה ותקינה למאפיינים המקומיים של ישראל. עיקר המו"פ וההדגמה ייתן מענה לאתגרים המרכזים בתחום המימן: עלויות גבוהות, קשיים לוגיסטיים ובטיחותיים, והעלאת יעילות ייצור מימן בכל שרשרת הערך.
2. **קידום עמקי מימן אזוריים:** עמקי מימן הם אקוסיסטם בהם מספר יישומים סופיים שותפים לאותה תשתית פיזית של אספקת מימן. עמק מימן ממוקם באזור גיאוגרפי מוגדר ומכסה חלק משמעותי של שרשרת הערך של המימן, החל מטכנולוגיות ייצור המימן, דרך אגירה והובלה ועד לשימוש הסופי שלו בסקטורים שונים – תחבורה, תעשייה וחשמל. הקמת עמק מימן בישראל תקדם את היכולת ליישם בפועל שימוש במימן הן בהיבט התשתיתי והן בהיבט המסחרי, תסייע בגיבוש רגולציה מותאמת, קידום מחקר ופיתוח, תשמש הן בשטח נסיינות פיסי והן לשימושים תעשייתיים, ולמעשה תאפשר את עיקר הצעדים המומלצים לטובת הערכות לתרחיש המינימום.

[illegible]

משרד האנרגיה והתשתיות שם לעצמו למטרה להוביל למשק אנרגיה אמין, יעיל ונקי למדינת ישראל. כחלק מהמאמץ העולמי להתמודדות עם משבר האקלים אליו מחויבת מדינת ישראל, משרד האנרגיה והתשתיות ביצע בשנים האחרונות מספר מהלכים משמעותיים להפסקת השימוש בפחם, קידום התייעלות אנרגטית, העלאת שיעור האנרגיה המתחדשת בתמהיל הייצור, העמקת יעדי האנרגיה המתחדשת לשנת 2030 וקביעת יעד 30% אנרגיות מתחדשות בייצור חשמל, וכן בחן אפשרויות לצמצום פליטות פד"ח (CO₂).¹¹

באוקטובר 2021, פרסם המשרד תכנית אסטרטגית ארוכת טווח אשר כוללת יעדי הפחתת פליטות ומסמנת את מפת הדרכים, אבני הדרך ואת האילוצים במשק על מנת להגיע למשק דל פליטות.¹² אחת המסקנות העיקריות מעבודה זו, אשר מקבלת משנה תוקף היום, נשענת על האתגר הגדול של משק האנרגיה להתבסס על אנרגיות מתחדשות בלבד. לפיכך, אחת ההמלצות הייתה בחינת טכנולוגיות עתידיות שיסייעו בהגעה ליעדים של הפחתת פליטות. בהתאם לכך, משרד האנרגיה והתשתיות בוחן בשנה האחרונה ערוצי פעולה אפשריים להגעה למשק דל פליטות. אחת הטכנולוגיות שעלו בבחינה זו, היא טכנולוגיית המימן, וזאת בשל מגוון השימושים הרחב לתחבורה, לתעשייה, לחשמל ולאגירה. במסגרת זו, גובשה אסטרטגית המימן. עבודה זו תבקש לבחון את הפוטנציאל הגלום בשימוש במימן, כמקור אנרגיה מתחדשת ואמצעי לצמצום פליטות.

אנרגיה היא מרכיב מרכזי במדינה מפותחת. עלייה באיכות החיים ובצמיחת המשקים השונים, מביאה לעלייה בצריכת האנרגיה, וכפועל יוצא לגידול בפליטות הנוצרות בתהליך ייצור האנרגיה. ההערכה היא שמשקי האנרגיה העולמיים עתידים להכפיל עצמם עד למחצית המאה הנוכחית. האתגר הניצב כיום הוא ברור, אספקת אנרגיה רציפה, תוך שמירה על הסביבה ותוך צמצום טביעת הרגל הפחמנית.

משק האנרגיה הישראלי אינו פועל בריק, ולתמורות ולמשברים עולמיים יש השפעה ישירה על תפקודו. בין המשברים העולמיים שמשפיעים באופן ישיר על משקי האנרגיה, ניתן למנות את משבר הקורונה,¹³ ומלחמת רוסיה אוקראינה,¹⁴ שהשפיעו כל אחד בדרכו על צריכת האנרגיה העולמית ועל החיפוש אחר מקורות אנרגיה חדשים. מציאות עם משברים עולמיים המביאים לשינויים דרמטיים בטווחי זמן קצרים, מחייבת את המשרד להיערך עם תכניות אסטרטגיות שמבטיחות רציפות תפקודית, מאפשרות מו"פ ומניחות את התשתית הבסיסית למשק האנרגיה הישראלי לפעול כמשק אמין, נקי ובר השגה.¹⁵

לאחרונה נצפית מגמה של השקעה בטכנולוגיות להפחתת פליטות, ובראשן עומדת טכנולוגיית המימן. את המגמה הזו מובילה אירופה, שמתוך 200 פרויקטים עולמיים בתחום, מובילה 85% מהפרויקטים.¹⁶

¹¹ מפת הדרכים לאנרגיות מתחדשות בשנת 2030, משרד האנרגיה והתשתיות

¹² מפת דרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050, משרד האנרגיה, 2021

¹³ Oil's Spectacular Covid Crash Set the World Up for \$100 Crude, Bloomberg; 06.06.2022.

¹⁴ Recovery Plan for Europe, European Union; 06.06.2022.

¹⁵ הערה שנוספה בעדכון העבודה: עדכון האסטרטגיה בהתאם להערות הציבור, התבצע בחודשי הקיץ ובטרם פרוץ מלחמת חרבות ברזל. פרסום הנוסח התעכב לאור התגייסות המשק בחירום. לכן, העבודה לא מתייחסת להשפעות המלחמה על משק המימן, וייתכנו התייחסויות בעדכונים עתידיים

¹⁶ Hydrogen Insights: A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness, Hydrogen Council in collaboration with McKinsey & Company, February 2021; 06.06.2022.

נציין כי כבר היום משרד האנרגיה פועל על מנת לאפשר את קידום טכנולוגית המימן במשק האנרגיה, בין היתר על ידי :

1. פרסום קולות קוראים ייעודיים עבור מוסדות מחקר אקדמיים ועבור התעשייה. עד היום בתחום המימן הושקעו כ- 32 מלש"ח במחקרים ופרויקטים.¹⁷
2. קידום מימן לתחבורה: תמיכה, ליווי והקמת תחנת תדלוק במימן, כניסה ראשונית של משאיות מימן, קביעת תקן לאיכות מימן לתחבורה, קביעת תקן להקמת תחנת תדלוק במימן ופרסום צו הפעלת רכב (מנועים ודלק, הפעלת רכב במימן), התשפ"ב-2022, על מנת שיהיה ניתן לתדלק רכבים במימן.
3. רשות הגז הטבעי, בשיתוף החברה הממשלתית נתג"ז (נתיבי גז טבעי לישראל) עורכת בחינה מעמיקה אודות יכולת השימוש בתשתיות פיזיות של רשת ההולכה בגז טבעי, להולכת מימן, לצד בחינת ההתאמות הנדרשות.¹⁸

במסגרת עבודה זו, נעמיק בטכנולוגית המימן ונבחן את מידת התאמתה למדינת ישראל, ובהתאם לכך נמפה את הצעדים וצמתי ההכרעה הנדרשים כדי להטמיע אותה.

¹⁷ הערה שנוספה בעדכון העבודה : הנתון כ-25 מלש"ח שהוצג בפרסום המסמך הראשוני, לא כלל מענקים עבור שנת 2024

¹⁸ הערה שנוספה בעדכון העבודה : הנושא נמצא בבחינה מעמיקה, ועתיד להתפרסם דו"ח בנושא

מימן H_2 הנו יסוד כימי נפוץ, קל ודליק, מצוי באחוזים בודדים כיסוד חופשי בטבע. המימן מצוי בדרך כלל כתרכובות עם יסודות אחרים, לדוגמה מולקולת מים (H_2O) או גז מתאן (CH_4), שהנו המרכיב העיקרי בגז הטבעי. בעולם מתייחסים למימן כנשא אנרגיה ולא כמקור אנרגיה ראשוני, היות ואין מאגרים נגישים של מימן חופשי ויש צורך לייצר אותו. כדי לקבל מימן טהור יש לבצע הפרדה של המימן מהתרכובות באחת משלוש שיטות: אלקטרוליזה, פירוליזה ו/או המרה בקיטור (SMR):

1. אלקטרוליזה – הפרדת מימן ממולקולת מים באמצעות חשמל. הריאקציה להפיכת מימן למים עתירת אנרגיה, וניתן לעשות במימן שימוש לאגירה והובלה של אנרגיה. הנצילות של אלקטרוליזה כיום היא בין 60-81% וצפויה לעלות בשנת 2050 לטווח שנע בין 67-90%.¹⁹

2. פירוליזה – פירוק גז טבעי (CH_4) בטמפרטורה גבוהה (כ-800°C) וללא נוכחות חמצן, למימן ופחמן מוצק (אבקה) שמונע פליטות (פד"ח) ישירות לאטמוספירה. כדי שהתהליך יהיה נטול פליטות, נדרש שהריאקטורים המשמשים לפירוק מתאן יופעלו גם הם באנרגיות מתחדשות. נצילות התהליך כ-58%.²⁰

3. המרה לקיטור (SMR) עם תפיסת פחמן – פיצול גז טבעי (CH_4) למימן ופחמן בטמפרטורה גבוהה (כ-400°C) באמצעות קיטור. הנצילות של תהליך זה היא 69-76% וצפויה להישאר יציבה.²¹ הפחמן נלכד ומאוחסן בתת הקרקע או משמש כחומר גלם לתעשייה (CCUS). נכון להיום, התהליך לא תופס את כל הפחמן שנוצר והפליטות יכולות להצטמצם לק"ג פחמן לכל ק"ג מימן.

מקובל לסווג את המימן לפי צבעים, המעידים על הטכנולוגיה ומקור האנרגיה המשמש לייצורו, ובהלימה לפליטות פד"ח הצפויות, וכמפורט בטבלה 1:

מקור אנרגיה וחומרי גלם				פליטות פד"ח [tCO ₂ e]	נצילות [%]	טכנולוגיה
גז טבעי	גרעין	רוח/שמש/מים	חשמל			
---	ורוד	ירוק	צהוב	ללא פליטות אנרגיה מתחדשת	70%	אלקטרוליזה (מים)
---	---	---	---	פליטות עקיפות חשמל		
טורקיז	---	---	---	כתלות במקור האנרגיה	58%	פירוליזה (גז טבעי)
כחול ²²	---	---	---	תפיסת פחמן	69%	קיטור (SMR) (גז טבעי)
אפור ²³	---	---	---	קיימות פליטות	76%	

טבלה 1 - סיווג סוגי מימן

¹⁹ The Future of Hydrogen, IEA, p.44; 08.08.2022, LHV- lower heat value מחושב לפי

²⁰ Methane Pyrolysis for Zero-Emission Hydrogen Production: A Potential Bridge Technology from Fossil Fuels to a Renewable and Sustainable Hydrogen Economy, Ind. Eng. Chem. Res. 2021, 60, 11855–11881, Table 1. Energy Efficiencies of Different Technologies for Hydrogen Production

²¹ IEA G20 Hydrogen report: Assumptions, IEA, December 2020, p.3.; 08.08.2022, LHV- lower heat value מחושב לפי

²² לא קיימת הגדרה חד משמעית לכמות הפד"ח שיש לתפוס על מנת שהתוצר ייחשב מימן כחול

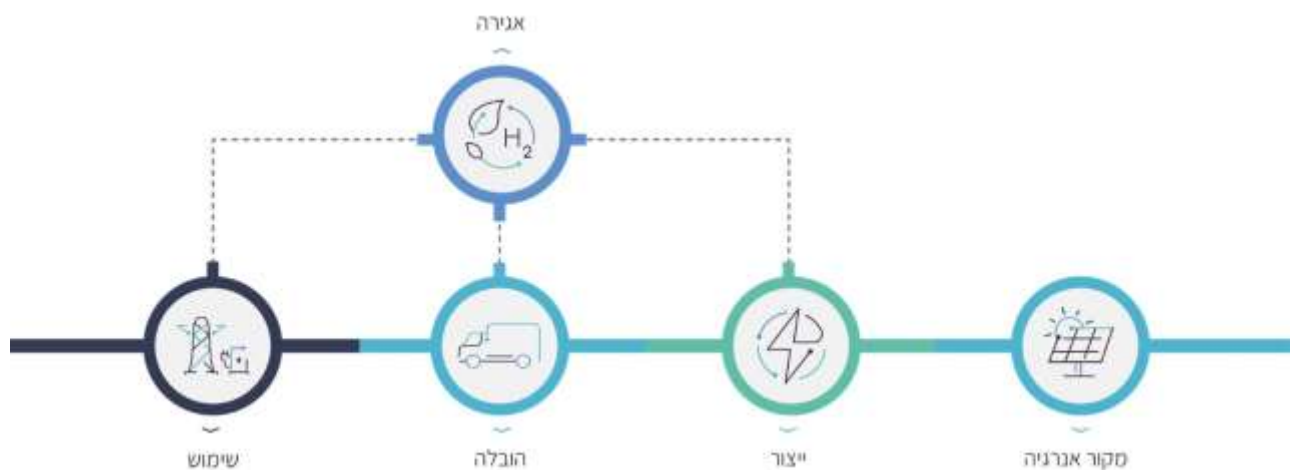
²³ Hydrogen Forecast to 2050, DNV, p.32, June 2022; 29.06.2022

לאור המגמה העולמית להפחתת פליטות, וכן לאור מאפייניה הייחודיים של מדינת ישראל (בעלת מאגרי גז טבעי ואנרגיית שמש מרובה), המיקוד בעבודה יהיה על תהליכי ייצור של מימן ירוק וכחול, אשר מביאים להפחתת פליטות, ולישראל יכול להיות יתרון יחסי לגביהם. יש לציין כבר בשלב זה, כי נכון להיום תהליכי הייצור והשימוש במימן הם בעלי נצילות נמוכה, בייחוד כאשר מדובר על ייצור ושימוש במימן ירוק. בנוסף, בנוגע לייצור מימן מגז טבעי, ערוץ זה יחייב אמצעי תפיסת פחמן – טכנולוגיה שעדיין נמצאת ברמת בשלות בינונית-נמוכה.²⁴

לכן, יודגש כי עקב הנצילות הנמוכה והבשלות של טכנולוגיות המימן בעת הזו, שימוש ישיר במקורות אנרגיה סולארי וגז טבעי, יהיו יעילים יותר בשנים הקרובות מהפנייתם להפקת מימן ושימוש בו. עם השיפור הצפוי בנצילות, תעלה הכדאיות של שימוש נרחב במימן.

לצד היתרונות הרבים של המימן, יש לציין כי המימן הוא גז דליק (flammable), בעוצמת פיצוץ (explosion) גבוהה מאוד ביחס לחומרים אחרים. עם זאת, מימן נהיה נפיץ רק בריכוזים גבוהים בנפח האוויר (18.3-59%), לעומת אדי בנזין, שנפיצים כבר בטווח ריכוזים של 1.1-3.3%. על כן, בדומה לחומרי שריפה אחרים, בעזרת טיפול ורגולציה נכונים ומותאמים ניתן לשמור על בטיחות, ולמנוע מצבי סיכון.²⁵

שרשרת הערך לשימוש במימן מתחילה במקור אנרגיה זמין לתהליך ייצור המימן. כיוון שנקודת המוצא לשימוש במימן היא הפחתת פליטות, המיקוד של עבודה זו יהיה במקורות מאנרגיה מתחדשת (מימן ירוק), או לחילופין בתהליכים שמאפשרים תפיסת פחמן (מימן כחול). **ייצור המימן** ממקור האנרגיה הנבחר מתבצע תוך שימוש באחת משלוש טכנולוגיות מרכזיות: אלקטרוליזה, פירוליזה והמרה בקיטור (SMR). בתום הליך הייצור **יש להוביל את המימן** לשימושים במגזרים השונים. **השימושים** המרכזיים הצפויים להיות: הנעת תחבורה כבדה (משאיות, ספינות ומטוסים) באמצעות תאי דלק, הפקת חום לתהליכים בתעשייה, או שריפה במנוע/טורבינה ושימוש לייצור חשמל. יכולת **אגירת המימן** משתלבת בשרשרת הערך לפני ו/או אחרי ההובלה (תרשים 2 - שרשרת הערך של מימן).²⁶



תרשים 2 - שרשרת הערך של מימן

²⁴ [Global Hydrogen Review 2022](#), IEA, September 2022, p.226

²⁵ [Hydrogen Safety](#), Department of Energy, USA; 29.06.2022

²⁶ לטובת עבודה זו, אחסון מימן הוא לטווח זמן קצר עד בינוני (ימים עד חודשים), בעוד שאגירה היא לטווח זמן ארוך (שנים)

נפרט כעת אודות אלמנטים חשובים בשרשרת הערך לשימוש במימן במונחי עלויות ייצור, הובלת מימן, יכולת אחסון ואגירה ושימושים.

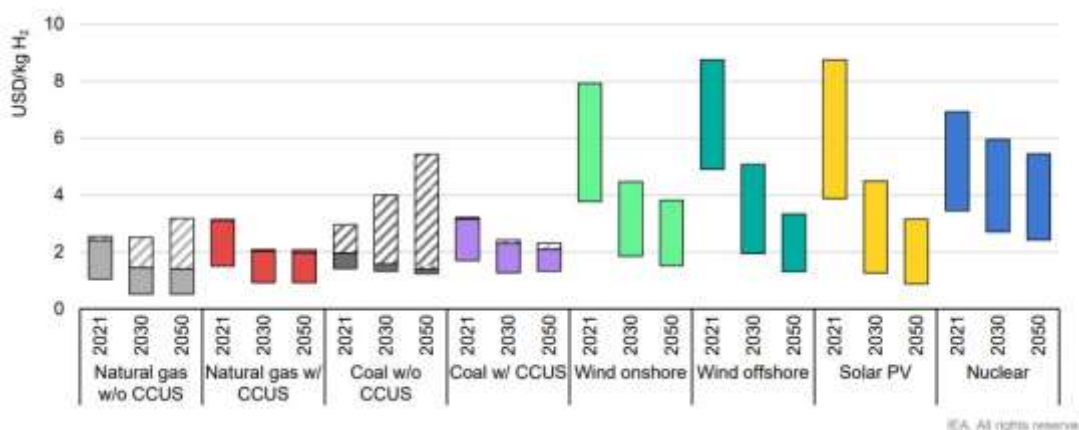
ייצור מימן

רוב ייצור המימן כיום מתבצע מדלקים פוסיליים (מימן אפור), או מתוך תהליך תעשייתי/כימי (by product); וחלק קטן, פחות מ-0.7% הוא מימן דל פליטות. לפי תחזית ה-IEA, בשנת 2030 המקורות לייצור מימן יהיה מאנרגיות מתחדשות (מימן ירוק כ-60%) או עם טכנולוגיות לתפיסת פחמן (מימן כחול כ-40%).²⁷

נכון להיום, עלות ייצור מימן ממקורותיו השונים גבוהה מאוד. עם זאת, צפויה ירידה במחיר, כפי שעולה מתוך התחזית של ה-IEA. תרשים 3 מתאר את טווח עלויות הייצור של מימן ממקורות אנרגיה שונים (גז טבעי ופחם, בלי ועם תפיסת פחמן בהתאמה, ואנרגיות מתחדשות) בשנים 2020, 2030 ו-2050.

בעוד שכיום מחירי הייצור של מימן מאנרגיות מתחדשות גבוהים מאוד ביחס לחלופות האחרות, הצפי הוא שמחיר הייצור ירד ואף ישתווה למחירי הייצור של מימן מגז טבעי כבר בשנת 2030 (בגילום מס פחמן).²⁸

טווח עלות הייצור מאנרגיות מתחדשות ביחס למקורות אנרגיה אחרים הוא הגדול ביותר, לאור התלות בין ירידת המחיר לבין גורמים חיצוניים, שהמרכזי שבהם הוא פיתוח טכנולוגי הנוגע ליעילות האלקטרולייזר. נכון לשנת 2021 עלויות ייצור מימן ממתחדשות נעות בין \$4-\$9 לק"ג מימן זאת בהשוואה לעלויות של \$1-\$2.5 לייצור מימן מגז טבעי כיום. עם זאת, עד שנת 2030 העלויות לייצור מימן מאנרגיות מתחדשות צפויות לרדת מתחת ל-\$1.5 לק"ג מימן ועד שנת 2050 לרדת מתחת ל-\$1 לק"ג מימן, זאת בהשוואה לעלויות לייצור מימן מגז טבעי שעשויות לגדול מעל \$3.²⁹ לפי תחזית של ה-IEA ייצור מימן ירוק מאנרגיות מתחדשות יעלה בדומה או מעט יותר מעלויות הייצור של מימן כחול (גז טבעי עם תפיסת פחמן), אך לפי תחזית של בלומברג כבר בשנת 2030 מימן ירוק צפוי להיות זול ממימן כחול במדינות מסוימות,³⁰ זאת בין היתר, הפחתת עלויות הייצור מאנרגיות מתחדשות.



תרשים 3 - תחזיות למחירים עתידיים של ייצור מימן בטכנולוגיות שונות

²⁷ [Global Hydrogen Review 2022](#), IEA, September 2022, p. 71-72

²⁸ [Global Hydrogen Review 2022](#), IEA, September 2022, p. 92;

²⁹ [Global Hydrogen Review 2022](#), IEA, September 2022, p. 93;

³⁰ [Hydrogen Levelized Cost Update](#), BloombergNEF

סוגיה נוספת בייצור מימן, מקבלת ביטוי במיקום הגאוגרפי של המדינה ובתנאים האקלימיים שלה, אשר מאפשרים לה פוטנציאל גבוה לייצור מימן מאנרגיות מתחדשות, למשל מדינות אפריקה בהן יש הרבה שמש ושטח יכולות לקדם הקמה של שדות סולאריים נרחבים לייצור מימן. אולם, בדומה למקורות אנרגיה אחרים, הפוטנציאל של כל מדינה לייצר מימן מאנרגיות מתחדשות הוא בהתאם לתנאים הקיימים במדינה. לפיכך, ככל שמימן ישתלב בכמויות משמעותיות במשק האנרגיה העולמי, עשויות להיווצר מדינות בהן הביקוש עולה על ההיצע הקיים ולכן יהיו מדינות שיקדמו ייבוא או ייצוא מימן בהתאמה. כפי שניתן לראות בהרחבה בפרק הבינלאומי, תהיה חשיבות למקור ייצור המימן וליכולת הובלת המימן.

הובלת מימן

הובלת מימן מתבצעת בהתאם למצב הצבירה: גז או נוזל. עבור כל מצב צבירה קיימת שיטת הובלה שונה, מורכבות הנדסית וצורך ברכיבים רבים שמלווים את תהליך ההובלה, כגון: צנרת, מדחסים, אביזרי לחץ ובטיחות. דרכי ההובלה הנפוצים כיום הם הזרמת מימן בצנרת ייעודית (לרוב במצב גזי) או הובלה במשאיות, ספינות ורכבות (לרוב במצב נוזלי). הובלה בצנרות ייעודיות למימן הינה שיטה יחסית זולה, אשר מתייקרת ככל שהמרחק גדל ובהתחשב במשתנים שונים כגון נפח המימן המועבר. אולם, יש להתחשב גם בזמן הקמת התשתיות.

תכונות המימן הן שונות משל גז טבעי (המסה, הנפח והיכולת של המימן להגיב עם מתכות או לחדור דרך חומרים שונים). לכן, נדרשת התאמת רשת צנרות הגז הקיימות להובלת מימן, הן מבחינת הסגסוגת המרכיבה את הצינורות והן מבחינת המערכות (אטמים, שינויים בלחצי העבודה והחלפת רכיבים כגון מדחסים). כפתרון ביניים לשדרוג תשתיות הצנרת הקיימות, נבדקת האפשרות למהילת המימן בגז טבעי באחוזים מסוימים. שיטה זו יכולה לספק תובנות לגבי הולכת מימן טהור, ובמקרים מסוימים אף להיות משתלמת כלכלית. עם זאת, בשל מגבלות שונות, אחוז מהילת המימן כרגע מוגבל ל-2-8%. שילוב של 20% מימן אפשרי טכנית, אך ישנה אי ודאות לגבי השלכות ארוכות טווח על התשתיות, ולכן היא אינה מומלצת על ידי רוב המומחים בהיקף רחב.³¹

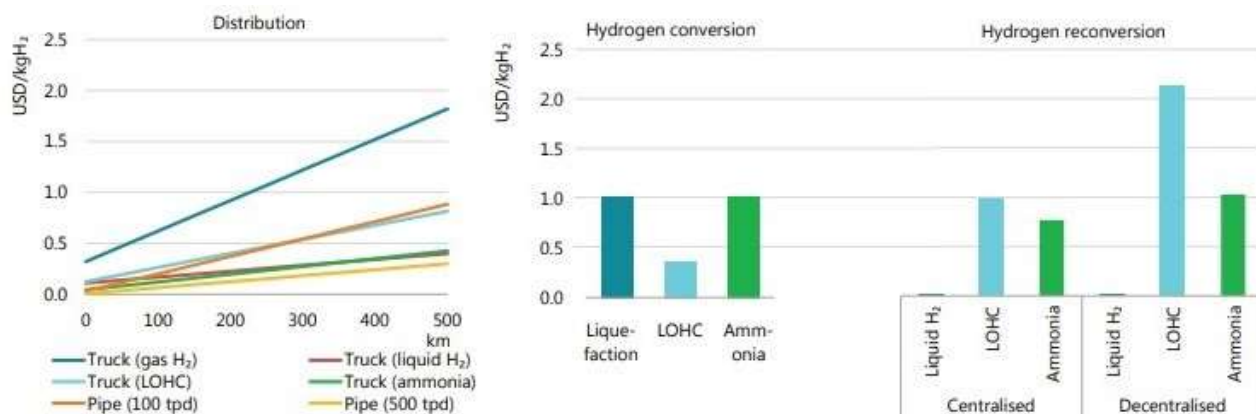
הובלת מימן גזי בכלי תחבורה נעשית היום בעיקר במשאיות, במכלי מימן דחוס בלחץ של 350-700 בר, ולמרחקים של עד 300 ק"מ,³² כאשר משאית יכולה לשאת מכלי מימן דחוס של כ-560-900 ק"ג מימן.³³ ניתן גם להעביר מימן במשאיות במצב נוזלי במכלים קריוגניים בטמפרטורה של -250°C , או באמצעות נשאים כימיים כגון אמוניה, תרכובות מתכתיות או תרכובות אורגניות (LOHC, Liquid Organic Hydrogen Carriers). לאחר פריקת המימן ביעד, יידרש החזרה של ה-LOHC לשם שימוש חוזר. עם זאת, שיטות אלו דורשות עלויות נוספות כמו ניזול המימן, המרתו לנשאים כימיים, ובמקרה של LOHC הובלה של מולקולות הנשא חזרה למוצאן. בנוסף, במימן מונזל קיימת מגבלת מרחק של 4,000 ק"מ, שכן במרחקים גבוהים יותר הוא עלול להתחמם ולהתאדות.³⁴

³¹ [Hydrogen Forecast to 2050](#), DNV, June 2022; 29.06.2022

³² [The Future of Hydrogen](#), IEA, June 2019, p.79; 29.06.2022

³³ [Hydrogen Tube Trailers](#), Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, USA; 07.08.2022

³⁴ [The Future of Hydrogen](#), IEA, June 2019, p.79; 29.06.2022



תרשים 4 - עלויות הובלה של מימן בצנרת ביחס להובלה במשאיות, לצד עלויות המרת מימן לנשאים ועלויות המרה חוזרת למימן³⁵

כאמור, הובלת המימן אפשרית באחד משני אופנים: תשתיות (צנרת), או שינוע במכלי אחסון במשאיות או בספינות. מניתוח Bloomberg עולה³⁶, כי עלות ההובלה לק"ג מימן, זולה יותר באמצעות הקמת צנרת יבשתית, לעומת אחסון במכלים (תרשים 5 – ניתוח עלויות הובלת מימן) וידגש כי עלויות אלו כוללות CAPEX + OPEX.

Figure 1: H₂ transport costs based on distance and volume, \$/kg, 2019



Legend: Compressed H₂ Liquid H₂ Ammonia Liquid Organic Hydrogen Carriers

Source: BloombergNEF. Note 1: ammonia assumed unsuitable at small scale due to its toxicity.

Note 2: while LOHC is cheaper than LH₂ for long distance trucking, it is less likely to be used than the more commercially developed LH₂. Note 3: assumes salt cavern storage for pipelines.

תרשים 5 – ניתוח עלויות הובלת מימן

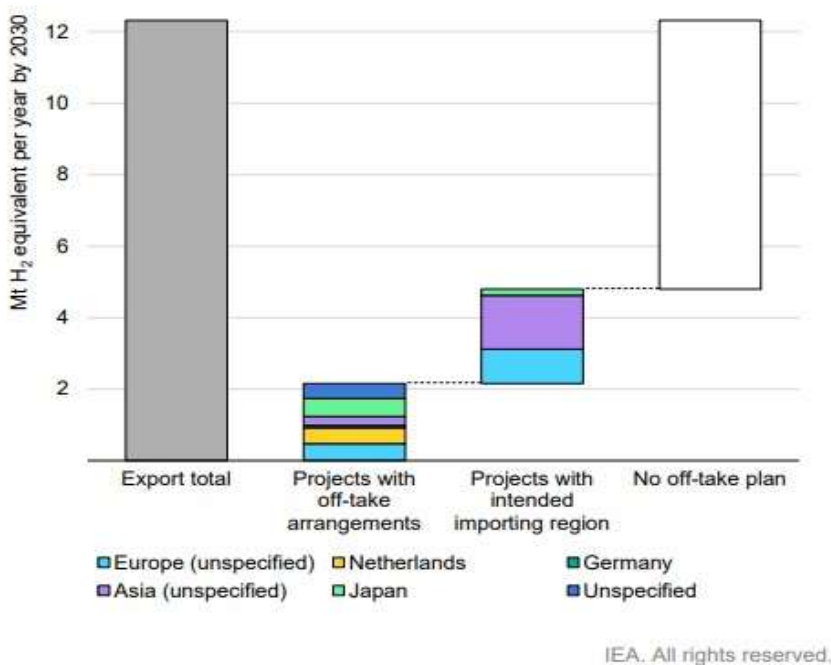
³⁵ The Future of Hydrogen, IEA, June 2019, p.80

³⁶ Hydrogen: The Economics of Transportation & Delivery, Bloomberg, October 2019, p.1

בעולם נבדקת האפשרות להסבת צינורות גז טבעי קיימים להובלת מימן, וזאת בשל פריסתם הנרחבת הקיימת כבר היום.³⁷ באירופה, האפשרות להתאמת צנרת הגז הקיימת להובלת מימן מהווה גורם מכריע להחלטה על שימוש עתידי במימן.³⁸

לפי התחזית העולמית נראה כי עד שנת 2030 הביקוש בערוץ היבוא לבדו יעמוד על כ-12 מיליון טון מימן בשנה, מתוכם 10 מיליון טון לאירופה (תכנית RePowerEU). בשל הביקוש הצפוי בשנת 2030, הובלת המימן תחייב שינוע כמויות גדולות של מימן. מעבר המימן יבוצע בתשתיות מימן עתידיות ו/או על בסיס תשתיות צנרות גז טבעי יבשתיות קיימות, אשר עדיפה יותר כלכלית מהובלה במשאיות ובספינות. כורח המציאות יחייב בנוסף הקמת קישוריות וחיבוריות בתשתיות ימיות ויבשתיות לאירופה. בהקשר זה, ראוי לציין כי לבקשתה של הנציבות האירופאית, במאי 2022 פורסם מתווה אודות תכנית להאצת השימוש במימן באירופה. כחלק מתכנית זו, הוצע לייבא מימן גם דרך צינור שיעבור בישראל.³⁹

Export volumes from planned projects with off-take arrangements or intended destinations by importing country/region, 2030



תרשים 6 - תחזית יצוא ויבוא לפי פרויקטים

אופציה נוספת להובלה משמעותית של מימן היא כינוס הייצור, ובהתאם גם כינוס ההובלה לעמקי מימן (Hydrogen Valley / Hub). עמקי מימן הם אזורים תחומים בהם קיימות רוב תחנות שרשרת הערך של מימן - החל מייצור מימן דל פחמן, אחסון, הובלה ושימושים (תחבורה, תעשייה וחשמל). אזורים אלו יכולים לשמש לקידום מו"פ (כמעבדת מימן),

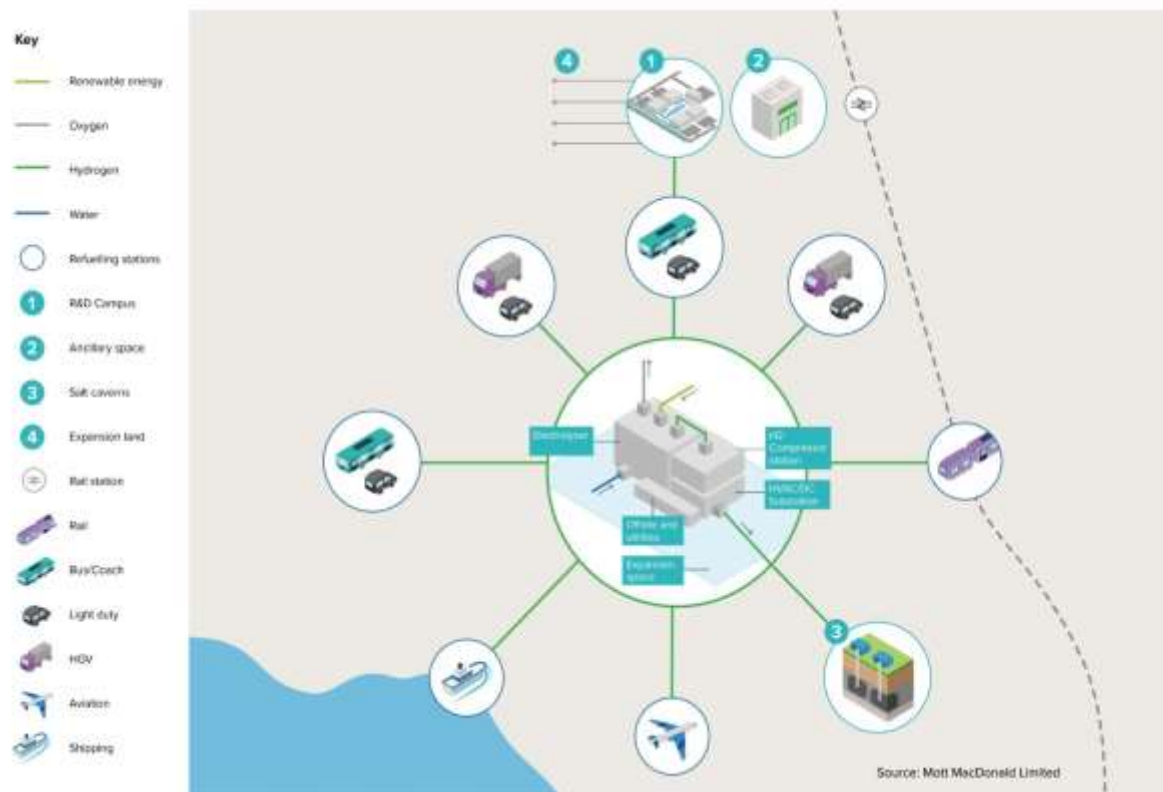
³⁷ [The Future of Hydrogen](#), IEA, June 2019, p.71; 29.06.2022

³⁸ [Analyzing Future Demand, Supply and Transport of Hydrogen](#), European Hydrogen Backbone, June 2021; 29.06.2022

³⁹ [How to deliver on the EU Hydrogen Accelerator](#), May 2022, p.15, 29.06.2022

לביצוע פיילוטים של מימן ופרוייקטי הדגמה, כמו גם בחינה לשימוש ארוך טווח. בעולם ניתן למצוא עמקי מימן בהם מקדמים פרויקטים גדולים בהיקף של עשרות מיליוני יורו. כך לדוגמה, בבריטניה מקימים עמקים שונים בהשקעה כוללת של קרוב ל-10 מיליון אירו. אחד מהם הוא עמק טיס (Tees Valley), שיהיה בתפעול מלא בשנת 2025 ויתמקד בתחבורת מימן יבשתית, ימית ואווירית בעזרת ייצור מקומי של מימן ירוק. לטובת הקמת המתקן קיימת השקעה ממשלתית שנתית של כ-3 מיליון אירו (תרשים 7 - עמק מימן עמק הטיס) (Tees Valley).⁴⁰

Figure 5 – Masterplan Overview (2025-2030)



תרשים 7 - עמק מימן עמק הטיס (Tees Valley)⁴¹

תהליך אחסון ואגירת מימן

אחד המענים המשמעותיים שמימן יכול לספק הוא אגירת האנרגיה. כידוע וכפי שפורח בהמשך, בשל העלייה בשימוש באנרגיות מתחדשות, צפויים להיווצר פערים בין זמני הייצור והביקוש לחשמל, עליהם ניתן לענות בעזרת אחסון האנרגיה לטווח קצר או ארוך בטכנולוגיות שונות.

כיום, אחסון אנרגיה בטכנולוגיות הקיימות זמין רק לטווחי זמן קצרים, ולמימן הפוטנציאל לתת מענה לאגירת אנרגיה לטווח הארוך. יתרון נוסף למימן, היכולת לאחסן גם לטווח הקצר והבינוני, ובכך לחזק את אמינות האספקה.⁴² עם זאת,

⁴⁰ [UK Hydrogen Strategy](#), HM Government, August 2021, p.69; 29.06.2022

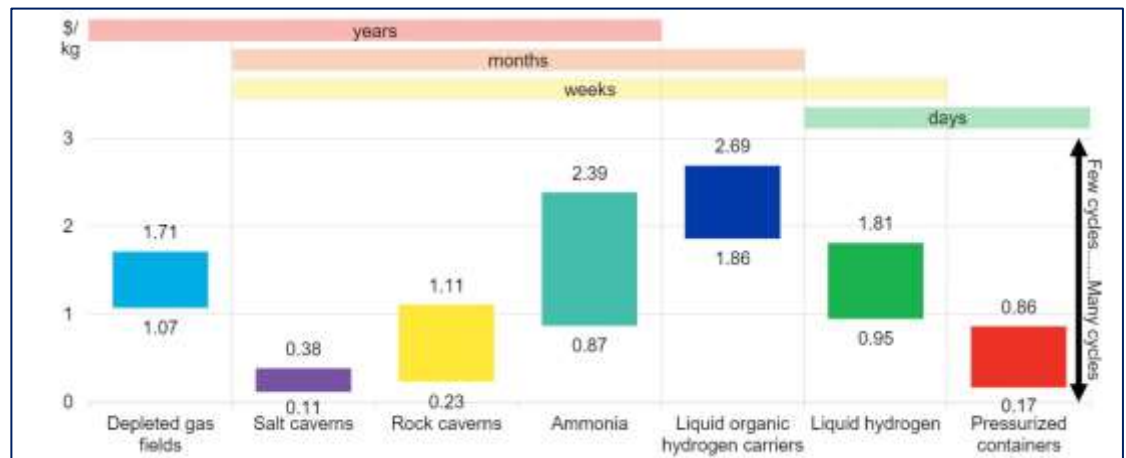
⁴¹ [Tees Valley Multi-Modal Hydrogen Transport Hub Masterplan](#), Mott MacDonald, p.11, 07.08.2022

⁴² [The Future of Hydrogen](#), IEA, June 2019, p.86; 04.08.2022

נציין שנכון להיום, באופי הייצור והשימוש במימן קיימים איבודי אנרגיה משמעותיים, שכן מושקעת אנרגיה גם בשלב הייצור, גם בשלב האחסון וגם בשלב השימוש.⁴³

כיום, הטכנולוגיות המובילות לאחסון מימן מצריכות דחיסה בלחץ גבוה מאוד, קירור עמוק (קריוגני), או שימוש בחומרים כימיים כמאחסנים.

בתרשים 8: תחזית למחיר עתידי לאחסון מימן בטווחי זמן שונים, בלומברג, 2018 מוצגים אמצעי האחסון והאגירה הנפוצים ביותר ותחזית עתידית לעלויות.



תרשים 8: תחזית למחיר עתידי לאחסון מימן בטווחי זמן שונים, בלומברג, 2018

שיטות האחסון השונות מתאימות לכמויות וטווחי זמן שונים. אחסון בלחץ גבוה במכלים קשיחים מתאים לכמויות יחסית קטנות, ניזול של המימן מתאים יותר לטווח קצר (ימים). אחסון באמצעות אמוניה ונקרות מלח, כמו גם אגירה במאגרי גז טבעי שהתרוקנו יכולים להתאים לשבועות, חודשים ואף שנים. נציין כי אפשרויות האחסון הגיאולוגיות (נקרות סלע או מלח ומאגרי גז שהתרוקנו) תלויות בקיום תנאים גיאולוגיים מתאימים, ויש כיום מספר פרויקטים בבנייה באירופה ובארצות הברית לאגירה בנקרות מלח אשר צפויים להסתיים בשנים הקרובות.⁴⁴

נדגיש כי כל שיטות האחסון של המימן כיום כרוכות בהפסדי אנרגיה משמעותיים - בדחיסה למכלי לחץ גבוה יש להשקיע עד 20% מתכולת האנרגיה של המימן הנאגר, בניזול העלות האנרגטית עלולה להגיע עד 30% מתכולת האנרגיה. המרת המימן לאמוניה וחזרה למימן עלולה לגזול עד 60% מתכולת האנרגיה, כאשר ישנה גם אפשרות להשתמש באמוניה ללא המרה חזרה למימן.

מחיר אחסון המימן מותנה לא רק בכמות המימן הנדרשת לאחסון, אלא גם במספר הפעמים לטעינה ופריקה של מאגרי האחסון (קרי, כמות הפעמים שניתן להשתמש במאגר). ככל שמספר הסבבים עולה, מחיר האחסון של ק"ג מימן ירד (אותה ההשקעה מחולקת במספר הסבבים). מתרשים 8: תחזית למחיר עתידי לאחסון מימן בטווחי זמן שונים, בלומברג,

⁴³ לטובת עבודה זו אחסון מימן הוא לטווח זמן קצר עד בינוני (ימים עד חודשים), בעוד שאגירה היא לטווח זמן ארוך (שנים)

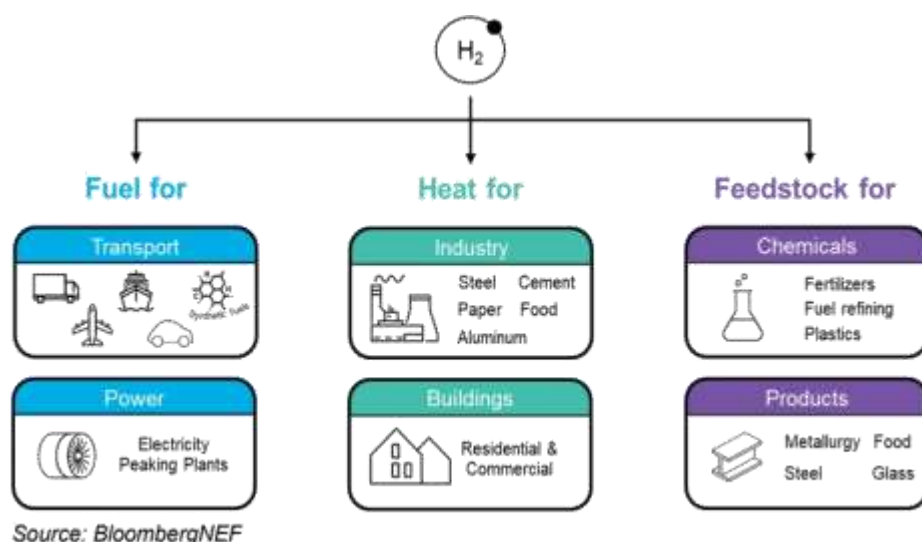
⁴⁴ [Global Hydrogen Review 2022](#), IEA, September 2022, p.129

2018 עולה כי שימוש במכלי מימן דחוס לטווח קצר או שימוש בנקרות מלח לטווח ארוך, הם האמצעים הכדאיים ביותר במספר רב של סבבים.

שימושים

המימן יכול להתאים כמקור דלק, חום, וכחומר גלם במספר רב של שימושי אנרגיה שכיום מבוססים על תהליכים עם כמות פליטות פד"ח גבוהות. בהתאם, ייתכן שהמימן ישמש כדלק בסקטור התחבורה הכבדה (משאיות, ספינות ואף מטוסים), כמקור חום עבור תהליכים בתעשייה הכבדה (ייצור פלדה, אלומיניום, מלט), כמקור חום למבנים, וחומר גלם בייצור דשנים בתעשייה הפטרו-כימית, זיקוק וחומרים אחרים (תרשים 9 - שימושים אפשריים למימן), וכמקור דלק לייצור חשמל.

כיום, עלויות הייצור של המימן על סוגיו השונים (ירוק וכחול) גבוהות ואינן כלכליות (תרשים 3 - תחזיות למחירים עתידיים של ייצור מימן בטכנולוגיות שונות), אולם התחזיות מצביעות על כך שלאורך העשור הקרוב מחירי המימן צפויים לרדת עם התקדמות הטכנולוגית ובעזרת תמיכה ממשלתית במדיניות ובתמריצים. בהתאם, הצפי הוא שהחל משנת 2030 מחירי המימן ירדו למחצית משהיו בתחילת העשור הנוכחי, והיקף השימוש בו למגזרים נוספים יגדל.⁴⁵



תרשים 9 - שימושים אפשריים למימן⁴⁶

תחבורה: בשונה מרכבים חשמליים המוזנים מסוללה הנתענת מרשת החשמל, ברכבים מבוססי מימן (FCEV) מקור החשמל הוא פירוק המימן בתאי דלק. היתרונות העיקריים ברכבי מימן הם שהם אינם פולטים פד"ח⁴⁷, בעלי יכולות לנוע למרחקים ארוכים ביחס לסוללות בזכות צפיפות האנרגיה הגבוהה של המימן⁴⁸, ומהירות התדלוק כרכבים מבוססי דלקים פוסיליים (בנזין, סולר). להשוואה, רכבים חשמליים מוגבלים כיום במרחק אותו הם יכולים לעבור בשל משקל הסוללה ומשך טעינה איטית של מספר שעות. נוסף על כך, עלות הסוללה גבוהה. על כן, לרכבים מונעי מימן יתרון

⁴⁵ [Hydrogen Forecast to 2050](#), DNV, June 2022, p.74; 29.06.2022.

⁴⁶ [Hydrogen Economy Outlook Key messages](#), BloombergNEF, March 2020, p.2

⁴⁷ רכבי המימן פולטים מים מאגוז הפליטה בזמן הנסיעה והם אינם פולטים שום מזהם אחר

⁴⁸ רכב מימן פרטי ממוצע מגיע עם מכל אחסון בנפח של 5 ק"ג היכול להספיק לנסיעה של כ-500 ק"מ, ניתן בקלות לתכנן אותו גם עם מכל כפול

בעיקר עבור תחבורה כבדה בה נדרשים לרוב מרחקי נסיעה גדולים.⁴⁹ בנוסף, תדלוק רכבים במימן ייתר את הצורך בשדרוג הנדרש לרשת החשמל לצורך טעינת הרכבים החשמליים. לשם הדגמה, לפי תחזית של בלומברג עיקר הביקוש למימן בתחבורה ב-2050 יהיה עבור תחבורה כבדה (כ-80%).⁵⁰

מסיבות אלו, מדינות רבות נוקטות באסטרטגיה דואלית: חשמול צי התחבורה הקלה והעברת צי התחבורה הכבדה למימן (ודלקים חלופיים אחרים) באופן ספציפי, ומעבר למימן לכלי תחבורה הנעים על היבשה בים ובאוויר באופן כללי.⁵¹ עבור תעופה וספנות המימן יכול לשמש באופן ישיר ליצירת דלקים סינטיטיים כמו אמוניה ופחמימנים סינטיטיים. יצירת הדלקים הסינטיטיים דורשת חומרי גלם נוספים כמו פחמן או חנקן, שמשיפיעים על העלויות. ייצור מאופס פליטות, דורש שמקור הפחמן לייצור הדלקים יהיה מתפיסת פחמן מהאוויר.⁵²

תעשייה: חלק משמעותי מפליטות גזי החממה בתעשייה נובע משריפת דלקים לתהליכים מבוססי חום, ייצור קיטור ותהליכי שריפה בטמפרטורות גבוהות. על כן, מדינות העולם משקיעות סכומים נכבדים למו"פ לפתרונות למגזר התעשייתי. הפתרונות הקיימים כיום לחימום וייצור קיטור בטמפרטורות נמוכות ובינוניות הם באמצעים חלופיים שונים ובפרט באמצעות חשמל, שבעתיד יגיע ברובו ממקורות מתחדשים ונקיים. אולם, בתהליכים תעשייתיים הדורשים טמפרטורות גבוהות (מעל 400°C), או לחלופין פיזור ייחודי של החום החשמל אינו מספק פתרון, ולכן התעשייה נסמכת על שריפת דלקים מאובנים. לאור תכונות המימן, יכול להוות תחליף לשריפת דלקים מאובנים,⁵³ ובכך להפחית באחוזים משמעותיים את פליטות גזי החממה.⁵⁴ נוסף כי, בחלק מהתעשיות יש שימוש באמוניה ומתנול כחומרי גלם. הפקת חומרים אלו מביאה לכמויות גדולות של פד"ח שמקורן בשימוש במימן אפור המיוצר מגז טבעי. שימוש במימן דל פחמן יכול גם כאן להפחית משמעותית את הפליטות.⁵⁵

חשמל: תמהיל ייצור החשמל כיום כולל דלקים פוסיליים, גז טבעי ואנרגיה מתחדשת. בסקירה העולמית נמצא, כי מפות הדרכים לאיפוס פליטות מתייחסות **למימן כחלק מתמהיל ייצור החשמל העתידי רק לאחר שנת 2030**.

היתרון המרכזי של מימן הוא יכולת האגירה; בשילוב ייצור חשמל בכמויות משמעותיות ממימן והגדלת אחוז החשמל המיוצר ממקורות סולאריים, נוצר עודף חשמל באביב אל מול מחסור בחורף, ואגירתו תאפשר לייצב את הרשת ולעשות שימוש באנרגיה בהתאם לביקוש.⁵⁶ החיסרון העיקרי של המימן הוא הפסדי אנרגיה; במחזור המרת החשמל למימן, אגירת המימן, והמרתו חזרה לחשמל, הפסדי האנרגיה יכולים להגיע עד לכדי 60%. צפיפות האנרגיה של המימן כשליש מהגז הטבעי, כלומר יש להזרים יותר מימן (פי 3 לערך) על מנת לקבל כמות אנרגיה מיוצרת דומה. בנוסף, בשל מאפייני המימן, נדרש לבצע בחינה של תשתיות הגז הטבעי הקיימות לבדיקת כושר ההולכה של המימן. כפועל יוצא מכך, נעשות בדיקות היתכנות באירופה להסבת צנרת גז טבעי למימן במינימום עלויות ובמקסימום יעילות. המימן הוא חומר דליק

⁴⁹ עניין המשקל והמרחק אינו רק עניין כלכלי או של סירבול. אין אפשרות להגדיל את הסוללה של רכב ללא הגבלה, משום שהגדלתה גוררת הגדלת הצריכה בנסיעה בשל המשקל. לכן יש טווח מקסימלי לרכב חשמלי בטכנולוגיית סוללה מסוימת, בלי קשר למחיר. זו הסיבה שלצרכי תעופה ארוכת טווח לא ניתן היום להשתמש בסוללות, ומימן מסתמן כפתרון אפשרי.

⁵⁰ Electric Vehicle Outlook, Bloomberg, 2022, P.151-153 (link is not available)

⁵¹ [Hydrogen Forecast to 2050](#), DNV, June 2022; p.85-89; 23.08.2022

⁵² [The Future of Hydrogen](#), IEA, June 2019, p.55; 29.06.2022

⁵³ [Industrial Fuel Switching: Market Engagement Study, Final report for Business](#), Energy & Industrial Strategy Department (BEIS), December 2018, p.3; 29.06.2022

⁵⁴ [The Future of Hydrogen](#), IEA, June 2019, p.113; 29.06.2022

⁵⁵ [Energy Technology Perspectives 2020](#), IEA, February 2021, p.187-190; 20.06.2022

⁵⁶ [מפת דרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050](#), משרד האנרגיה, תאריך כניסה 06.06.2022

(פי 6 ביחס לגז הטבעי) ובעל מולקולה קטנה מגז טבעי, עם חשש מהותי לדליפה והתלקחות. ולכן, דרושה השקעה באמצעי בטיחות והתקנת אמצעים נוספים לצמצום הפליטות לאוויר. כל אלו מייקרים את עלות השימוש במימן לייצור חשמל בכ-30%, בנוסף לעלות התפעול הקבועה והמשתנה העולה בכ-25%-40% בהתאמה (לפני עלות הדלק).⁵⁷

הסבת מערכות קיימות (תחנות כח, תשתיות הולכה) והתאמתן למימן, דורשות היערכות טכנולוגית וכדאיות כלכלית. בעת שילוב מימן בתחנות כח מבוססות גז טבעי, יעילות הטורבינות יורדת. מסקירה מדגמית של חברות מסחריות, בחינה ופיתוח של תחנות כוח מבוססות 100% מימן (ללא פליטות), צפויה להיות אפשרית רק בעתיד.⁵⁸

נכון להיום, רמת הבשלות הטכנולוגית להטמעת המימן במשק החשמל העולמי נמוכה, הן בשל היכולת לשלבה בטורבינות, והן בשל השאלות שעולות לגבי תשתיות ההולכה. נראה כי שילוב משמעותי של מימן במשקי חשמל אינו בשל לשנים הקרובות וצפוי להיות אפשרי, ככל שתהיה קפיצה טכנולוגית משמעותית רק בעתיד. כאמור, מהסקירה הבינלאומית עולה שברוב התכניות האסטרטגיות אין יעד או צפי לשילוב מימן במשק החשמל לפני שנת 2030, וזאת למעט יפן, עם תכנית עבודה מוסדרת לייצור חשמל בשנת 2030.⁵⁹

סיכום מימן – מאפיינים ושרשרת הערך

למימן פוטנציאל לשמש כדלק לתחבורה, לתעשייה הכבדה, ולהפעלת תחנות כוח ואגירה לטווח ארוך. ככל שהמימן מיוצר מאנרגיות מתחדשות או עם טכנולוגיות לתפיסת פחמן, אזי השימוש בו מאפשר הפחתת פליטות משמעותית, ועשוי להוות מקור אנרגיה נקי בתמהיל האנרגיה העתידי. בנוסף, לפי התחזית העולמית, השימוש במימן צפוי לגדול ולכן עשויות להיווצר מדינות בהן הביקוש למימן עולה על ההיצע, מה שיגרום לכך שיהיו מדינות שייבאו מימן ויהיו כאלו שייצאו מימן, וזאת בהתאם לפוטנציאל ייצור המימן מאנרגיות מתחדשות בכל מדינה.

עם זאת, נכון להיום תהליכי הייצור והשימוש במימן הם בעלי נצילות נמוכה, בייחוד כאשר מדובר על ייצור ושימוש במימן ירוק. בנוסף עלויות הייצור של מימן מאנרגיות מתחדשות הן גבוהות (בין \$4-\$9 לק"ג מימן). נתונים אלו מעלים סימן שאלה מהותי לגבי כדאיות השימוש במימן. ככל שיהיה שיפור בנצילות ועלויות הייצור ירדו, יתעצם השימוש במימן במשק העולמי, דבר שיחייב מענה לאתגרי הובלת המימן ברמה האזורית וברמה הבינלאומית.

⁵⁷ מתוך עבודת מטה שנעשתה על ידי המדען הראשי במשרד האנרגיה

⁵⁸ [Hydrogen fueled gas turbines](#)

⁵⁹ [Hydrogen Power Generation for a Zero-Carbon World](#)

בשנים האחרונות, קיים עניין עולמי בחיפוש אחר טכנולוגיות, שיסייעו למעבר למשק דל פליטות. אחת מהאפשרויות שנבחנו כרלוונטית – המימן. זאת, בשל השימושים הרבים והפוטנציאל להפחתת פליטות. לטובת קידום הטכנולוגיה מדינות העולם, ובראשן מדינות אירופה וארה"ב, פועלות בשני ערוצים מרכזיים: השקעה במו"פ מחד, וגיבוש תכניות אסטרטגיות ועקרונות מנחים לקידום מימן במדינה במקביל. לפי הערכות של בלומברג, ההשקעה העולמית במו"פ לקידום טכנולוגיית המימן תגיע עד שנת 2050 לכ-2.5 טריליון אירו. השקעה זו כוללת לא רק השקעות של המדינות, אלא גם של גופים בינלאומיים, ובניהם האיחוד האירופי וה-IEA International Energy Agency.⁶⁰ הדגש המרכזי שניתן הוא על ייעול תהליכי ההמרה להפקת חשמל, כמו גם צמצום העלויות הכלכליות.

כדי ללמוד את המדיניות שמתגבשת ברחבי העולם, נבחנו מסמכי המדיניות (תכניות אסטרטגיות ועקרונות מנחים) והפעולות של חמש מדינות בקידום משק המימן: גרמניה, הולנד, יפן, בריטניה, איטליה וארה"ב.⁶¹ מדינות אלו נבחרו כמקרי בוחן על בסיס פרמטרים שונים ודומים למאפייניה הייחודיים של ישראל: גודל גיאוגרפי, קצב גידול האוכלוסייה (כסמן לביקושים עתידיים), קישוריות, דרכי הובלה ותמהיל האנרגיה.⁶²

מסקירת המדינות עולה שמדינות העולם, ובראשן מדינות אירופה וארה"ב:

1. בוחנות את השימוש במימן כנשא אנרגיה כחלק ממנעד הטכנולוגיות להפחתת פליטות. בין המניעים המרכזיים לקידום טכנולוגיית המימן ניתן למצוא את הרצון לעמוד ביעדי הפחתת פליטות בכלל (ארה"ב), ובפרט בסקטור התעשייה, בדגש על התעשייה הכבדה (גרמניה), ניסיון למצב את המדינה כשחקנית אנרגיה (בריטניה) באמצעות שימוש בתשתיות צנרת קיימות (איטליה והולנד); וכמענה לשמירה על ביטחון אנרגיה (ארה"ב ויפן). בהתאם, המדינות הציבו לעצמן יעדים לשימוש במימן (טבלה 2 - סיכום מבט עולמי).

2. השימוש במימן מותנה במספר **תנאים הכרחיים, בניהם הוזלה משמעותית בעלויות, נצילות, יעילות והתפתחות טכנולוגית משמעותית, בעיקר בפיתוחים טכנולוגיים לייצור מימן, אגירה ואחסון. באירופה מתקיים תנאי נוסף לפיו השימוש במימן יתאפשר במידה ויהיה ניתן לעשות שימוש בצנרת הגז הטבעי הקיימת.** לדוגמה, אפשרות ייבוא מימן נבחנת כבר היום במדינות אירופה, אך אופציה זו מותנת ביכולת להסב את הצנרת הקיימת להובלת מימן. **ארה"ב, אף קובעת יעדי פיתוח מימן ירוק כחלק אסטרטגיה, תוך התייחסות להעלאת יעילות טכנולוגיות והוזלת עלויות בכל שרשרת הערך.**

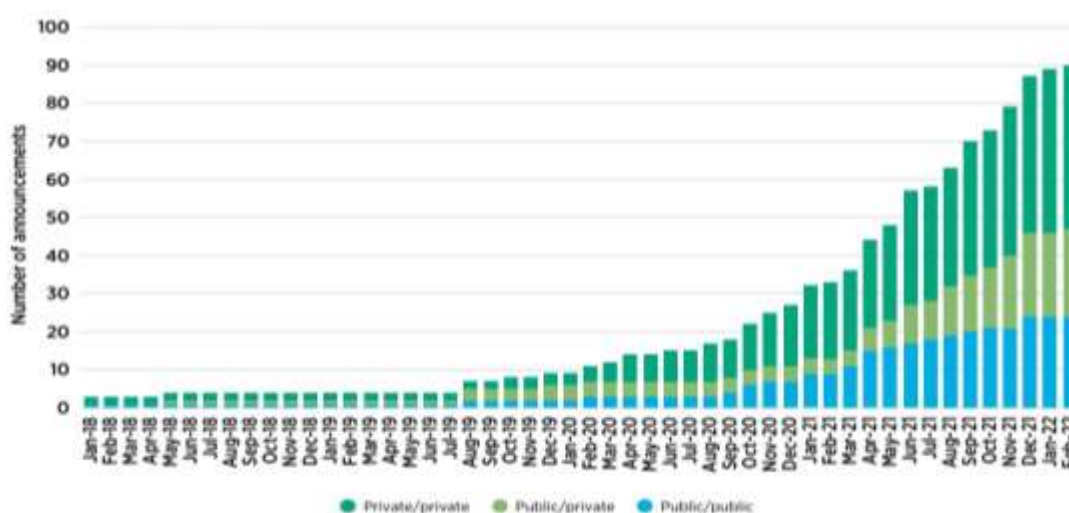
3. רוב מדינות העולם מתנות את העמידה ביעדים בהתקדמות טכנולוגית הנוגעת בעיקר לפיתוח האלקטורלייזרים לטובת ייצור מימן ירוק נקי מפליטות. כך למשל, הולנד קובעת יעד לשימוש במימן ירוק שנע בין 4-6GW עד לשנת 2030, ובתנאי שתהיה קפיצה טכנולוגית בתחום (להרחבה: [נספח ב'](#)).⁶³

⁶⁰ [Hydrogen - Just more hype or next big thing?](#), Bloomberg, February 2021; 11.05.2022

⁶¹ ארה"ב נוספה לסקירה המשווה בעדכון העבודה, מתוך הערות הציבור שהועלו במסגרת פרסום טיוטת העבודה ובכנס שיתוף בעלי עניין שהתקיים ביוני 2023 להרחבה: [מבט מקומי: ישראל](#)

⁶³ [The Northern Netherlands Hydrogen Investment Plan 2020](#) – Expanding the Northern Netherlands Hydrogen Valley; 07.06.2022.

4. רוב המדינות הציבו לעצמן יעדים להפחתת פליטות בתהליך הייצור באמצעות הגדלת השימוש במימן ירוק כבר בשנת 2030, אך התנו האפשרות הקידום והמימוש של האסטרטגיה בתנאים בהם תעבור האסטרטגיה לשלבים קריטיים או להטמעה משמעותית יותר של המימן.
5. רגולציה – נכון להיום, ומהסקירה שנערכה נראה כי לא גובשה עד כה רגולציה ייעודית למימן. כדי לאפשר את הקמת המתקנים נעשה שימוש בחוקים קיימים, לרוב בחוקים החלים על הגז הטבעי או על גזים בלחץ גבוה, ולצד פיתוח הרגולציה הקיימת באופן שיתמוך בייצור ושימוש במימן דל בפחמן.⁶⁴ לצד זאת, בחלק מהמדינות (לדוגמה: גרמניה, בריטניה והאיחוד האירופי)⁶⁵ האסטרטגיה מציינת שבעתיד ייבחן פיתוח המסגרת הרגולטורית למימן ככל ששווקי המימן יתפתחו, תוך המלצה לשלב את משק המימן כחלק מהרגולציה על חשמל וגז טבעי. ארה"ב נערכת במיוחד לנושא הרגולציה, המאגד תחת משרד להתייעלות באנרגיה ואנרגיה מתחדשת, מתוקף משרד האנרגיה, ופועלת בסינרגיה עם גופי ממשל שונים.
6. עוד נמצא, כי באסטרטגיות המימן שפורסמו על ידי מדינות שונות, אחד הנושאים המשמעותיים היה שיתופי פעולה בינלאומיים, וזאת עבור שיתוף ידע, אך גם ובעיקר עבור מסחר במימן בין מדינות בעלות יכולת ייצור גבוהה למדינות עם דרישה גבוהה למימן.⁶⁶ הרבה מאסטרטגיות אלו הובילו להסכמים ושיתופי פעולה בפועל, כפי שניתן לראות בתרשים 10 - הצהרות על הסכמים לסחר במימן מתחילת 2018, כמות מצטברת.



תרשים 10 - הצהרות על הסכמים לסחר במימן מתחילת 2018, כמות מצטברת

בין המדינות בעלות הפוטנציאל הגבוה ביותר לייבוא מימן נמצאות גרמניה, הולנד ויפן. כאמור, בסקירה הבינלאומית של יפן, חלק מאסטרטגית המימן מייעדת לייבא כ-300,000 טון מימן בשנה כבר בשנת 2030, בעיקר מאוסטרליה וערב הסעודית. בהתאם לכך, במרץ 2023 יפן שריינה 1.6\$ מיליארד לפרויקט The Hydrogen Energy Supply Chain (HESC), אשר עתיד לייצר 225,000 טון מימן בשנה באוסטרליה, ויוביל אותו ליפן כמימן מונזל בספינות.⁶⁷

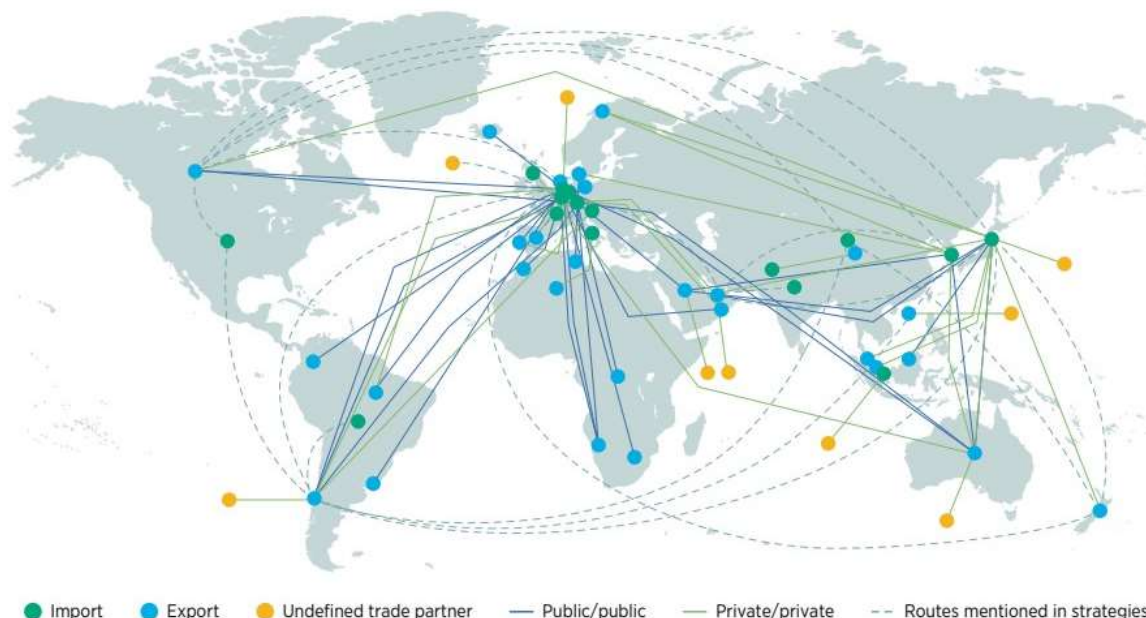
⁶⁴ ראו נספח ב' – סקירה בינלאומית

⁶⁵ [EU hydrogen policy](#), EU, April 2021

⁶⁶ [Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal: Green Hydrogen Cost and Potential](#), IRENA, May 2022

⁶⁷ [Japan's Green Innovation Fund selects J-Power/Sumitomo Corporation Joint Venture as preferred hydrogen producer](#), HESC, March 2023

הולנד שואפת שנמל רוטרדם, שהינו הנמל הגדול באירופה, ישמש כמקור משמעותי לייבוא מימן לאירופה. בין היתר, הולנד חתמה על הסכם עם פורטוגל, שגם לה נמל גדול, בשאיפה לשיתוף פעולה של שתי המדינות לפיתוח שרשרת המימן וייבוא המימן לאירופה.⁶⁸ בנוסף, הולנד חתמה על הסכמים בתחום המימן עם אוסטרליה, ברזיל, קנדה, צ'ילה, קולומביה, איסלנד, מרוקו, נמיביה, עומאן, ספרד, דרום אפריקה, איחוד האמירויות ואורוגוואי.⁶⁹ באסטרטגית המימן של גרמניה הוצהר על השקעה של 2 מיליארד אירו בפרויקטים בינלאומיים. בהמשך לכך, גרמניה חתמה על הסכם עם מצרים, בו הוסכם כי לאור משבר האנרגיה ומלחמת רוסיה-אוקראינה יוקמו תשתיות להובלת גז טבעי נזלי, שבהמשך ישמשו להובלת מימן ירוק.⁷⁰ הסכמים נוספים לייבוא מימן נחתמו עם ערב הסעודית,⁷¹ קנדה,⁷² מרוקו והודו.⁷³



תרשים 11 - הצהרות על סחר בילטרלי במימן בעולם עד מרץ 2022

7. מהסקירה עלה גם כי מדינות רבות נוקטות בגישה של השקעה תקציבית במימן, החל מתקציבי מו"פ ועד מתן תמיכות, הטבות מס ותמיכות נוספות. אירופה מקדמת תכניות רב שנתיות עד שנת 2030, במסגרתן כל מדינה משקיעה במימן בנוסף להשקעות כלליות של האיחוד האירופי. לדוגמה, גרמניה השקיעה כ-700 מיליון אירו לקידום טכנולוגיית מימן כבר בין השנים 2006-2016, ועד שנת 2030 היקף ההשקעה של המדינה בקידום משק המימן עתיד להסתכם במעל 9.4 מיליארד אירו. דוגמה נוספת היא הולנד אשר צפויה להשקיע בטכנולוגיית מימן מעל 350 מיליון אירו עד שנת 2030, אך צפויה גם להשקיע תקציבים נוספים הכוללים פיילוטים שונים שיסייעו בהפחתת

⁶⁸ [Portugal and the Netherlands strengthen bilateral cooperation on green hydrogen](#), Government of the Netherlands, September 2020

⁶⁹ [Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal: Green Hydrogen Cost and Potential](#), IRENA, May 2022, p. 25

⁷⁰ [Germany and Egypt strengthen partnership on green hydrogen and LNG](#), BMWK, November 2022

⁷¹ [Memorandum of Understanding on German-Saudi hydrogen cooperation](#), AHK, March 2021

⁷² [Canada and Germany Sign Agreement to Enhance German Energy Security with Clean Canadian Hydrogen](#), Natural Resources Canada, August 2023

⁷³ [Joint Declaration of Intent on Indo-German Development Cooperation regarding Renewable Energy Partnership](#), May 2022

פליטות.⁷⁴ ארה"ב,⁷⁵ עם התקציב הגבוהה ביותר בסך 9.5 מיליארד דולר, בעקבות החוק שנחקק בנובמבר 2021 להשגת יעדי איפוס פליטות בעזרת מימן (הרחבה בנספח ב' - סקירה בינלאומית).

8. עוד ניתן לראות, כי ישנה השקעה משמעותית ברכיב של עמק מימן המשמש כאחד הכלים המרכזיים בפיתוח משק מימן, וכיום בעולם יש למעלה מ-30 עמקי מימן בשלבי הקמה כלשהם, כאשר הרוב (כ-20 עמקים) מוקמים באירופה (טבלה 7 - סקירת עמקי מימן באירופה). אחת המטרות של פרויקטים מסוג זה היא לאפשר מגרש ניסויים לכל אורך שרשרת הערך של מימן, החל משלב הייצור, דרך שינוע ואחסון, ועד שלב הצריכה במגזרים השונים. בשל הריכוז הגבוה של מגוון פעילויות בעמק המימן, המדינה יכולה לתמוך במו"פ של מספר פרויקטים במקביל, ויש מדינות שאף מבצעות התאמות רגולטוריות בהתאם לצרכים שעולים מהשטח. בסקירה שנעשתה, נמצא כי ארה"ב מובילה בהיקף ההשקעה של 8 מיליארד דולר במרכזי מימן מקומיים (H2hubs) העתידים להיקבע במהלך תחילת 2024 ולייצר 10 טון מימן ירוק בשנה (בין 6-10 עמקי מימן). גרמניה השקיעה עשרות מיליוני אירו בעמקי מימן כגון: פרויקט "HyWays for Future", שמיועד להפיק 3 טון מימן ביום. היקף ההשקעה התקציבית בפרויקט זה מוערך ב-90 מיליון אירו, מתוכם 20 מיליון אירו במימון המדינה, בצורה של מענקי השקעה (investment grants).⁷⁶ פרויקט נוסף הוא eFARM, אשר נמצא בשלבי סיום ומיועד להפיק 0.6 טון מימן ביום לטובת תחבורה בלבד,⁷⁷ היקף ההשקעה בהקמת המתחם מוערך בכ-16 מיליון אירו, מתוך כך 8 מיליון אירו הגיעו ממימון המדינה.⁷⁸ גם הולנד השקיעה כמה עשרות מיליוני אירו עבור הקמת עמק מימן, "Heavenn" לו מיועד תקציב הקמה ראשוני של 90 מיליון אירו, מתוכם האיחוד האירופי משקיע כ-20 מיליון אירו,⁷⁹ והיתרה בסך של 70 מיליון אירו ימומנו באופן ציבורי-פרטי.⁸⁰ לפי הנתונים בעמק המימן יפעלו לייצור של כ-100 טון מימן ליום לתחבורה. מעבר לכך, ייבחנו בעמק טכנולוגיות לאגירת מימן, לחימום בתים, ולתעשייה.⁸¹ מהסקירה המשווה בנושא תמיכה ציבורית באירופה להקמת עמק מימן ברמת המדינה, היקף המענק בממוצע הוא כ-34%.

⁷⁴ [Government Strategy on Hydrogen](#) – Government of Netherlands, April 2020; 07.06.2022

⁷⁵ ארה"ב נוספה לסקירה המשווה בעדכון העבודה, מתוך הערות הציבור שהועלו במסגרת פרסום טיוטת העבודה ובכנס שיתוף בעלי עניין שהתקיים ביוני 2023

⁷⁶ [hyways for future](#)

⁷⁷ [EFARM](#), Mission Innovation

⁷⁸ [Largest model project for green hydrogen mobility now underway](#), NOW GMBH.DE

⁷⁹ דרך התכנית *Horizon 2020 Research and Innovation programme, Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research*

⁸⁰ [HEAVENN](#)

⁸¹ [HEAVENN](#)

כאמור, מדינות העולם ובראשן ארה"ב ומדינות אירופה, בוחנות את השימוש במימן כנשא אנרגיה כחלק ממנעד הטכנולוגיות להפחתת פליטות. המדינות הנסקרות קיבלו החלטה להשקיע בקידום טכנולוגיות מימן ולעשות שימוש במימן, על אף שבתהליך הייצור הנוכחי אין הפחתת פליטות ולמרות העלויות הכלכליות, וזאת במטרה לבחון היתכנות לשימוש במימן בתשתיות הקיימות.

רוב המדינות הציבו לעצמן יעדים להפחתת פליטות בתהליך הייצור באמצעות הגדלת השימוש במימן ירוק כבר בשנת 2030, ופועלות לקידום הסכמים בינלאומיים בנושא.

מדינות רבות משקיעות תקציבים משמעותיים בפיתוח מימן ומקדמות עמקי מימן, הרחבה בנספח ב'- סקירה בינלאומית. עם זאת, רוב המדינות הגדירו מספר תנאים הכרחיים, שבניהם הוזלה משמעותית בעלויות, שיפור הנצילות והיעילות והתפתחות טכנולוגית משמעותית, בעיקר בפיתוחים טכנולוגיים לייצור מימן, אגירה ואחסון, לפני מעבר לשימוש משמעותי במימן. ארה"ב אף מגדירה רף כמותי להשגה, במונחי עלויות ויעילות.

כבר היום, מדינות מקדמות מדיניות לשילוב מימן דל פליטות במשק האנרגיה המקומי, ופועלות לייבוא מימן ירוק למשק. לפיכך, קיימת עלייה ניכרת בהסכמי מסגרת בין מדינות בעלות יכולת ייצור גבוהה של אנרגיות מתחדשות (ליצור מימן ירוק), לבין מדינות מתועשות עם ביקושי מימן גבוהים.⁸²

עוד נציין, כי מספר מדינות רואות בשנת 2030 כשנה משמעותית לשאלת הבשלת טכנולוגיית המימן. כך למשל, גרמניה שהציבה כתנאי להתקדמות משק המימן את התפתחות טכנולוגיות המימן לרמה מסחרית ותעשייתית עד שנת 2030.

⁸² [Global Hydrogen Review 2021](#), IEA, November 2021, p.170

מדינה	מניע	תמהיל משק האנרגיה 2021	יעדים לשנת 2030	השקעה במו"פ	צעדים מדיניות עיקריים	תנאים הכרחיים למעבר למימן
גרמניה	הפחתת פליטות בתעשייה והתחבורה	31% נפט 26% גז טבעי 19% פחם 17% אנרגיות מתחדשות 6% גרעין 1% אנרגיה מייבאת	כושר ייצור של 5GW מימן ירוק	כ-2.4 מיליארד אירו בין השנים 2016-2026	- תקנת מעבר לרשתות הובלת מימן - הרחבת תשתית התדלוק	- הוזלת מחירי טכנולוגיות מימן - הבשלת טכנולוגיות לשימוש נרחב - התפתחות מקורות הייבוא של מימן
הולנד	תחליף לגז הטבעי ושימוש בתשתיות קיימות	43% גז טבעי 36% נפט 12% אנרגיות מתחדשות 8% פחם 1% גרעין	כושר ייצור של 4-6GW מימן ירוק	כ-85 מיליון אירו עד 2030	פיתוח נתיב מרכזי להובלת מימן לאורך 1,400 ק"מ בשנת 2030, שיתבסס ב-85% על צנרת גז טבעי קיימת	הוזלת משמעותית בייצור של מימן דל-פחמן
יפן	מחסור במקורות אנרגיה, והצורך בייבוא	39% נפט 26% פחם 22% גז טבעי 8% אנרגיות מתחדשות 5% גרעין	ייבוא של 300,000 טון מימן	2.7 מיליארד אירו למו"פ בדגש על ייבוא, ו-700 מיליון אירו נוספים למו"פ לייצור מימן ירוק	900 תחנות דלק מימניות עד שנת 2030 - יעד של 800,000 רכבים בהנעה מימנית, מתוכם 1,200 אוטובוסים מונעי מימן	- ירידת מחירי הייצור והייבוא של מימן - התפתחות טכנולוגיות שתאפשר הובלה ואגירת מימן ביעילות גבוהה
בריטניה	מעצמת מימן עולמית ויצואנית של מימן וטכנולוגיות תומכות	40% גז טבעי 35% נפט 14% אנרגיות מתחדשות 7% גרעין 4% פחם	כושר ייצור של 5GW מימן ירוק	היקף של כ-60 מיליון אירו, וכ-3.5 מיליון אירו השקעה שנחית עד שנת 2025 להקמת עמק מימן	- בחינת הובלת 100% מימן בצנרות חדשות או מומרות (מגז טבעי) וחיבור מרכזי לתעשייה - השקעה של 320 מיליון אירו לייבוא של 1,300 אוטובוסים מונעי מימן או סוללות חשמליות, והקמת התשתית הדרושה	- הוזלת משמעותית במחירי הייצור, בייחוד של מימן ירוק - התפתחות טכנולוגיות השימוש במימן
איטליה	אגירת אנרגיה עודפת ממקורות מתחדשים וייבוא מימן מאפריקה ומהמזרח התיכון לאירופה	44% גז טבעי 32% נפט 20% אנרגיות מתחדשות 4% פחם	כושר ייצור של 5GW מימן ירוק	כמיליארד אירו במו"פ עד 2030	כתיבת קווים מנחים למשק מימן במדינה	היכולת להתאים את תשתיות הגז הטבעי הקיימות להובלת מימן
ארה"ב ⁸³	הפחתת פליטות, יצירת מוקדי תעסוקה ופיתוח כלכלה עולמית	36% נפט 33% גז טבעי 21% אנרגיות מתחדשות 10% פחם 8% אנרגיה גרעינית	כושר ייצור של 10 מיליון טון מימן ירוק בשנה	9.5 מיליארד דולר	- הבטחת שימושים בסקטורים המתאימים למימן (תעשייה, תחבורה ואגירת חשמל) - הפחתת עלויות הייצור (תוך עשור 1 ק"ג מימן ב-1 דולר) - פיתוח מרכזי מימן אזוריים	

טבלה 2 - סיכום מבט עולמי

מדינת ישראל היא אי אנרגטי גאו-פוליטי. מאז הקמתה, אוכלוסיית ישראל גדלה פי עשרה בתוך שישה עשורים בלבד, וכיום הינה בעלת קצב גידול האוכלוסייה הגבוה ביותר מבין המדינות המפותחות בעולם המערבי (1.7%-1.9% בשנה).⁸⁵ נכון לשנת 2022, אוכלוסיית ישראל מונה כ-9.5 מיליון איש,⁸⁶ על שטח של 22,072 קמ"ר בלבד,⁸⁷ כשאוכלוסיית גוש דן לבדה מונה מעל ל-4 מיליון איש (כ-42% מכלל האוכלוסייה בישראל).⁸⁸

ישראל נמנית בין המדינות הצפופות בעולם, כשעל פי התחזיות, בשנת 2050 אוכלוסיית ישראל תגיע ליותר מ-15 מיליון נפש.⁸⁹ קצב הגידול המהיר באוכלוסייה הוא אחת הסיבות לתחרות המתמדת על משאב הקרקע - אחד המשאבים היקרים ביותר. התחרות נובעת מהמחסור בקרקע והצורך לשמר את רמת החיים באמצעות דיוור, אספקת אנרגיה ותשתיות של בתי חולים, בתי ספר וכבישים.⁹⁰ יחד עם זאת, ישראל ממוקמת במזרח התיכון ונכללת באגן הים התיכון. מיקומה הגאוגרפי-אסטרטגי מחזק את חשיבותה כמדינה שיכולה לשמש כגשר בינלאומי בין מדינות גובלות לה למדינות אירופה.

כאמור, מדינת ישראל מאופיינת בקצב גידול מהיר, צפיפות אוכלוסייה גבוהה ובצמיחה מהירה בביקוש לאנרגיה. מקורות האנרגיה המרכזיים הם עתודות גז טבעי גדולות שהתגלו בשנים האחרונות, ואנרגיה מתחדשת המופקת בעיקר מהשמש (אנרגיה סולארית) לצד מיעוט באנרגיית רוח. נציין כי הצורך בהספקים סולאריים הולך וגובר, עם העלייה בביקוש לחשמל והצורך בהגדלת אחוז האנרגיה המתחדשת בתמהיל הייצור, בעוד שמשאבי הקרקע הפנויים הולכים ומצטמצמים.

צרכני האנרגיה של ישראל כוללים שלושה סקטורים מרכזיים: תחבורה, תעשייה וחשמל. חיבור בין מאפייני המדינה, צרכני האנרגיה והרצון להפחתת פליטות, ביחד עם מאפייניו ויכולותיו של המימן - מצביעים על מספר אפשרויות פיתוח למשק מימן, על כל שרשרת הערך:

חומרי גלם ומקורות אנרגיה: תמהיל האנרגיה הראשוני בישראל (לתחבורה, לתעשייה ולמשק החשמל), מבוסס על מאזן האנרגיה לשנת 2021 לפי הלמ"ס: נפט (40%), גז (39%), פחם (15%) אנרגיות מתחדשות (6%).⁹¹ תמהיל מקורות האנרגיה המוערך לשנת 2022, למשק החשמל (המהווה כ-50% ממשק האנרגיה הראשוני) מורכב מכ-70% גז טבעי, 20% פחם ו-10% אנרגיה מתחדשת.⁹² האנרגיה המתחדשת בישראל נשענת ברובה המוחלט על אנרגית שמש (אנרגיה סולארית).

שימוש באנרגיות מתחדשות המבוססות על שמש מוגבל לאספקת חשמל בכמות גבוהה בשעות היום בלבד. עובדה זו מחייבת את ישראל לאחסן ולאגור את החשמל שמופק מהשמש בשעות השיא, והזרמתו לרשת החשמל לאורך כל שעות

⁸⁴ אנו מבקשים להודות במעמד זה לדניאל ברוכי, מתכנית צוערים לשירות המדינה על תרומתו בריכוז והנגשת המידע המופיע בפרק זה

⁸⁵ לוח סיכום תחזיות אוכלוסייה לשנים 2015-2026, למ"ס, תאריך כניסה: 22.05.22

⁸⁶ אוכלוסיית ישראל בפתחה של שנת 2022, למ"ס, דצמבר 2021

⁸⁷ מדינות לפי אוכלוסייה, שטח, צפיפות, תמ"ג ופיתוח אנושי, ויקיפדיה

⁸⁸ יישובים, אוכלוסייה וצפיפות לקמ"ר, לפי מטרופולין(1) ויישובים נבחרים, למ"ס, 2019

⁸⁹ עתיד צפוף- ישראל 2050, צפוף, נובמבר 2018; תאריך כניסה 06.06.2022

⁹⁰ מפת הדרכים לאנרגיות מתחדשות בשנת 2030, משרד האנרגיה, תאריך כניסה 06.06.2022

⁹¹ מאזן האנרגיה 2013 - 2021, למ"ס

⁹² הערכה על בסיס נתוני המשרד ורשות החשמל

היממה.⁹³ בהיבט ייצור מימן, בישראל ניתן להפיק מימן ממים וגז טבעי. לישראל שני סוגי מקורות מים: מים טבעיים (ימת הכינרת, אקוויפר החוף ואקוויפר ההר) ומים מלאכותיים (התפלה והשבת קולחין).⁹⁴ בנוסף, לישראל יש עתודות גז טבעי (כפי שיפורט בהמשך).⁹⁵

אנרגיית שמש יכולה להוות מקור אנרגיה לייצור מימן ממים (מימן ירוק). עם זאת, בהיקפי הייצור הצפויים בעשור הקרוב, ישנה עדיפות ברורה לשימוש ישיר בחשמל או באגירה בבטריות לעומת ייצור מימן, במסגרתו ישנו איבוד משמעותי של אנרגיה. עם זאת, וכפי שעולה ממפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד 2050,⁹⁶ ככל שמדינת ישראל תסתמך באחוזים גדולים (יותר מ-80% אנרגיה סולארית), יעלה צורך לקדם גם אגירה עונתית בעזרת מימן.

אופציה נוספת לייצור מימן, בעזרת גז טבעי עם תפיסת פחמן (מימן כחול). לישראל יתרון יחסי בייצור מסוג זה לאור מאגרי הגז בישראל, אך איבודי האנרגיה בתהליך הייצור והשימוש משמעותיים מאוד, וזאת בנוסף לכמות פליטות מוגברות של פחמן. ולכן, בטווח הקצר והבינוני, שימוש ישיר בגז הטבעי כמקור אנרגיה, על פני ייצור מימן, עדיף.

הובלה

תשתיות הובלת אנרגיה בישראל מתאפשרת בעזרת רשת קווי חשמל להובלת חשמל והובלה בצנרת של גז טבעי. זמני התכנון וההקמה של רשת החשמל בישראל נעים בין 15-8 שנים, בעוד שתווי ההקמה של קווי ההולכה ברשת הגז הטבעי מעוגנים תכנונית בתכנית מתאר ארצית 37.⁹⁷ הקמת תשתית צנרת המופיעה בתוכנית קיימת של תהליכי התכנון וההקמה, אורכת כ-5 שנים. בדומה לרשת החשמל, גם בצנרת הגז הטבעי קיימת חלוקה פיזית בין קווי הולכה וקווי חלוקה. קווי ההולכה מוקמים ומתופעלים על ידי חברה ממשלתית (נתיבי גז טבעי לישראל בע"מ), וקווי החלוקה על ידי חברות פרטיות, אשר קיבלו רישיון ממשלתי להקמת רשת החלוקה באזור גאוגרפי מסוים. בקווי ההולכה קיימות תשתיות הובלה של צינורות באורך כולל של כ-900 ק"מ, בעוד שבקווי החלוקה יש פריסה מצטברת של 628 ק"מ.⁹⁸

הובלת המימן בתוך מדינת ישראל יכולה להתקיים בשני אופנים: באמצעות תחבורה או צנרת. בהקשר זה, צוין מעלה כי עלות ההובלה במשאיות גבוהה ביחס להובלה בצנרת (תרשים 4 - עלויות הובלה של מימן בצנרת ביחס להובלה במשאיות, לצד עלויות המרת מימן לנשאים ועלויות המרה חוזרת למימן. שיקולים אודות גודלה של מדינת ישראל וזמני ההקמה של תשתיות, בעלות השפעה ישירה על בחירה ותעדוף כלכלי בין דרכי ההובלה. כאמור, התפיסה המקובלת היום בעולם היא כי ניתן להוביל מימן מהול בגז טבעי בכמות מסוימת בתשתיות הגז הטבעי. אולם, אחוז המהילה של המימן בגז טבעי נמצאת בבחינה,⁹⁹ וכיום ניתן להוביל מימן טהור רק בצנרות ייעודיות.

⁹³ מפת הדרכים לאנרגיות מתחדשות בשנת 2030; משרד האנרגיה, עמוד 14, תאריך כניסה 06.06.2022

⁹⁴ משק המים בישראל – סוגיות מרכזיות, מרכז המחקר והמידע של הכנסת, פברואר 2018; פרק 3, עמוד 8, תאריך כניסה 08.08.2022

⁹⁵ סקירת ההתפתחויות במשק הגז הטבעי סיכום לשנת 2022, משרד האנרגיה – רשות הגז הטבעי

⁹⁶ מפת דרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050, משרד האנרגיה, תאריך כניסה 06.06.2022

⁹⁷ תמ"א 37, מינהל התכנון

⁹⁸ סקירת ההתפתחויות במשק הגז הטבעי סיכום לשנת 2022, משרד האנרגיה – רשות הגז הטבעי, עמוד 25-26

⁹⁹ הערה שנוספה בעדכון העבודה: רשות הגז הטבעי, בשיתוף החברה הממשלתית נתג'יז (נתיבי גז טבעי לישראל) עורכת בחינה מעמיקה של השפעות תחום המימן המתפתח בישראל על תשתיות הגז הטבעי, ועתידה לפרסם דו"ח בנושא

תחבורה: ביחס למאפייניה של ישראל ולמגמות העולמיות, נראה במבט עתידי שלמימן תפקיד הנוגע בעיקר לתחבורה הכבדה ובכלל זה משאיות, אוטובוסים, תעופה וספנות. בהקשר של משאיות ואוטובוסים, לשטחה של מדינת ישראל תפקיד מפתח. לפי נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, משאית נוסעת בממוצע ביום כ-140 ק"מ, בעוד שאוטובוס ציבורי נוסע בממוצע ביום כ-290 ק"מ, קרי ייתכן שבמרחקים אלו הנעה חשמלית מספיקה.¹⁰⁰ ההכרעה על שימוש במימן בתעופה ובספנות כנגזרת של מגמה עולמית, ולא בהכרח כזו הנקשרת למאפייניה של ישראל. במידה וזו אכן תהיה המציאות, ישראל תידרש לתשתיות אספקת מימן בנמלי הים והאוויר. יש מקום להתייחס גם לרכבים פרטיים, ישנם פיתוחים ברחבי העולם לרכבים פרטיים המונעים במימן, ותיתכן גם כניסה של רכבים אלה לישראל. עם זאת, כיום המיקוד העולמי, וכך גם בישראל הוא בהנחת התשתית לרכבים חשמליים, כאשר עבור רכבים פרטיים מונעי מימן יידרשו תשתיות נרחבות ותחנות תדלוק.

תעשייה: ביחס למדינות אירופה (בדגש על גרמניה, הולנד ובריטניה), סקטור התעשייה הכבדה בישראל הוא מצומצם. על פי דו"ח מקינזי, על בסיס הטכנולוגיות הקיימות כיום ניתן לקדם חשמול תהליכים תעשייתיים הדורשים חום של עד $1,000^{\circ}\text{C}$ המסווג כטמפרטורה גבוהה.¹⁰¹ לפיכך, מקובל להניח כי בטווח הקצר והבינוני ניתן לחשמל חלק ניכר מהתהליכים הדורשים חום בטמפרטורות נמוכות ובינוניות. להערכת המשרד, ניתן יהיה לחשמל את מרב המפעלים הקיימים, למעט מפעלים עם תהליכים תעשייתיים הנדרשים לחום גבוה, ומחייבים כמויות גדולות של קיטור (הנוצר משריפת דלקים פוסיליים). נציין כי מפעלים אלו מהווים את רוב פליטות הפד"ח בתעשייה (לא כולל מגזר החשמל).¹⁰² הסבת מקור האנרגיה למימן במפעל יכולה להשפיע באופן דרמטי על סך הפליטות בתעשייה. חשוב להדגיש את ההנחה לפיה גם בעתיד האפשרות העדיפה, בעיקר מבחינת נצילות ועלות, היא לחשמל את המפעל (כל עוד זה אפשרי), על פני שימוש במימן.

המפעלים בעלי צריכות האנרגיה הגבוהות, פזורים באזורים שונים במדינה. עם שימוש נרחב למימן בתעשייה, ייתכן ויהיה נכון לשקול פרמטרים של אזורים גאוגרפיים בקבלת ההחלטה; אזור הנמלים (כתשתית עתידית לשימוש במימן בספנות ולייבוא וייצוא מימן), ובאזורים שבהם ניתן לאגד מספר מפעלים דורשי מימן.

חשמל: סקטור החשמל מהווה בישראל את הסקטור המרכזי בצריכת האנרגיה. החלטה על הגדלת אחוז האנרגיות המתחדשות מעבר ל-30% מסך צריכת החשמל,¹⁰³ תהיה בעלת השפעה מכרעת על משק האנרגיה הישראלי וניהול משאב הקרקע. כאמור, אנרגיה מתחדשת בישראל נשענת ברובה על אנרגית שמש, ולכן כדי לעמוד ביעדים שהציבה לעצמה ממשלת ישראל - לאגירה יש תפקיד מפתח. יצוין כי אגירה באמצעות סוללות הקיימות כיום לא נותנת מענה מספק לאגירת חשמל לטווח זמן ארוך, כפי שיידרש באחוזי חדירה גבוהים של אנרגיות מתחדשות.¹⁰⁴

עוד נציין, כי שימוש במימן כדלק יכול להוות פתרון להפעלת תחנות כוח שכיום פועלת על גז או פחם. זאת כמובן בהנחה שניתן יהיה להסב את התחנות ובכלל זה את התשתיות המשלימות (דוגמת צנרת) והקיימות לשימוש במימן.

¹⁰⁰ [נסועה של כלי רכב מנועיים \(קילומטראז'\) - 2020](#); למ"ס, אוקטובר 2021; תאריך כניסה 06.07.22

¹⁰¹ טווח הטמפרטורה המקסימאלי הצפוי ב-2050. כיום, הטווח המקובל הוא כ- 400°C

¹⁰² עיבוד נתוני פליטות גזי חממה לפי [נתוני מפל"ס](#)

¹⁰³ [החלטת ממשלה 465, קידום אנרגיה מתחדשת במשק החשמל ותיקון החלטות ממשלה](#), 2020

¹⁰⁴ [מפת הדרכים לאנרגיות מתחדשות בשנת 2030](#); משרד האנרגיה, עמוד 17, תאריך כניסה 06.06.2022

תכונותיו של המימן מאפשרות לאחסן אותו בתצורות שונות לטווח זמן קצר ובינוני, ולאגור אותו גם לתקופת זמן ממושכות (חודשים ואפילו שנים). תכונות אלו יכולות לאפשר למדינת ישראל ביטחון וזמינות אנרגטית גבוהים. יצוין כי טכנולוגיית האגירה לטווח זמן ארוך בתת הקרקע (לדוגמה בנקרות מלח או במאגרי גז טבעי שהתרוקנו) עדיין בחיתוליה ואין ניסיון רב בעולם באגירת מימן באופן הזה. בנוסף, קיימת אי ודאות לגבי עלויות הטכנולוגיה וההיתכנות שלה בהתאם לגיאולוגיה של תת-הקרקע בישראל. בהקשר זה יש מקום לציין שאין היום אסדרה תכנונית לשימוש בתת הקרקע העמוק, וכי בימים אלו החל המכון הגיאולוגי בתהליך לביצוע סקרי היתכנות לשימוש בתת הקרקע העמוק.

מו"פ

מאפיינה הייחודים של מדינת ישראל, לצד השימושים השונים שנמצאים בשטחה וההון האנושי, הופכים אותה לאומת סטארט-אפ ולאחד ממוקדי החדשנות העולמיים. כדי להמשיך ולהיות שחקן חדשני מרכזי בזירה הבינלאומית, ממשלת ישראל נותנת מדי שנה מענקים לקידום תחומים ונושאים שונים, כשמשרד האנרגיה והתשתיות אמון על קידום ומתן מענקים בתחום האנרגיה.

בהתאם, החל משנת 2015 החל המדען הראשי במשרד לתת מענקים למו"פ לקידום טכנולוגית מימן בכל אחת מהתחנות של שרשרת הערך. מתן המענקים מעמיק את התפיסה של מדינת ישראל כאומה של חדשנות, ומייצר כר פורה לבחינה ראשונית של טכנולוגיה ורגולציה מותאמת למציאות הישראלית.

1. לישראל ישנם מקורות אנרגיה לייצור מימן ירוק (שמש ומים) וכחול (גז טבע עם תפיסת פחמן). עם זאת, בשנים הקרובות שימוש ישיר במקורות האנרגיה של ישראל יהיה יעיל יותר מייצור מימן.
 2. ישראל ממוקמת במזרח התיכון ונכללת באגן הים התיכון. מיקומה הגאוגרפי-אסטרטגי מחזק את חשיבותה כמדינה שיכולה לשמש כגשר בינלאומי בין מדינות גובלות לה למדינות אירופה.
 3. בכל הנוגע לשימושים, ככל שמימן ישתלב במשקי האנרגיה בעולם בצורה רחבה, הרי שגם בישראל המימן רלוונטי למשק התעשייה, התחבורה והחשמל, עם זאת:
 - א. תחבורה: נראה שהדגש הוא על תחבורה כבדה, שגם זו מאוד מצומצמת בישראל ביחס למדינות הנסקרות. רובד נוסף המשפיע באופן ישיר על השימוש בתחבורה כבדה מונעת מימן בישראל, הוא גודלה של ישראל שלא בהכרח מצדיק שימוש בו.
 - ב. תעשייה: נראה כי המימן רלוונטי למספר תעשיות מובחנות, ואינו מצריך שימוש רחב (לעומת מדינות מתועשות יותר כמו מדינות אירופה), אך עשוי לסייע משמעותית בהפחתת פליטות.
 - ג. חשמל: במדינת ישראל יכולים להיות שימושים במימן הן ביחס לאגירה והן כמקור לייצור חשמל, אך בשנים הקרובות שימוש ישיר במקורות האנרגיה של ישראל יהיה יעיל יותר.
 - ד. שטחה המוגבל של מדינת ישראל משפיע באופן ישיר על כל שרשרת הערך: ממקור האנרגיה וחומר הגלם ועד להפקה. על כן, שיקול נוסף הוא סוגית התשתיות הנדרשות בישראל לטובת שימוש במימן.
 4. משק האנרגיה הישראלי מתקיים בתוך הקשר עולמי רחב, שבשנים האחרונות רווי משברים ואתגרים. בתוך כל אלו, יש מקום לחזור ולציין שישראל נתפסת בעולם כאומת החדשנות, משום ההון האנושי שלה, כך ששילוב ההון האנושי עם מאפייניה הייחודיים מאפשרים לה להיות "מעבדת חדשנות". לפיכך, שילוב בין מאפייניה של ישראל לצד ניתוח משק האנרגיה ומאפייניו של המימן מצביעים על אפשרויות שונות לקידום משק המימן בישראל, במטרה להפחית פליטות.
- על מנת לבחון את שילוב המימן בישראל נבקש לנתח את השלכות השילוב האפשרי בעזרת מודל הביקושים אשר מעמיק בסוגית המימן בפילוח לפי שימושים: תחבורה, תעשייה וחשמל (ובכלל זה אחסון ואגירה), כשהדיון ייסוב סביב שלושת השימושים, הצורך במימן, הכמויות הנדרשות וההשלכות הנלוות.

כדי לעמוד על השינויים במשק האנרגיה בעקבות שילוב המימן, נדרשת השוואה בין המצב הנוכחי לבין המצב העתידי של הביקושים לפי שימושים, ובהתאם לתמהיל מקורות האנרגיה. לצורך כך, נבנה מודל ביקושים למימן, המעריך את המשמעויות למעבר משק דל פליטות. המודל מעריך את הביקוש הצפוי למקורות האנרגיה: חשמל, מימן, דלקים וגז טבעי במגזרים השונים של משק האנרגיה הישראלי (תחבורה, תעשייה וחשמל), ומאפשר לבצע ניתוחי רגישות שונים. מודל הביקושים למימן מתבסס על מודל ביקוש כללי לאנרגיה שפותח במשרד.¹⁰⁵ המודל מנתח את ערוצי הביקוש למקורות האנרגיה, בשלושת השימושים העיקריים: תחבורה, תעשייה ומשק החשמל. במודל מספר תרחישים לכל שימוש המפרטים את הביקוש המצרפי למימן, חשמל ודלקים סינתטיים על פי שנים ועד לשנת 2050. נדגיש כי המודל עוסק בביקושים המצרפיים לאנרגיה, וכולל ניתוח ראשוני בלבד (דוגמת השטח הנדרש למערכות סולאריות), ואינו כולל ניתוח כלכלי או שעתי של הביקושים.

ההנחות בבסיס המודל

היקפי השימוש במימן שהותוו במסגרת הנחות המודל, נקבעו בין היתר, בהתאם לאופי המשק הישראלי:

שימושים	תרחיש מינימום	תרחיש מקסימום
ביתי ומסחרי	חשמול	חשמול
תחבורה יבשתית	חשמול מלא של התחבורה (רכב פרטי, אוטובוסים וכו'), למעט משאיות כבדות מעל 40 טון, כאשר 10% מהם יהיו מבוססי מימן	חשמול מלא תחבורה קלה (רכב פרטי, מוניות וכו') 25% ממספר האוטובוסים יהיו מבוססי מימן 40% מהמשאיות מעל 3.5 טון יהיו מבוססות מימן
תעופה	טיסות פנים: 50% חשמול, 50% דלקים סינתטיים/ביו-דלקים טיסות בין"ל: 10% חשמול, 10% מימן, 80% דלקים סינתטיים/ביו-דלקים	
ספנות	30% אמוניה, 70% דלקים סינתטיים	90% אמוניה, 10% דלקים סינתטיים
תעשייה ¹⁰⁶	חשמול, פרט ל-50% מצריכת האנרגיה של 10 המפעלים הגדולים שתסופק במימן	חשמול, פרט ל-50% מצריכת האנרגיה של 15 המפעלים הגדולים שתסופק במימן
חשמל	מבוסס טכנולוגיות אחרות, לדוגמה: גז טבעי עם תפיסת פחמן (מימן כחול), גרעין	במשק החשמל נבחנו שני תרחישים: תרחיש "טכנולוגי": 54% סולארי, 46% מימן תרחיש "סולארי": 87% סולארי, 13% מימן
התפלה	חשמול	חשמול

טבלה 3 - הנחות בבסיס המודל

¹⁰⁵ הרכיבים במודל חושבו בהתאם לנתונים פנימיים של משרד האנרגיה, רשות החשמל, נתוני למ"ס ונתונים בינלאומיים. הערה שנוספה בעדכון העבודה: בימים אלו יוצא משרד האנרגיה והתשתיות, בשיתוף פעולה עם התאחדות התעשיינים בישראל, בסקר מימן ממוקד בתעשייה. ¹⁰⁶ הסקר גובש מתוך הצורך שעלה מהתעשייה ומהערוץ הציבור שנסלחו. תוצאות הסקר יוטמעו במודל וישולבו בעדכון השנתי של העבודה

חוסר הוודאות בעולם לגבי קליטת מימן גדולה יחסית בנקודת הזמן הנוכחית. בהתאם לכך, בהסתכלות לניתוח הביקוש למימן בישראל, נבחרה מתודולוגיה שבוחנת שני תרחישי קצה: שימוש מינימלי ומקסימלי במימן. בשל טווח גמיש במתודולוגיה, מתבצע ניתוח רחב הלוקח בחשבון שימושים מקומיים של מימן בטווח הקצר, כמו גם התייחסות למגמה העולמית לגבי כניסת מימן במדינות מערביות. ככלל, המתודולוגיה מאפשרת דינאמיות בהתאם להתפתחות המשק והטכנולוגיה, תוך בחינה של תנאים הכרחיים לקידום מימן.

תרחיש מינימום

הנחות:

1. תחבורה: לא יהיה שימוש במימן בתחבורה פרטית וציבורית, מתוך הנחה כי טכנולוגיית הסוללה עבור רכב חשמלי תתקדם ותאפשר טווחי נסיעה מוגדלים והספק טעינה גבוה.
 - 1.1. משאיות – הונח כי 10% מהמשאיות הכבדות מעל 40 טון ישתמשו במימן.
 - 1.2. תעופה (בינלאומי) – הונח כי 10% מהדלקים יוחלפו במימן, 10% יחושמלו ו-80% בדלקים סינטטיים (מבוססי מימן) או ביודלקים.
 - 1.3. ספנות – הונח שימוש באמוניה ובדלקים סינטטיים (מבוססי מימן).
2. תעשייה:¹⁰⁷ נלקחו בחשבון 10 מפעלים גדולים אשר מהווים כ-30% מסך צריכת האנרגיה בתעשייה, ומתוכם הוערך כי לכל הפחות 50% מצריכת האנרגיה תסופק ממימן.
3. חשמל: הונח כי לא יעשה שימוש במימן, אלא בטכנולוגיות חלופיות של גז טבעי עם תפיסת פחמן, וזאת בין היתר, לאור חוסר בשלות הטכנולוגיה ביחס להפעלה בתחנות כוח וסוגית הנצילות ואיבודי האנרגיה.

תוצאות:

שימושים	כמות מימן נדרשת אלף טון/שנה	הספק אלקטרוניות נדרש מ"ו	מימן ירוק		מימן כחול		ייבוא
			כמות מימן נדרשת מלמ"ק/שנה	מערכות סולאריות דונם	כמות גז טבעי נדרשת BCM/Y	כמות פד"ח נפלטת אלף טון/שנה	
תחבורה	22	108	0.2	3,468	0.09	196	1
תעופה וספנות	382	1,899	3.4	60,708	1.56	3,439	19
תעשייה	174	867	1.6	27,711	0.71	1,570	9
סך הכול	578	2,874	5	91,887	2	5,206	29

טבלה 4 - תוצאות מודל בתרחיש מינימום

¹⁰⁷ הערה שנוספה בעדכון העבודה: בימים אלו יוצא משרד האנרגיה והתשתיות, בשיתוף פעולה עם התאחדות התעשיינים בישראל, בסקר מימן ממוקד בתעשייה. הסקר גובש מתוך הצורך שעלה מהתעשייה ומהערות הציבור שנשלחו. תוצאות הסקר יוטמעו במודל וישולבו בעדכון השנתי של העבודה.

כפי שניתן לראות בטבלה 4 - תוצאות מודל בתרחיש מינימום, כדי לענות על סך השימושים למימן במשק הישראלי בתרחיש המינימום, נדרש למעלה מ-550 אלף טון מימן בשנה, אשר ישמשו בתעשייה ולתחבורה בעיקר במגזרי התעופה והספנות.

על מנת לתת מענה לביקושים, ניתן לספק מימן משלושה מקורות עיקריים: מימן ירוק (מקומי), מימן כחול (מקומי) או ייבוא. כל מקור הוא בעל השפעה שונה על המשק הישראלי, ובכל אחד מהם יש אתגר משמעותי באספקת מלוא הביקוש למימן בתרחיש המינימום:

1. מענה על ידי מימן ירוק בלבד דורש הקצאת שטח בהיקף של כ-90,000 דונם למערכות סולאריות, אספקה של עוד כ-5 מלמ"ק מים בשנה והקמת אלקטרוליזרים בהספק כולל של יותר מ-2.8 ג'יגה-וואט.
2. מענה על ידי מימן כחול, דורש כ-2 BCM גז טבעי והטמנה של מעל 5,200 אלף טון פד"ח בשנה.
3. ייבוא ימי של מימן דורש כ-29 אוניות בנות 20,000 טון בשנה, תוך הגדלת התלות של ישראל במדינות יצוא של מימן, והשפעה על הביטחון האנרגטי.

ככל שמימן יתבסס במשק הבינלאומי כמקור אנרגיה מוביל, מתרחיש המינימום עולה כי:

1. מימן יהווה חלק בתמהיל האנרגיה העתידי בישראל, ולכן יש לבחון מה ההערכות הנדרשת אליו כבר עכשיו.
2. לאור האתגרים במקורות הייצור השונים, יהיה צורך בשילוב של ייבוא וייצור מקומי. על מנת לתת מענה לביקושי המימן בתחבורה ובתעשייה בלבד (ובדומה למגמה העולמית, כרגע ללא תעופה וספנות), נדרש להקצות שטחים נרחבים, כ-90,000 דונם שיאפשרו ייצור מימן מאנרגיות מתחדשות, וזאת בנוסף לייצור שיידרש באנרגיות מתחדשות (לשם הדגמה ל-54% סולארי ידרשו כ-500 אלף דונם).¹⁰⁸ על כן, נראה כי אלטרנטיבה של יבוא יכולה לתת מענה לצורך הקיים. עם זאת, ייבוא מימן ידרוש בחינה והיערכות מותאמת לשם שמירה על ביטחון האנרגיה, ושמירה על הרציפות התפקודית במידה והייבוא יופסק.
3. יהיה צורך בהקמה ובניית תשתיות נלוות, כגון מתקנים בנמלים לטיפול ולאחסון מימן (לצורך מלאי תפעולי), ביניהם מסופי קבלה וחלוקה. עם זאת, לאור העובדה כי השימושים בתרחיש המינימום נוגעים לתחבורה ולתעשייה בלבד ולאור ההיקף המצומצם של כמות המימן בתמהיל האנרגיה הראשוני, נראה כי ביחס לתרחיש זה, ההערכות הנדרשת תהיה בעיקר בתשתיות מקומיות ולא ארציות, גם ביחס לייצור וגם ביחס להובלה.

הנחות:

1. תחבורה:

- א. משאיות: הונח כי 40% מהמשאיות מעל 3.5 טון יהיו מבוססות מימן.
 - ב. אוטובוסים: 25% מסך האוטובוסים ישתמשו במימן.
 - ג. תעופה וספנות: הונח תמהיל דומה לתרחיש המינימום שהובא לעיל.
2. תעשייה: נלקחו בחשבון 15 מפעלים גדולים, אשר מהווים כ-45% מסך צריכת האנרגיה בתעשייה, ומתוכם הוערך כי לכל הפחות 50% מצריכת האנרגיה תסופק ממימן.

3. חשמל:¹⁰⁹ הונח כי מימן יהווה מקור משלים לאיפוס פליטות פד"ח (מימן ירוק וכחול) וזאת, תחת ההנחה כי תהיה התפתחות טכנולוגית משמעותית אשר תאפשר שימוש במימן גם בתחנות כוח במשק החשמל, ולאגירה לטווח ארוך. המודל מתבסס על שני תרחישים עיקריים – טכנולוגי וסולארי. תרחישים אלו נגזרים ממפת הדרכים לשנת 2050.¹¹⁰ בתרחיש הטכנולוגי, שיעור האנרגיות המתחדשות במשק החשמל מהווה 54%, ושאר האנרגיה מיוצרת מטכנולוגיות נוספות, בהנחה כי ההשלמה תהיה מבוססת על מימן כחול;¹¹¹ בתרחיש הסולארי, האנרגיה המתחדשת תהווה 87% ממקורות האנרגיה לחשמל, בהנחה כי ההשלמה תהיה בעזרת טכנולוגיות של מימן ירוק וכחול.

תוצאות:

שימושים	כמות מימן נדרשת אלף טון/שנה	הספק אלקטרוליזה מ"ו	מימן ירוק		מימן כחול		י"בוא
			כמות מים נדרשת מלמ"ק/שנה	מערכות סולאריות דונס	כמות גז טבעי נדרשת BCM/yr	כמות פד"ח נפלטת אלף טון/שנה	
תחבורה	278	1,383	2.5	44,213	1.14	2,505	14
תעופה וספנות	442	2,198	4.0	70,278	1.81	3,982	22
תעשייה	227	1,127	2.0	36,024	0.93	2,041	11
חשמל - טכנולוגי	4,329				17.70	38,960	216
חשמל - סולארי	668	3,319	6.0	106,099	2.73	6,011	33
סך הכל - טכנולוגי	5,276				22	47,487	264
סך הכל - סולארי	1,615	8,027	15	256,614	6.61	14,539	80

טבלה 5 - תוצאות מודל בתרחיש מקסימום

¹⁰⁹ הערה שנוספה בעדכון העבודה: בימים אלו יוצא משרד האנרגיה והתשתיות, בשיתוף פעולה עם התאחדות התעשיינים בישראל, בסקר מימן ממוקד בתעשייה. הסקר גובש מתוך הצורך שעלה מהתעשייה ומהערות הציבור שנשלחו. תוצאות הסקר יוטמעו במודל וישולבו בעדכון השנתי של העבודה

¹¹⁰ מפת דרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050, משרד האנרגיה, תאריך כניסה 06.06.2022

¹¹¹ הערה שנוספה בעדכון העבודה: הנחה זו מתבססת על כך שאין ייצור מימן ירוק בתרחיש טכנולוגי, כי כל אנרגיה סולארית שתיוצר, תשמש ישירות לחשמל

כפי שניתן לראות בטבלה 5, כדי לענות על סך השימושים למימן במשק הישראלי בתרחיש המקסימום, יידרשו בין כ- 1,600 אלף טון בשנה (ערוץ סולארי) ועד לכ-5,200 אלף טון מימן בשנה (ערוץ טכנולוגי), אשר ישמשו לתחבורה, לתעשייה ולמשק החשמל.

בתרחיש הסולארי לייצור מימן ירוק לחשמל, נדרש להקצות שטח בהיקף שמעל 250 אלף דונם למערכות סולאריות, לספק עוד כ-9 מלמ"ק מים בשנה, ולהקים אלקטרולייזרים בהספק שמעל 4.7 ג'יגה-וואט. לחילופין, ניתן לתת מענה באמצעות מימן כחול, הדורש מעל 22 BCM גז טבעי והטמנה של למעלה מ-47,000 אלף טון פד"ח בשנה. אפשרות נוספת היא ייבוא עם 80-264 אוניות בשנה.

נדגיש כי תרחיש המקסימום מבוסס על כך שטכנולוגית המימן תעבור קפיצה טכנולוגית משמעותית, אשר תשפר באחוזים גבוהים את נצילות ויעילות הייצור והשימוש במימן.

בדומה לתרחיש המינימום, האתגר לתת מענה לביקושים עבור מימן על-ידי ייצור מקומי הוא משמעותי, ובתרחיש המקסימום אף בולט יותר; בתרחיש המקסימום, השימוש במימן עבור התחבורה הכבדה למשאיות ולאוטובוסים, יהיה נרחב. מעבר לשימוש מימן בתעשייה דומה לתרחיש המינימום. על שני שימושים אלו נוסף שימוש חדש ומשמעותי של ייצור חשמל, אשר מעלה בצורה ניכרת את כמות המימן הנדרשת למשק.

מתרחיש המקסימום עולה כי:

1. המימן יהווה חלק משמעותי מתמהיל האנרגיה העתידי בישראל, כאשר ההבדל המרכזי נובע מהרחבת השימושים בתחבורה הכבדה ובמשק החשמל. הדבר מעלה שאלות מהותיות בכל הנוגע ליכולת לספק את התשתיות הנדרשות לכך. בנוסף, נראה כי המימן יהווה את הבסיס העיקרי למשק האנרגיה, ואף מעלה סוגיות הנוגעות לביטחון אנרגטי הנובעות מחוסר הגיוון במקורות האנרגיה.
2. התרחיש מבוסס על כך שטכנולוגית המימן תעבור קפיצה טכנולוגית משמעותית, אשר תשפר באחוזים גבוהים את נצילות ויעילות הייצור והשימוש במימן. נכון להיום, וכפי שהוזכר לעיל, רמת הבשלות של טכנולוגית המימן למשק החשמל היא נמוכה, ועדיין נמצאת בשלבי פיתוח.
3. כמו בתרחיש המינימום, לאור האתגרים במקורות הייצור השונים, יהיה צורך בשילוב של ייבוא עם ייצור מקומי. בהתאם לכך, ידרשו תשתיות נלוות בנמלים לטיפול במימן, ביניהן מסופים ומתקני הנזלה, ובהיקף רחב יותר. הדבר נכון גם לערוץ הסולארי (אשר יצריך כמויות שטח משמעותיות לייצור אנרגיה, ותשתיות אגירה ואחסון בתת הקרקע), וגם לערוץ הטכנולוגי. ישנו אתגר מהותי ביכולת לקדם את התשתיות הנדרשות לכמויות המימן שידרשו. במצב זה, האלטרנטיבה של ייבוא הכרחית, מאחר שלא נראה שיש אפשרות לתת מענה הולם לצורך הקיים. ייבוא מימן ידרוש בחינה והיערכות מותאמת לשם שמירה על ביטחון האנרגיה ושמירה על הרציפות התפקודית, במידה והייבוא יופסק.
4. ככל שיהיה מעבר לשימוש נרחב של מימן במשק החשמל, יהיה צורך בהקמת תשתיות נרחבות להולכה. עם זאת, נציין כי ביחס לתחבורה ולתעשייה, גם מתרחיש המקסימום נראה כי ניתן להתמקד בקידום תשתיות מקומיות ולא

ארציות; כאשר ביחס לתחבורה, יהיה צורך בהרחבה מסוימת של תחנות תדלוק ייעודיות והגדלה משמעותית של מלאי תפעולי.

מסקנות המודל

1. שילוב מימן בישראל עולה כבר מתרחיש המינימום, וזאת במגזר התחבורה והתעשייה.
2. על מנת לשלב מימן בישראל נדרשת היערכות כבר היום – שילוב מימן, גם בתרחיש המינימום, מחייב הקמת תשתיות פיסייות, בחינת דרכי וכמויות ייבוא והיערכות, לכל הפחות, של משקי התעשייה והתחבורה, ולכן על מנת לאפשר שילוב מימן עתידי יש להיערך כבר היום.
3. עיקר ההבדל בין תרחישי הקצה הוא שימוש נרחב במימן בתחבורה כבדה ושימוש במשק החשמל- בתוצאות לעיל נמצא שהמעבר בין תרחיש מינימום למקסימום הוא משמעותי, ונובע בעיקרו מהרחבת השימושים בתחבורה הכבדה ומהוספת השימושים למשק החשמל, אשר עשויים לכלול אגירה עונתית.
4. ביחס לשימוש מקומי, תרחיש המינימום מחייב קידום תשתיות מקומיות ואילו תרחיש המקסימום מחייב תשתיות ארציות – תרחיש המינימום מאפשר קידום תשתיות מקומיות המקדם פעילות נקודתית של מימן באזורים ייעודיים. כך למשל, עמק מימן באזורי תעשייה, או לחילופין הקמת אזור מלאי תפעולי בנמלים ושדות תעופה, אשר ניתן יהיה לתפעל על-ידי שינוע מקומי במשאיות הובלה. לעומת זאת, תרחיש המקסימום יחייב היערכות תשתית ארצית הכוללת, בין היתר, הקמת צנרת להובלת מימן. הקמת תשתית מקומית תוכל לשמש מקרה בוחן והזדמנות למידה לקראת בחינת הצורך בהקמת התשתית הארצית.
5. אספקת המימן לישראל בשני התרחישים תחייב ייבוא משמעותי בשילוב ייצור מקומי – בשני התרחישים אנו סבורים שנדרשת היערכות לייבוא מימן (לרבות שימוש במימן לצורך דלקים סינתטיים). זאת מכיוון שיכולת הייצור המקומי היא מוגבלת, הן בשטח פנוי לייצור מימן ירוק, והן במשאבי טבע זמינים לייצור מימן כחול ולהטמין פד"ח. לאור זאת, יהיה צורך בהשלמת הייצור המקומי בעזרת ייבוא.
6. תרחיש המקסימום מותנה בקפיצה תשתיתית וטכנולוגית משמעותית – כאמור, עיקר ההבדל בין תרחיש המינימום לתרחיש המקסימום נובע מהרחבת השימושים בתחבורה הכבדה ומהוספת השימושים למשק החשמל. מעבר לשימוש נרחב במשק האנרגיה, מותנה בקפיצה בבשלות הטכנולוגית לייצור מימן, שימוש במימן כדלק לתחנות כוח, יכולת לביצוע אגירה עונתית במימן ועוד. נכון להיום, רוב המדינות, למעט יפן, משלבות מימן בתחום התחבורה הכבדה והתעשייה בלבד.

כפי שעולה מהעבודה, למימן יש פוטנציאל לשמש כדלק לתחבורה, לתעשייה הכבדה, להפעלת תחנות כוח ואף לספק אגירה לטווח ארוך אשר מהווה פתרון משלים לאנרגיה מתחדשת. ככל שהמימן הוא ירוק או כחול, השימוש בו מאפשר הפחתת פליטות משמעותית. עם זאת, נכון להיום עלות הייצור וההובלה של מימן, יחד עם הנצילות הנמוכה מעלות סימן שאלה מהותי על כדאיות השימוש. על כן, עדיין ישנה חוסר וודאות לגבי עצם ואופן השתלבותו במשקי האנרגיה.

ברמה הבינלאומית נראה, כי יש השקעה משמעותית במימן כבר עכשיו עבור מחקר ופיתוח, הקמה או התאמת תשתיות, הסכמים ושותפויות בינלאומיות ועוד, תלויה במספר תנאים הכרחיים אשר עם התקיימותם ניתן יהיה לעבור לשילוב נרחב של מימן במשקי האנרגיה (לדוגמה: הוזלה משמעותית בעלויות, שיפור בנצילות, ביעילות והתפתחות טכנולוגית משמעותית, בעיקר בפיתוחים טכנולוגיים לייצור מימן, אגירה ואחסון).

ברמה המקומית, נמצא כי שילוב בין מאפייניה של ישראל לצד ניתוח משק האנרגיה ומאפייניו של המימן, מצביעים על אפשרויות שונות לקידום משק המימן בישראל, במטרה להפחית פליטות.

לצד זאת, מתוך המודל הביקושים שגיבשנו לטובת העמקה בסוגיית המימן בפילוח לפי שימושים – תחבורה, תעשייה, וחשמל (ובכלל זה אחסון ואגירה) – עולה כי שילוב מימן בישראל נדרש כבר בתרחיש המינימום בתחבורה הכבדה ובתעשייה כבדה. תרחיש המקסימום כולל הרחבה משמעותית של היקף השימוש בתחבורה הכבדה והרחבת השימוש לחשמל, ויחייב היערכות תשתית ארצית הכוללת, בין היתר, הקמת צנרת להולכת מימן.

נכון להיום, וככל שמימן צפוי להשתלב במשקי האנרגיה בעולם, הרי ששילובו של מימן במשק האנרגיה הישראלי בכל אחד מהתרחישים שנבחנו מחייב היערכות וצעדי מדיניות אשר יאפשרו זאת. עם זאת, יש לפעול בצורה הדרגתית, וזאת בהתאם למגמות העולמיות והמאפיינים הייחודיים של ישראל, אך יש לעשות זאת בצורה מדודה ובהתאם למגמות העולמיות ולמאפייני ישראל, ונפרט:

1. **יש להיערך לשילוב מימן כבר היום:** כאמור, גם תרחיש המינימום צופה שימוש במשק האנרגיה במימן, אשר מחייב הערכות הן ברמה הרגולטורית, הן ברמת התשתיות הפיסיות והן ביחס למדיניות ברמה הלאומית והבינלאומית. סיבות נוספות אשר תומכות בהערכות הן הפוטנציאל הרחב שיש לישראל לקחת תפקיד מוביל בתחום החדשנות, בייחוד לטכנולוגיות שנמצאות בשלבי הבשלה ופיתוח כגון טכנולוגיית מימן. בנוסף, מתוך הסקירה הבינלאומית עולה כי כל המדינות שנסקרו משקיעות בפיתוח מימן, ואף פועלות לקידום MOU עם מדינות שונות לייבוא מימן. בשל מיקומה האסטרטגי של ישראל, היא נדרשת להיערך כבר היום כדי לקחת חלק מרכזי כמדינה שתהווה גשר בין מדינות מייצאות לאירופה. עובדה אשר מחזקת את החשיבות בהשקעה בפיתוח מקומי של טכנולוגיית המימן ותשתיות נדרשות הן לייבוא, והן ביחס להשתלבות אפשרית במארג הבינלאומי של תשתיות.

2. **ביחס למשק המקומי עם מאפייניה הייחודיים של ישראל, ובשילוב הבשלות הטכנולוגיות של מימן – ניתן להסיק על הערכות לשימוש מצומצם במימן בשלב זה:** לישראל יש צפי לשימושים בהיקף מצומצם יותר משל מדינות אחרות, בייחוד בתעשייה ובתחבורה. בהתאם, נראה כי ההיערכות למשק המקומי מצריכה תשתיות אזוריות

והערכות לתשתיות נדרשות לייבוא (כאמור שילוב של מימן במשק החשמל יצריך תשתיות ארציות, אך כפי שעולה גם מהסקירה הבינלאומית, שימוש במימן במשקי חשמל אינו צפוי בטווח הזמן הקצר והבינוני על כן, בשלב זה מומלץ להיערך להקמת תשתית מקומית). במקביל יש לבחון ולהיערך לאפשרות להשתלבות של ישראל במארג הבינלאומי של תשתיות מימן.

3. **המעבר להיערכות רחבה למשק המקומי מותנה במספר תנאים:** קיים חוסר ודאות אודות השימוש העתידי במימן, משום שהטכנולוגיה עודה בשלבי נסיונות ופיתוח וישנם מספר לא מבוטל של גורמים בעלי השפעה על הכדאיות הכלכלית. לכן, המעבר מהיערכות לתרחיש מינימום לתרחיש נרחב יותר מותנית בהבשלה של מספר תנאים הכרחיים. יש לציין, כי גם מהסקירה הבינלאומית עולה כי מדינות רבות הציבו תנאים הכרחיים לפני מעבר לשימוש נרחב. **התנאים המתלים מפורטים בהרחבה בהמשך וכוללים: שימוש עולמי נרחב מימן, התפתחות טכנולוגית, הפחתת עלויות, התכנות שינוע בתשתיות קיימות, יכולת אגירת מימן ואחסון פד"ח בתת הקרקע העמוק.**

4. **מומלצת מפת דרכים הדרגתית אשר תבחן בכל שנה, בין היתר, בהתאם לתנאים המתלים:** המורכבות שבשילוב מימן, מחייבת אותנו לבנות מפת צעדים מדורגת, כאשר אופי הצעדים והיקפם יהיה תלוי בבשלות הטכנולוגיה, בין היתר ביחס לשימושים השונים, במאפיינים והצרכים הייחודיים של ישראל, במגמות העולמיות, בהשלכות והמשמעויות אשר עלו מניתוח המודל ובתנאים המתלים אשר גובשו בהתאם לכל אלו.

5. **מפת הדרכים תתמקד בחמישה תחומים מרכזיים:** מחקר ופיתוח, הקמת עמק מימן, תשתיות, מדיניות ורגולציה, מדיניות בין לאומית.

גיבוש מדיניות מימן וצמתי הכרעה

כאמור, המורכבות שבשילוב מימן מחייבת בניה של מפת צעדים מדורגת כאשר אופי, מועד והיקף יישום הצעדים יהיו תלויים בבשלות הטכנולוגיה, בין היתר ביחס לשימושים השונים, במאפיינים ובצרכים הייחודיים של ישראל, במגמות העולמיות, בהשלכות ובמשמעויות אשר עלו מניתוח המודל ובמספר תנאים מתלים אשר גובשו בהתאם לכל אלו.

לאור זאת, גובשו צעדי מדיניות מרכזיים שעל ישראל להוביל בטווח הקצר-בינוני כדי לאפשר את תרחיש המינימום ולהכין את המשק במידה ובעתיד יוחלט לעבור לשימוש נרחב במימן, כפי שהוצע בתרחיש המקסימום.

צעדים מומלצים בטווח הקצר-בינוני:

1. **צעדי מדיניות שמניחים את התשתית הראשונית לשימוש במימן בהיקף מצומצם כבר היום**, ויאפשרו היערכות לתרחיש מינימום – צעדים המתמקדים בהיערכות לשימושים במימן בתחבורה כבדה, תעופה וספנות, קידום מו"פ ונסינות.

2. **צעדי הכנה קריטיים שלא גוררים "עלות" טעות גבוהה** – יצירת תשתית הידע הנדרשת לקבלת החלטות עתידיות לשימוש נרחב במימן, או צעדים הרלוונטיים לתרחיש המקסימום, או צעדים רוחביים משמעותיים בעלי השלכות דרמטיות יחסית על המשק. כך לדוגמה: בדיקת התכנות שימוש בתשתיות הגז הטבעי להובלת מימן,¹¹² או בדיקת היתכנות בשימושי קרקע הנדרשים לטובת הפיתוחים הטכנולוגיים.¹¹³

צעדים לבחינה עתידית:

צעדים לטובת הערכות לקליטה נרחבת של מימן במשק האנרגיה (תרחיש המקסימום), אשר ביצועם תלוי מספר תנאים מתלים. ביצוע צעדים אלו כרוך בעלות גבוהה, ולאור חוסר הוודאות המשמעותי הקיים היום ביחס למעבר לשימוש נרחב במימן, מוצע להמתין עם ביצועם עד שיתקיימו מספר תנאים, כמפורט להלן:

1. **שימוש עולמי נרחב במימן** – התפתחות שרשרת הערך של מימן בסדרי גודל בינלאומיים, ובפרט במדינות אירופה, באופן שיהיה כדאי לישראל לקחת חלק במגמה הכלכלית והגיאופוליטית.

2. **יעילות ונצילות, התפתחות טכנולוגית** – תנאי הכרחי לשימוש במימן הוא התפתחויות טכנולוגיות משמעותיות אשר ישפיעו על הכדאיות הכלכלית של שימוש במימן. ההתפתחויות יכולות להיות בחלקים שונים של שרשרת הערך. לדוגמה: התפתחות טכנולוגיות, תפיסת פחמן, שיפור בהספקי הייצור של תאים פוטו-וולטאיים, יעול תהליכי המרת מימן לנשאים אחרים וחזרה. שיפור בכל אחד מפרמטרים אלו, ישפיע על הכדאיות של השימוש במימן.

3. **עלות** – כיום מחירי הייצור והשימוש של מימן ירוק וכחול גבוהים בהרבה מעלות השימוש בדלקים מאובנים. עם זאת, כפי שניתן לראות בתרשים 3 – תחזיות למחירים עתידיים של ייצור מימן בטכנולוגיות שונות, עלויות הייצור של מימן

¹¹² הערה שנוספה בעדכון העבודה: רשות הגז הטבעי, בשיתוף החברה הממשלתית נתג'יז (נתיבי גז טבעי לישראל) עורכת בחינה מעמיקה של השפעות תחום המימן המתפתח בישראל על תשתיות הגז הטבעי, ועתידה לפרסם דו"ח בנושא

¹¹³ הערה שנוספה בעדכון העבודה: משרד האנרגיה והתשתיות, מבצע עבודת חקר להיתכנות שימוש בתת הקרקע ובמיפוי אזורים להטמנת פד"ח, הפקה ואגירת אנרגיה. תוצאות העבודה יפורסמו בדו"ח נפרד בהמשך

ירוק צפויות לרדת משמעותית בעשורים הקרובים. לכן, יש לעקוב אחר ירידת מחירי הייצור של מימן ירוק ושל תפיסת פחמן לייצור מימן כחול.

4. תשתיות

- א. **התבססות על תשתיות פיזיות קיימות:** התבססות על תשתיות גז טבעי קיימות לטובת הובלה של מימן ולהימנע מהקמת תשתיות ייעודיות. תנאי זה עומד גם כתנאי הכרחי של מדינות אירופה.
- ב. **יכולת הקמת תשתיות לאגירה ואחסון בתת הקרקע:** אגירת מימן ואחסון פד"ח בתת הקרקע, היתכנות שימוש בתת הקרקע נבדקת בימים אלו במשרד. ליכולת לאחסן פד"ח או מימן בתת הקרקע השלכות מהותיות בהקשר של שימוש במימן כנשא אנרגיה. השימוש בתת הקרקע יאפשר להשתמש במימן לאגירת אנרגיה לטווח ארוך (בעיקר כאגירה עונתית), או לטובת הטמנת פד"ח שייכלא בתהליכי ייצור של מימן כחול, לצד תהליכים נוספים. לפי תנאי זה, יש לבחון האם ניתן להשתמש בתת הקרקע בישראל לטובת שימושים אלו, כמו גם לבדוק את כמויות ושטח האחסון הנדרש ביחס לביקוש.



תרשים 12 - תנאים מתלים לבחינה שנתית לקידום משק המימן

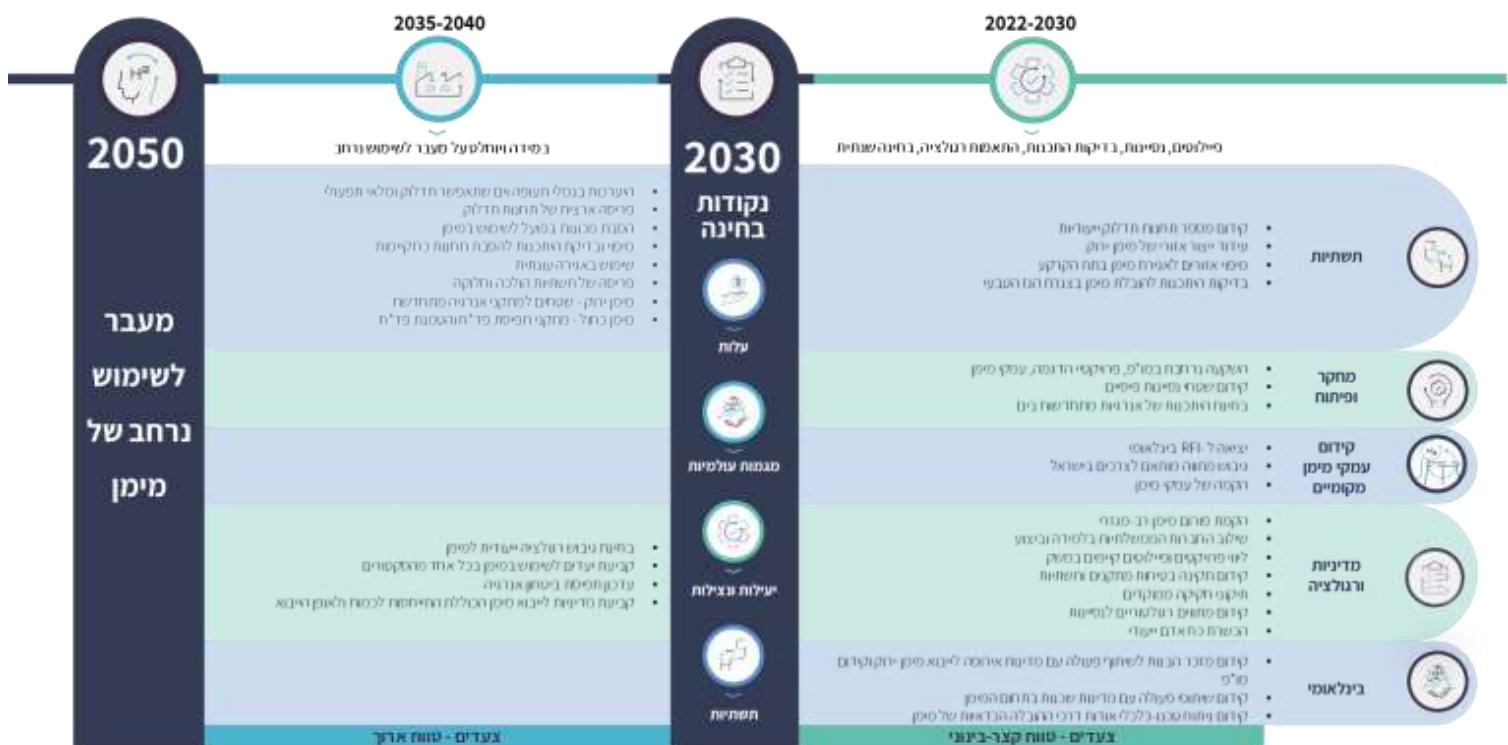
הצעדים המומלצים המפורטים מטה, מתבססים על מסקנות העבודה ונתמכים בהגדרת IEA בצעדי המדיניות המרכזיים שעל מדינות לקדם (תרשים 13 - גיבוש צעדי מדיניות נדרשים וצמתי הכרעה). הצעדים מחולקים לחמישה תחומי פעילות מרכזיים וטווחי זמן כמפורט במפת הדרכים.

1. **השקעה במחקר ופיתוח:** לאור היותה של ישראל כלכלה קטנה, אבל אחד ממוקדי החדשנות המובילים בעולם, חלק מתרומתה לכלכלת המימן תהיה בהשקעות משמעותיות במו"פ של טכנולוגיות מימן חדשניות ובהדגמה של מתקנים וטכנולוגיות. פרויקטים של מו"פ והדגמה יאפשרו הנעת משק מימן בישראל ויאפשרו בחינה והתאמת היבטים שונים של הרגולציה, סטטוטוריקה ותקינה למאפיינים המקומיים של ישראל. עיקר המו"פ וההדגמה ייתן מענה לאתגרים המרכזים בתחום המימן: עלויות גבוהות, קשיים לוגיסטיים ובטיחותיים, ויעילות מעגל המימן.
2. **קידום עמקי מימן אזוריים:** עמקי מימן הם אקוסיסטם בהם מספר יישומים סופיים שותפים לאותה תשתית אספקת מימן. עמק מימן ממוקם באזור גיאוגרפי מוגדר ומכסה חלק משמעותי של שרשרת הערך של המימן, החל מטכנולוגיות ייצור, דרך אגירה והובלה ועד לשימוש הסופי שלו בסקטורים שונים – תחבורה, תעשייה וחשמל. הקמת עמק מימן בישראל תקדם את היכולת ליישם בפועל שימוש במימן הן בהיבט התשתיתי והן בהיבט המסחרי, תסייע בגיבוש רגולציה מותאמת, תסייע בקידום מחקר ופיתוח, תשמש הן בשטח נסיינות פיסי, והן לשימושים תעשייתיים, ולמעשה תאפשר את עיקר הצעדים המומלצים לטובת הערכות לתרחיש המינימום.
3. **תשתיות פיזיות:** צעדים הנוגעים להערכות הנדרשת מבחינת התשתיות הפיסיות, הן לטווח הקצר-בינוני והן לטווח הארוך.
4. **מדיניות ורגולציה מאפשרת:** צעדים לבחינה ועדכוני מדיניות נדרשים, לאור ההתכנות של שילוב מימן בישראל. יגובש מתווה לרגולציה גמישה ומאפשרת, במידה המתאימה, למימן כחומר רלוונטי במשק האנרגיה.
5. **קידום ושילוב ישראל במארג הבינלאומי של מימן:** בסקירה הבינלאומית נמצא כי אחד הנושאים המשמעותיים באסטרטגיות המימן בעולם הוא שיתופי פעולה בינלאומיים, וזאת עבור שיתוף ידע, אך גם ובעיקר עבור מסחר במימן בין מדינות בעלות יכולת ייצור גבוהה למדינות עם דרישה גבוהה למימן. שיתופי פעולה בינלאומיים בין מדינות ייצוא וייבוא מימן יקדמו את פיתוח הטכנולוגיות והוזלת העלויות בשרשרת הערך של המימן, יפתחו קשרי מסחר חדשים ויגונו את מקורות האנרגיה הזמינים. יש לציין כי לישראל פוטנציאל להיות נקודת קישור משמעותית בין מדינות שונות, ולישראל עצמה גם מתרחיש המינימום וגם מתרחיש המקסימום עולה כי שימוש במימן במשק האנרגיה הישראלי יצריך ייבוא.

טווחי זמן: הצעדים המומלצים מחולקים לשתי קטגוריות: צעדים שיש לפעול ליישומם כבר היום, וצעדים עתידיים לטובת הערכות לקליטה נרחבת של מימן במשק האנרגיה.

נדגיש כי לאור אופי משק האנרגיה וההתפתחויות הטכנולוגיות המהירות, מוצע כי בכל שנה יתבצע עדכון של העבודה, ותעשה בחינה של המצב בארץ ובעולם אלא מול התנאים ההכרחיים, על מנת להכריע האם יש להיערך לתרחיש המקסימום.

להלן מובאת מפת הדרכים, מחולקת לפי תחומי הפעילות ולצעדים מומלצים לטווח הקצר-בינוני לעומת צעדים מומלצים לטווח ארוך. **בנספח ד', ניתן לראות פירוט אודות סטטוס הצעדים שהותוו בהתאם למפה שפורסמה במאי 2023, והפעולות שנעשו עד כה בעת הפרסום השני לעבודה האסטרטגית.**



תרשים 13 - גיבוש צעדי מדיניות נדרשים וצמתי הכרעה

לאור היותה של ישראל כלכלה קטנה מצד אחד, אבל אחד ממוקדי החדשנות המובילים בעולם, תרומתה הגדולה לכלכלת המימן תהיה בהשקעות משמעותיות במו"פ של טכנולוגיות מימן חדשניות במחקר, ובהדגמה של מתקנים וטכנולוגיות קיימות מן העולם. פרויקטים של מו"פ והדגמה, יאפשרו הנעת משק מימן בישראל ויאפשרו בחינה והתאמת היבטים שונים של הרגולציה, התשתיות הפיזיות והתקינה למאפיינים המקומיים של ישראל. עיקר המו"פ וההדגמה ייתן מענה לאתגרים המרכזים בתחום המימן: העלויות הגבוהות, הקשיים הלוגיסטיים והבטיחותיים ויעילות מעגל המימן. לפיכך, נגזרים הצעדים הבאים, אותם ניתן להתחיל לבצע כבר בשלב המייד:

תמיכה במחקר ופיתוח של טכנולוגיות מימן וטכנולוגיות נלוות, שמיועד לשנים הקרובות, תוך היערכות לתקציבים נוספים עבור העשור הקרוב. התקציב יוקדש לכלל טכנולוגיות המימן, עם דגש למספר תחומים:

1. הגברת יעילות תאי דלק ואלקטרוליזרים והורדת עלותם.
2. פיתוח שיטות וטכנולוגיות אגירת מימן – כולל פיתוח נשאי מימן כימיים (למשל כאמוניה, נוזל, או בצורת מוצק), היבטים של הטמנת מימן בתת הקרקע ועוד.
3. ייצור מימן כחול, כולל טכנולוגיות לתפיסת הפחמן והטמנתו, חקר תת הקרקע העמוק לצורך מיפוי אזורים פוטנציאליים להטמנת פד"ח וגודלם, פיתוח שיטות ייצור מימן מגז טבעי באמצעות פירוליזה ללא פליטות.
4. פרויקטי הדגמה – לצורך הנעת משק המימן בישראל והכנת הרגולציה והתקינה הנחוצה לקיומו של משק זה, מומלץ להקצות תקציב ייעודי לפרוייקטי הדגמה במספר תחומים:
 - א. קידום שטחיי נסיינות פיסית אשר יאפשרו הקמה של מתקני חלוץ והדגמה. בנושא זה, ראו הרחבה הן תחת קידום עמקי מימן מקומיים והן תחת מדיניות ורגולציה.
 - ב. הדגמה של השימוש במימן להנעת תחבורה כבדה על-ידי השקעה במימן פיילוטים (ייבוא) למשאיות ואוטובוסים בין-עירוניים המונעים במימן, וכן מימן הקמת מספר מצומצם של תחנות תדלוק מימן.
 - ג. הדגמה של השימוש במימן בתעשייה – בדגש על מקרים שבהם השימוש במימן מעשי יחסית, ושיש בהם תרומה ממשית לקידום משק מימן בישראל או לפיתוח טכנולוגיות חדשות.
 - ד. פרויקטים של שינוע והובלת מימן.

בנוסף, מומלץ לפעול להגדלת פוטנציאל ייצור מאנרגיות מתחדשות לטובת מימן ירוק, בין היתר על ידי בחינת התכנות של אנרגיות מתחדשות בים. על כן, מומלץ לקדם את ביצוע סקר אסטרטגי סביבתי (סא"ס) לבדיקת היתכנות לקידום אנרגיות מתחדשות בים, מהלך אשר מבוצע בימים אלה במשרד.

עמק מימן הוא אקוסיסטם בו מספר יישומים סופיים שותפים לאותה תשתית אספקת מימן. עמק מימן ממוקם באזור גיאוגרפי מוגדר ומכסה חלק משמעותי של שרשרת הערך של המימן, החל מטכנולוגיות ייצור המימן, דרך אגירה והובלה ועד לשימוש הסופי שלו בסקטורים שונים – תחבורה, תעשייה ואנרגיה. עמק מימן יכול להיות לצורכי מחקר בלבד, לצרכים מסחריים או שילוב של שניהם. באופן זה, יכולים עמקי המימן לקדם יצירת כלכלת מימן בישראל במספר אופנים:

1. עמק מימן יהווה תשתית למחקרים מתקדמים בקנה מידה תעשייתי, לצורך פיתוח, או בדיקה של מרכיבים שונים במעגל המימן השלם, כולל המערך המחבר אותם (הובלה, אגירה) והשימוש הסופי בהם (למשל תחנות תדלוק). דוגמאות למחקרים אפשריים: בחינת תהליכים שפותחו במעבדה בקנה מידה תעשייתי, השוואה בין קטליטים, שילוב מודולים של תאי דלק מסוגים שונים בתוך אלקטרוליזר גדול ועוד. העמק ישמש גם "כמעבדת ניסויים במימן" לכל אורך שרשרת הערך, ויאפשר לבחון טכנולוגיות חדשות, כמו גם לבחינת רגולציה עתידית לתחום. כדי לאפשר אזור נסיינות, העמק צריך להכיל את כלל המתקנים הנדרשים לייצור ושימוש במימן, ובכלל זה:

- א. שדה סולארי שישמש כמקור אנרגיה למימן ירוק.
- ב. אלקטרוליזר לייצור מימן מחשמל ירוק, ובכלל זה לאפשר הדגמה של אלקטרוליזרים חדשניים.
- ג. בחינת שיטות ייצור חדשות.
- ד. הקמת יחידת ייצור מימן כחול, ובכלל זה לאפשר הקמה של מתקני הדגמה שונים, לדוגמה לתפיסת פחמן.
- ה. הקמת מערכת לדחיסת מימן למכלים, ובכלל זה לאפשר בדיקה להדגמת מתקני אגירה.
- ו. בחינת אפשרות להקמת עמדת תדלוק משאיות במימן בהתאם לביקוש.
- ז. לאפשר בדיקה של תאי דלק לייצור חשמל מהמימן, ובכלל זה לאפשר מערכת ניהול של סטרטאפים שתנהל את הטעינה והפריקה של המימן, וכן תאפשר ניהול מיקרו-גריד באזור. בנוסף, יש לאפשר הזרמה של חשמל לרשת בתעריף.
- ח. הקצאת שטח לפיילוטים לשימוש מימן בתעשייה.
- ט. הקצאת שטח למתקנים לבחינת אפשרויות שונות של המימן כנשא אנרגיה (מתקני הנזלה, הפיכת המימן לאבקה ומתקני אחסון מותאמים).

2. עמק מימן יהווה מוקד ידע טכנולוגי-עסקי שיספק נתונים ומידע לצורך קבלת החלטות בהיבטים של תקינה, הסמכה, רגולציה וכלכליות. למשל, הקמת עמק מימן שמכיל תחנות דלק במימן, יאפשר לייצר רגולציה ותקינה להקמת תחנות הדלק, תוך התייחסות גם לשינוע המימן, אחסונו ופיקוח על האיכות שלו. זאת על סמך בדיקת והתאמת הרגולציה והתקינה הבינלאומיים לתנאי השטח בישראל. במובן זה, עמק מימן יכול לשמש כסביבה סטרילית ומבוקרת לצורך בדיקת תקינה בינלאומית והתאמתה לישראל, פיתוח רגולציה מתאימה וכיו"ב.

3. עמק מימן, בהיותו "כלכלת מימן מקומית", יאפשר שימוש מסחרי במימן ואבן בניין bottom-up בפיתוח של כלכלת מימן לאומית בישראל. ניתן להקים אותו באופן מודולרי בהתאם לאפשרויות, הצרכים (למשל הקמת עמק מימן שיכיל גם מיקרוגריד באזור מרוחק מהרשת) והמגמות העולמיות. בהמשך, ניתן להקים לחבר מספר עמקים יחד למאגד (cluster).

בשל גודלה של ישראל, ועל מנת לאפשר "מגרש משחקים" מגוון לקידום משק המימן, מוצע לקדם עמק מימן משולב הכולל בתוכו את כלל האלמנטים של עמק מימן תחבורתי, תעשייתי, ומחקרי. בהמשך ניתן לבחון אפשרות לקידום עמקי מימן נוספים, אשר יהיו פזורים בהתאם לצורך לאורך המדינה. באופן זה ניתן לאפשר את משק המימן בהיקף מצומצם, ואף לבסס את התשתיות וההבנה הרגולטורית למקרה ויחלט להרחיב את משק המימן.

כדי לאפשר את השימוש האזורי במימן, נדרשת העמקה באתגרים והחסמים הקיימים כיום להקמתם, תוך ליווי הפרויקטים ומציאת פתרונות במסגרת כללי המשחק הקיימים. בנושא זה, ראו הרחבה בפרק מדיניות ורגולציה.

צעד ראשון בקידום עמק המימן יציאה לבקשת מידע (RFI) Request for Information בינלאומי לטובת גיבוש אופי העמק, מרכיביו, למידה מעמיקה מניסיון בינלאומי ועוד.¹¹⁴ לאחר מכן יגובש מתווה מוצע לקידום העמק בישראל.

תשתיות

טווח קצר-בינוני

1. הובלת מימן: ניתן לסווג שתי דרכי הובלה מרכזיות, האחת בצנרת (הולכה וחלוקה), והשנייה באמצעות כלי תחבורה (משאיות/אוניות). לעלויות ההובלה יש תפקיד מפתח בבחירת דרך ההובלה העדיפה, כשקיימת תלות בפיתוחים טכנולוגיים (תרשים 4 - עלויות הובלה של מימן בצנרת ביחס להובלה במשאיות, לצד עלויות המרת מימן לנשאים ועלויות המרה חוזרת למימן). יחד עם זאת, יהיה נכון כבר היום לבחון היתכנות להובלת מימן הן בצנרת והן באמצעות כל תחבורה, ולכן יש לבצע:

א. בחינת הובלת מימן בצנרת גז טבעי:¹¹⁵ עריכת סקרי היתכנות לשימוש במימן (טהור ומהול) ברשת הגז הטבעי (קווי ההולכה והחלוקה), ולבחון את המשמעויות של הזרמת מימן בצנרת הקיימת (צורך בשדרוג הקווים ובהתאם השלכות טכנוניות, החלפת חלק ממרכיבי הצנרת, עלויות וכו').

ב. אימוץ תקינה בינלאומית לכלל תחומי ההובלה (צנרת, משאיות, אחסון, אניות ועוד).

2. מקור אנרגיה לייצור מימן: כאמור, מקורות האנרגיה הנדרשים לייצור מימן הם גז טבעי, או אנרגיה מתחדשת ומים, כאשר גז טבעי, מים, ושטח לייצור אנרגיה מתחדשת הם משאבים מוגבלים. כמו כן, שני סוגי המימן הרלוונטיים – ירוק וכחול – דורשים שימוש בתת הקרקע העמוק, לאחסון המימן לאגירה, או לאחסון הפד"ח. לצד אפשרויות הייצור, יש גם חלופה שלישית לפיה מדינת ישראל תייבא את המימן הדרוש למשק. הצעדים הנסקרים נוגעים לסוגית התשתית הפיסית, הרחבה נוספת מופיעה בפרק מדיניות ורגולציה:

א. שימוש בגז טבעי כמקור אנרגיה וחומר גלם להפקת מימן:

i. ביצוע סקר גיאולוגי לבדיקת היתכנות לשימוש בתת הקרקע העמוק לטובת הטמנת פד"ח ומיפוי אזורים אפשריים לשימוש.

ii. קידום אסדרה טכנונית בהתאם לצורך.

¹¹⁴ הערה שנוספה בעדכון העבודה: המשרד יצא בקול קורא לקבלת מידע (RFI) אודות עמק מימן

¹¹⁵ הערה שנוספה בעדכון העבודה: רשות הגז הטבעי, בשיתוף החברה הממשלתית נתג"ז (נתיבי גז טבעי לישראל) עורכת בחינה מעמיקה של השפעות תחום המימן המתפתח בישראל על תשתיות הגז הטבעי, ועתידה לפרסם דו"ח בנושא

ב. שימוש באנרגיות מתחדשות כמקור אנרגיה להפקת מימן: ביצוע סקר גיאולוגי לבדיקת היתכנות לשימוש בתת הקרקע לטובת אגירה עונתית ומיפוי אזורים אפשריים לשימוש; קידום אסדרה תכנונית בהתאם לצורך.

ג. ייבוא מימן: לטובת בחינה וקידום האפשרות לייבוא מימן, מומלץ לפעול בתחום הבינלאומי (ראו הרחבה בפרק קידום ושילוב ישראל במארג הבינלאומי של מימן). בנוסף, יש לקבוע את התקנים הנדרשים לדרכי ההובלה השונות (צנרת הולכה וחלוקה, אוניות ומשאיות).

3. שימושים: מומלץ לקדם מספר תחנות דלק ייעודיות למימן בהמשך להקמת התחנה הראשונה באזור יגור, ובפריסה גאוגרפית שתיתן מענה עבור תחבורה כבדה מבוססת מימן, אשר תשתלב בשנים הקרובות בישראל. בנוסף, מומלץ לקדם תשתיות אזוריות במסגרת עמקי מימן כמוזכר לעיל.

טווח ארוך

1. שימוש: השימוש המרכזי למימן בתרחיש זה הוא חשמל, לאחריו התעשייה ולבסוף סקטור התחבורה. פעולות מומלצות:

א. חשמל

- i. מיפוי אורך החיים של תחנות כוח קיימות.
- ii. בדיקת היתכנות וניתוח כלכלי להסבת תחנות כח קיימות (פחמיות וגזיות) לשימוש במימן טהור, ובהתאם לאורך החיים של כל תחנה.
- iii. בחינת שימוש באגירה רב עונתית שתנוע בין 2-10 BCM בשנה, בנוסף לצורך באחסון מימן.

ב. תעשייה

- i. בחינת הסבת מכונות בפועל לשימוש במימן.
- ii. אחסון מימן, בין היתר לטובת מלאי תפעולי.

ג. תחבורה

- i. כלי תעופה וספנות, תידרש היערכות בנמלים שתאפשר תדלוק ואחסון, לרבות למלאי תפעולי.
- ii. כלי תחבורה (אוטובוסים ומשאיות) יידרשו:

- a. הסבת מוסכים.
- b. פריסה ארצית של תחנות תדלוק.
- c. אזורי אחסון כמלאי ארצי, ובתחנות הדלק.

2. הובלה: לאור השימוש הנרחב במימן, תידרש היערכות להובלת המימן לשימושים השונים בדגש על צנרת להובלה:

- א. פריסת תשתיות הולכה וחלוקה (לאזורי הצריכה ובתוכם); באם לא תתאפשר הסבה של מערכת הגז הטבעי, תידרש הקמה של צנרת חדשה.
- ב. הקמת צנרת הובלה מאזורי אחסון ואגירה.
- ג. עבור מימן כחול, תידרש צנרת שמוליכה גז טבעי לאזור בו המימן מיוצר.

ד. תיתכן אפשרות להקמת צנרת להובלת פד"ח שנתפס ביצירת מימן כחול, מאזור התפיסה ועד לאזור ההטמנה.

3. מקור הייצור המימן: לאחר ביצוע סקרי ההיתכנות והבחינות שהומלצו בטווח הקצר, ניתן יהיה לקבוע יעדים למימן. בשלב זה ניתן יהיה לקבוע מה יהיו מקורות הייצור המרכזיים לטובת עמידה ביעדים באמצעות:

א. בחירת טכנולוגיות הייצור הרלוונטיות ואחוז השימוש בהן על בסיס היקף השימוש והמשמעות הנלוות להן, כגון שטח נדרש לאנרגיות מתחדשות, כמות המים שתידרש ועתודות גז טבעי.

ב. בחינת תשתיות לייבוא מימן הכוללות התייחסות לכמות ולאופן הייבוא (צנרת ו/או אוניות).

ג. מימן ירוק מצריך:

i. שטח לטובת מתקני אנרגיה מתחדשת עבור הפקת החשמל.

ii. מקור מים זמין או לחילופין הולכת מים בכמויות גדולות.

iii. מערך של אחסון, כמו גם אזורים מוגדרים לאגירה עונתית.

ד. מימן כחול מצריך:

i. חיבור לצנרת גז טבעי לטובת אספקת חומר הגלם, ומקור הייצור להפקת מימן.

ii. פריסה של מתקני תפיסה והולכת פד"ח והטמנתו.

חלק זה בעבודה מרכז צעדים לבחינות ועדכוני מדיניות נדרשים לאור ההיתכנות לשילוב מימן בישראל. חלק זה גם מבקש לגבש מתווה לרגולציה גמישה ומאפשרת, במידה המתאימה, למימן כחומר רלוונטי במשק האנרגיה.

טווח קצר-בינוני

מדיניות

1. הקמת פורום היוועצות בנושא מימן: הקמה וניהול של פורום היוועצות רב מגזרי, הכולל נציגים של יזמים בתחום המימן, משרדי ממשלה רלוונטיים, גורמים אזרחיים, אקדמיה, רשויות מקומיות וצרכנים פוטנציאליים. הפורום יאפשר הצפת מידע מהשטח על חסמים וצרכים, קבלת רעיונות למתן מענה, היוועצות בנוגע לפתרונות שנבחנים, הידוק התיאום ושיתוף הפעולה בין משרדי הממשלה ליתר השחקנים, ושקיפות בנוגע לצעדים המקודמים בתחום.
2. ליווי פרויקטים ופיילוטים קיימים במשק: ליווי פרויקטים קיימים, זיהוי חסמים ובעיות קיימות, ויצירת שיח יחד עם יזם אל מול הרגולטורים הרלוונטיים.
3. יצירת ידע מקומי להקמת תשתיות מימן: במסגרת זו מומלץ, מעבר להשקעה במשק והיזמות הפרטית, לעודד העמקה ויצירת ידע ויכולות נדרשות גם בחברות הממשלתיות הרלוונטיות.
4. הכשרה וטיפול כוח אדם שיעסוק בפיתוח משק המימן בישראל:¹¹⁶ נדרש פיתוח הכשרות יישומיות באקדמיה ובמוסדות מקצועיים, בכל הרמות, להכשרת כח אדם מיומן במשק האנרגיה. ההכשרות יכולות להיות מקומיות, וגם בחיבור לקהילות מימן בינלאומיות.

רגולציה

חלק זה בעבודה מבקש לגבש מתווה לרגולציה גמישה ומאפשרת, במידה המתאימה, למימן כחומר רלוונטי במשק האנרגיה. המתווה מחולק לשני חלקים - הראשון מכון לתת מענה לטווח הקצר-בינוני, והשני מכון לתת מענה לטווח הארוך.

נכון להיום, מדינות רבות בוחרות שלא לגבש בשלב זה רגולציה רוחבית למימן. לגישה זו יש שני נימוקים מרכזיים: ראשית, נכון לעכשיו עדיין לא ברור אם מימן ישתלב בצורה רחבה במשק האנרגיה העולמי. שנית, בשלב זה של ההתפתחות הטכנולוגית, לא נכון לקבוע סטנדרטים ארוכי טווח שכן הטכנולוגיה עדיין בחיתוליה. קביעת רגולציה נוקשה מדי בשלב מוקדם, עשויה להשפיע לרעה על התפתחות המשק, או להביא לרגולציה תלושה מצרכי יכולות המשק. מהסקירה הבינלאומית עולה, כי נכון להיום ברוב המדינות שנסקרו אין רגולציה ייעודית למימן, ומימן נכנס תחת רגולציה כללית בהגדרת מימן כגז בלחץ גבוה. חשוב לציין, כי ברוב המדינות הרגולטור הרלוונטי הוא הרגולטור של כלל משק האנרגיה.

¹¹⁶ הערה שנוספה בעדכון העבודה: בהתאם להערות הציבור שהועלו, נוסף צעד מדיניות זה. מטרת ההכשרות להוות את בסיס עתודת כח האדם, בעת מעבר לשימוש נרחב במימן, ולכן גיבוש הנושא נדרש בטווח הקצר-בינוני.

על כן, מוצע לבצע אך ורק תיקונים נקודתיים הנדרשים לאפשר את שילוב של המימן במשק האנרגיה כבר היום, ובמקביל, בהתאם להתפתחות משק המימן העולמי, לבחון את הצורך בגיבוש רגולציה ייעודית. התיקונים המוצעים כוללים:

1. קידום תיקוני חקיקה נדרשים להקמת מתקני מימן: לאחר בחינה של הרגולציה הקיימת במשרד, זוהו מספר מסגרות רגולטוריות אשר עשויות להיות רלוונטיות למתקני מימן. מוצע לבצע תיקונים נקודתיים בחקיקה החלה על משק הגז הטבעי ובחקיקה החלה על משק הדלק, כדי לאפשר את ההקמה של מתקנים ראשונים להזרמת מימן בצנרת מאתרי הייצור לאתרי הצריכה, וכדי לאפשר הקמה והפעלה של מתקני תדלוק רכבים במימן.
2. הגדרת מימן כמקור אנרגיה: יש למצוא את האכסניה הנכונה להגדרת מימן כמקור אנרגיה. ההגדרה תקל על שילוב האינטרסים המוזכרים לעיל לתוך הרגולציה הקיימת או החדשה, ותייצר "מגרש משחקים" בו ניתן לגבש רגולציה שמאזנת בין כלל האינטרסים המוזכרים, ולוודא שהיחס למימן הוא כמקור אנרגיה (שעשוי להיות חיוני) ולא רק חומר מסוכן.
3. גיבוש הגדרה מותאמת למימן בחוק חומרים מסוכנים: כיום ההתייחסות למימן כחומר מסוכן נמצאת, לכאורה, תחת הגדרה כללית בתוספת של חוק חומרים מסוכנים. הגדרה זו לא לוקחת בחשבון את השימוש במימן במשק האנרגיה, ובעצם כלל לא מתייחסת למימן ומאפייניו הספציפיים. מומלץ לקדם את תיקון ההגדרה, בין אם בחוק ובין אם בחוות דעת משותפת משרדים הרלוונטיים.¹¹⁷
4. קידום תקינה בטיחות מתקנים ותשתיות - קידום אימוץ תקינה בנושא: כדי להבטיח בטיחות במתקנים פיזיים, מומלץ לאמץ את התקינה הבינלאומית הקיימת בנוגע למתקני ותשתיות מימן. אימוץ התקינה יאפשר פעילות מהירה בתחום, וישמור על האחידות במתקנים טכניים ברמה הפנימית והבינלאומית, עובדה אשר תקל גם על העבודה במתקנים בעתיד.
5. קידום נסיינות - הגדרת שטחים פיזיים וקידום מסלול מואץ תכנוני לפרויקטים של נסיינות: כאמור, נסיינות בתחום המימן היא חיונית עבור המשק, ואף מאפשרת לרגולטורים להתרשם מההשפעות של הפעילות בשטח. לאור זאת, מוצע לבחון קידום חקיקה נדרשת למשרד האנרגיה והתשתיות ולמשרדים הרלוונטיים לטובת קידום שטחי נסיינות פיסיים לטובת משק האנרגיה, ולבחון לעומק קידום מסלול ייעודי תכנוני מואץ לנסיינות.
6. קידום נסיינות - יצירת מסלולים מאפשרים בתוך הרגולציה הקיימת: בהתאם לזיהוי הבעיות מהשטח, יש לפעול ליצירת מסלולים מאפשרים לקידום פיילוטים לשלבים שונים של שרשרת הערך כבר בשלב זה. צעד זה יאפשר למידה של השוק המתפתח, בין היתר לטובת גיבוש שלב ב של המתווה, אשר עוסק בפיתוח רגולציה לטווח הארוך יותר.

1. ייבוא: לאור ההנחה כי שימוש נרחב במימן יכלול גם ייבוא משמעותי לישראל, מומלץ:
 - א. לקבוע מדיניות ייבוא הכוללת התייחסות לכמות ואופן הייבוא לישראל.
 - ב. לעדכן את תפיסת בטחון האנרגיה ככל שיהיה שינוי מהותי במקורות האנרגיה - ייבוא לעומת ייצור מקומי. הייבוא יכול לתת מענה למקרה בו יש דרישה למימן במשק האנרגיה הישראלי, אולם ייבוא מימן ידרוש בחינה והיערכות מותאמת לשם שמירה על ביטחון האנרגיה והרציפות התפקודית, במידה והייבוא יופסק.
2. קביעת יעדים לשימושים השונים: קביעת היעדים לשימוש במימן תכוון את המשק, ותציף באופן שוטף את החסמים הקיימים לשימוש היעדים. קביעת היעדים תתבסס על עבודות ההכנה, למידה מהשטח מפורום היזמים וליווי נסיעות, ותתאפשר לאחר למידה. יעדי המימן יסווגו באופן הבא:
 - א. יעדים לשימוש במימן בתחבורה.
 - ב. יעדים לשימוש במימן לתעשייה.
 - ג. יעדים לסקטור החשמל.
 - ד. שקילת קביעת יעדים לסקטורים נוספים, בהם למימן יש תפקיד, ובהתאם להתפתחות הטכנולוגית (לדוגמה: דלקים סינתטיים).

רגולציה

כאמור, לטווח הארוך מומלץ לבחון גיבוש רגולציה ייעודית למימן. שילוב מימן במשק האנרגיה משפיע על מגוון אינטרסים ציבוריים, ורגולטורים שונים אמונים על האינטרסים השונים. גם בתוך המשרד, יחידות שונות צברו מומחיות וניסיון בהיבטים מגוונים למשק המימן האפשרי. כדי לייצר תשתית לרגולציה מותאמת ומאפשרת למימן, מופו בשלב הראשון אינטרסים ציבוריים מוגנים אשר יש לתת עליהם את הדעת בזמן שהמשק מתגבש ופועל. נציין אותם בקצרה וללא סדר עדיפויות:



בטווח הארוך, צרכי המשק עשויים להכתיב תשתיות אחרות ממה שמשתלם לשחקן פרטי להקים בטווח הקצר. הרגולציה צריכה לקחת בחשבון את התמונה הרחבה והעתיידית, כדי להבטיח שהתשתית המוקמת היא רלוונטית.

כאמור, בסקירה הבינלאומית נמצא כי אחד הנושאים המשמעותיים באסטרטגיות המימן בעולם הוא שיתופי פעולה בינלאומיים, וזאת עבור שיתוף ידע, אך גם ובעיקר עבור מסחר במימן בין מדינות בעלות יכולת ייצור גבוהה למדינות עם ביקוש גבוה למימן.¹¹⁸ הרבה מאסטרטגיות אלו הובילו להסכמים ושיתופי פעולה בפועל, דוגמת הסכמים לייצור מימן במצרים והעברתו לגרמניה,¹¹⁹ או בין מדינות ייבוא כמו פורטוגל והולנד, שחתמו על הסכם לשיתוף פעולה בייבוא מימן לאירופה.¹²⁰ שיתופי פעולה בינלאומיים בין מדינות ייצוא לייבוא, יקדמו פיתוח טכנולוגיות והוזלת עלויות בשרשרת הערך של המימן, יצרו קשרי מסחר חדשים ויגונו את מקורות האנרגיה הזמינים.

בנוסף, הארגון Hydrogen Europe שפועל בין היתר כהתאחדות תעשיינים באיחוד האירופי, שם לעצמו מטרה לקדם את משק המימן של האיחוד האירופי. במסמכים הרשמיים,¹²¹ הסוקרים דרכים לייבוא מימן אל האיחוד האירופי, פורסמה תחזית לפיה החל משנת 2030 נדרש יהיה לייבא למעלה מ-10 מיליון טון מימן בשנה, מתוך כך בין 4-6 מיליון טון מימן ייבוא ממדינות צפון אפריקה, מדינות המפרץ דרך אגן הים התיכון.¹²² אחת האפשרויות המתוארות במסמך לקידום יבוא המימן, הוא בעזרת צינור ה-EastMed שיוכל לשמש לייבוא מימן ממדינות ערב.¹²³ יודגש כי הארגון מצביע על מספר אפשרויות יבוא שונות. מכאן ניתן להניח שככל שתהיה תשתית מוכנה לנושא, יש סבירות לקידום פרויקטים משמעותיים בנושא מימן.

כאמור, מתרחשי הקצה במודל מינימום-מקסימום, עולה כי שימוש במימן במשק האנרגיה הישראלי יצריך ייבוא. לצד זאת, מדינות אירופה כבר היום מכירות בכך שיצטרפו לייבא מימן בעתיד, ותכניותיהן מראות על ייבוא מאסיבי ממדינות צפון אפריקה ומדינות ערב והמפרץ, דרך אגן הים התיכון. מיקומה האסטרטגי-גאוגרפי של ישראל מאפשר לה להציב את עצמה כגשר בינלאומי במשק המימן, ובכך להיות נקודת קישור מרכזית בין המדינות המייצאות מימן לבין אירופה. ראוי להדגיש את החשיבות לקידום תשתית בינלאומית שתחזק מצד אחד את מעמדה הבינלאומי של ישראל, ומצד שני תאפשר לייבא מימן לשימוש מקומי. על כן, מומלץ לפעול בתחום הבינלאומי באופן הבא בטווח הקצר-בינוני:

1. קידום מזכר הבנות (MOU) לשיתוף פעולה עם מדינות אירופה לסחר במימן ירוק וקידום מו"פ משותף (בדומה לשיתוף הפעולה הקיים בין המשרד הישראלי והגרמני).
2. קידום שיתופי פעולה עם מדינות שכנות בתחום המימן, הן בפן הייצור של מימן מבוסס אנרגיה סולארית, והן בפן ההולכה של מימן לישראל וממנה לאירופה (דוגמת שיתוף פעולה המתהווה עם משרד החשמל המצרי בנושא אנרגיות מתחדשות ומימן).
3. ליווי פרויקט EastMed: פרויקט זה צפוי לאפשר בשלב ראשון ייצוא גז טבעי ממדינות מזרח אגן הים התיכון לאירופה, ומתוכנן כך שבהמשך יוכל להוות תשתית להולכת מימן.

¹¹⁸ [Global Hydrogen Review 2021](#), IEA, November 2021, p.22; 06.06.2022

¹¹⁹ [Germany and Egypt strengthen partnership on green hydrogen and LNG](#), BMWK, November 2022

¹²⁰ [Portugal and the Netherlands strengthen bilateral cooperation on green hydrogen](#), Government of the Netherlands, September 2020

¹²¹ [Hydrogen Europe](#)

¹²² [How to deliver on the EU Hydrogen Accelerator](#), May 2022, p.14, table 3, 29.06.2022

¹²³ [How to deliver on the EU Hydrogen Accelerator](#), May 2022, p.15, 29.06.2022

4. במסגרת קידום שיתופי הפעולה, לקדם ניתוח טכנו-כלכלי אודות דרכי ההובלה הכדאיות של מימן בהיבטים של: שימוש והסבה של תשתיות קיימות, הקמת תשתיות חדשות, עלות ההובלה באוניות (כולל בהיבטים של צמצום פליטות) והובלת המימן מהנמלים לצרכנים.

למימן יש פוטנציאל לשמש כדלק לתחבורה, בתעשייה הכבדה, להפעלת תחנות כוח, ואף לספק אגירה לטווח ארוך, אשר מהווה בטוחה נדרשת לאנרגיה מתחדשת בהיקף שימוש נרחב. ככל שהמימן הוא ירוק או כחול, השימוש בו מאפשר הפחתת פליטות משמעותיות. עם זאת, נכון להיום עלות הייצור וההובלה של מימן, יחד עם הנצילות הנמוכה - מעלות סימן שאלה מהותי לגבי יעילותו. עוד נראה כי שרשרת הערך, ובכלל זה, הייצור ההובלה והשימושים, מחייבים הן במימן הכחול והן במימן הירוק התאמה בתשתיות וברגולציה, שטח והקמה נרחבת של תשתיות.

בהתאם לסקירה המשווה בעולם, ובראשן מדינות אירופה וארה"ב,¹²⁴ השימוש במימן כנשא אנרגיה נבחן כחלק ממנעד הטכנולוגיות להפחתת פליטות. רוב המדינות הציבו לעצמן יעדים להפחתת פליטות בתהליך הייצור באמצעות הגדלת השימוש במימן ירוק כבר בשנת 2030, ופועלות לקידום הסכמים בינלאומיים בנושא. מדינות רבות משקיעות תקציבים משמעותיים בפיתוח מימן, ומקדמות עמקי מימן. עם זאת, רוב המדינות גם הגדירו מספר **תנאים הכרחיים, שבניהם הוזלה משמעותית בעלויות, נצילות, יעילות והתפתחות טכנולוגית משמעותית, בעיקר בפיתוחים טכנולוגיים לייצור מימן, אגירה ואחסון, לפני מעבר לשימוש משמעותי במימן.**

נכון להיום, קיים חוסר ודאות בכל הנוגע לשימוש במימן באופן מקומי או נרחב. שילוב המימן במשק האנרגיה צפוי להיות הדרגתי, ויתחיל קודם בתחבורה ובתעשייה הכבדה, ובשלב מאוחר יותר יתכן ויתרחב למשק החשמל. עוד יצוין, כי מספר מדינות רואות בשנת 2030 כשנה משמעותית לשאלת הבשלת טכנולוגיית המימן.

ככל שמימן ישתלב במשקי האנרגיה בעולם בצורה רחבה, הוא יהיה רלוונטי גם בישראל, בפרט לשימושי התחבורה, התעשייה והחשמל, ובשימוש מצומצם יותר בהשוואה למדינות הנסקרות.

בישראל קיימים מקורות אנרגיה לייצור מימן ירוק (שמש ומים) וכחול (גז טבע עם תפיסת פחמן). נצילות ייצור המימן היא נמוכה, ואיבודי האנרגיה גבוהים מאוד לאורך שרשרת הערך, ולכן בשנים הקרובות שימוש ישיר במקורות מתחדשים יהיה יעיל יותר מייצור מימן. שטחה המוגבל של מדינת ישראל משפיע באופן ישיר על שרשרת הערך של המימן, וסוגית התשתיות הנדרשות לטובת השימוש במימן, תוך התאמה והסבת רשת ההולכה והחלוקה הקיימת של גז טבעי, דורשות בחינה ודין.

בתוך כל אלו, יש מקום לחזור ולציין שמיקומה האסטרטגי-גאוגרפי של ישראל מאפשר לה להציב את עצמה כגשר בינלאומי במשק המימן, ובכך להיות נקודת קישור מרכזית בין המדינות המייצאות מימן לאירופה, כאשר ישראל נתפסת בעולם כאומת החדשנות, משום ההון האנושי שלה, כך ששילוב ההון האנושי עם מאפייניה ייחודיים מאפשרים לה להיות "מעבדת חדשנות".

כזכור, לאור חוסר הוודאות הקיים בעולם ביחס לשילוב מימן, ובפרט ביחס לישראל במאפייניה הייחודיים (משאבי קרקע מוגבלים, תעשייה ותחבורה כבדה מצומצמת), משמעות השילוב של מימן במשק הישראלי, נבחן בעזרת מודל ביקושים בשני תרחישי קצה, תוך מיפוי ההשלכות על המשק.

¹²⁴ ארה"ב נוספה לסקירה המשווה בעדכון העבודה, מתוך הערות הציבור שהועלו במסגרת פרסום טיוטת העבודה ובכנס שיתוף בעלי עניין שהתקיים ביוני

מתוך המודל עלה, כי **כבר בתרחיש המינימום מימן יהווה חלק בתמהיל האנרגיה העתידי בישראל**. על מנת להיערך לתרחיש זה, יש להיערך כבר היום לשימוש במימן בתחבורה ובתעשייה הכבדה. בתחבורה הכבדה, ניתן להניח שימוש מינימאלי במשאיות. בסקטור התעופה והספנות, היקף השימוש יקבע בעיקר על ידי המגמה העולמית, ולכן ככל שמימן יהווה חלופה עולמית, ישראל תתאים את עצמה למגמות אלה. עבור התעשייה, המימן יהווה מקור אנרגיה משמעותי. סיבות נוספות אשר תומכות בהערכות, הן הפוטנציאל הרחב שיש לישראל לקחת תפקיד מוביל בתחום החדשנות, בייחוד לטכנולוגיות שנמצאות בשלבי הבשלה ופיתוח כגון טכנולוגיית מימן. בנוסף, מתוך הסקירה הבינלאומית עולה, כי כל המדינות שנסקרו משקיעות בפיתוח מימן ואף פועלות לקידום מזכר הבנות (MOU) עם מדינות שונות לייבוא מימן. בשל מיקומה האסטרטגי של ישראל, היא נדרשת להיערך כבר היום כדי לקחת חלק מרכזי להוות גשר בין מדינות מייצאות לאירופה שנדרשת לייבוא. עובדה זו מחזקת את החשיבות בהשקעה בפיתוח מקומי של טכנולוגיית המימן ותשתיות נדרשות.

לאור זאת, מומלץ:

1. להיערך לשילוב מימן כבר היום במשק האנרגיה הישראלי.
2. ביחס למשק המקומי, מאפייניה הייחודיים של ישראל ותוצאות המודל, ובשילוב הבשלות הטכנולוגיות של מימן, ההערכות מצביעות על שימוש מצומצם במימן בישראל בשלב זה, והתמקדות ביצירת תשתיות מקומיות - עמקי מימן.
3. לצד זאת, יש לבחון ולהיערך לאפשרות להשתלבות של ישראל במארג הבינלאומי של תשתיות מימן.
4. להתנות את המעבר להערכות רחבה במספר תנאים הכרחיים: שימוש עולמי נרחב מימן, התפתחות טכנולוגיות, עלות, התכנות שינוע בתשתיות קיימות, יכולת אגירת מימן ואחסון פד"ח בתת הקרקע העמוק.
5. לאמץ מפת דרכים הדרגתית אשר תבחן בכל שנה, בין היתר בהתאם לתנאים המתלים.
6. להתמקד בחמישה תחומים מרכזיים במפת הדרכים: תשתיות, מחקר ופיתוח, הקמת עמק מימן, מדיניות ורגולציה, ושיתוף פעולה בין לאומי.

נציין כי לאור אופי משק האנרגיה הישראלי וההתפתחויות הטכנולוגיות המהירות, מוצע כי בכל שנה יתבצע עדכון של העבודה, ותעשה בחינה אל מול התנאים ההכרחיים אודות הצורך להיערך לתרחיש המקסימום.

	Colour of hydrogen	Feedstock	Production technology	Direct GHG emissions ^a kg CO ₂ e/kg H ₂	Indirect GHG emissions ^b kg CO ₂ e/kg H ₂
Produced using electricity	Green	Renewable electricity, water and/or steam by thermolysis	Electrolysis	-	>0 ^c
	Yellow	Grid electricity, water		-	<1 - 30 <i>Depends on the carbon intensity of the grid mix</i>
	Pink	Nuclear electricity, water		-	>0 ^c
Produced using fossil fuels	Grey	Natural gas	Methane reforming	9 - 11	0.5 - 4
	Brown	Lignite	Gasification	18 - 20	1 - 7
	Black	Black coal	Gasification	18 - 20	1 - 7
	Blue	Natural gas or coal	Methane reforming with CCS Gasification with CCS	0.5 - 4	0.5 - 7
	Turquoise	Natural gas	Pyrolysis	Solid carbon (by-product)	0.5 - 5
	Green	Biogas or biomass	Reforming with or without CCS Gasification with or without CCS	Possibility of negative emissions with CCS	1 - 3
Other	Red	Nuclear heat, water	Thermolysis	-	>0 ^c
	Purple	Nuclear electricity and heat, water	Thermolysis and electrolysis	-	>0 ^c
	Orange	Solar irradiance, water	Photolysis	-	>0 ^c
	Green	Waste wood, plastic, municipal solid waste	Thermochemical	Possibility of negative emissions with CCS	Not assessed as variabilities in the value chains are too great to accurately represent the GHG equivalent emissions

טבלה 6 - מקורות מימן וטכנולוגיות ייצור

¹²⁵ [Hydrogen Forecast to 2050](#), DNV, June 2022; 29.06.2022, p.49

מצב קיים	מניע עיקרי למעבר למימן	כיוונים אסטרטגיים	יעדים לשנת 2030	תנאים הכרחיים למעבר למימן
- צריכה של 1.6 מיליון טון מימן בשנה - ייצור מקומי – 93% מימן אפור ו-7% אלקטרוליזה (חשמל רשת)	איפוס פליטות בתעשייה הכבדה	- הנעת השוק תבוצע באמצעות יצירת ביקושים, כשהתעשייה תהיה ראש החץ להנעה - היצע המימן הגרמני יתבסס אך ורק על מימן ירוק	- צריכה של 3.25-4 מיליון טון מימן בשנה - הספק מותקן של 5GW אלקטרוליזה - שאר הצריכה תתבסס על מימן דל פחמן מיובא	- הוזלת מחירים של טכנולוגיות מימן - הבשלת טכנולוגיות לשימוש נרחב - התפתחות מקורות הייבוא של מימן

גרמניה הינה מדינה פדרלית שחולשת על 349,380 קמ"ר, מונה 83,160,871 תושבים, עם קצב גדילת אוכלוסייה של 0.1%¹²⁶. תמהיל האנרגיה בגרמניה, מתבסס בשנת 2021 בעיקר על נפט (כ-31%), גז טבעי (כ-26%) ופחם (כ-19%). שאר האנרגיה מקורה באנרגיות מתחדשות (כ-17%, בעיקר ביומסה ורוח), אנרגיה גרעינית (כ-6%) ומעט אנרגיה מיובאת (כ-1%)¹²⁷. מניתוח של מסמכי המדיניות השונים בתחום המימן, עולה שהמניע העיקרי של גרמניה להשקעה במימן הוא איפוס פליטות הפד"ח בסקטור התעשייה הכבדה.

כחלק מהניסיון להפחית את פליטות גזי החממה עד שנת 2050, ביוני 2020 פרסמה גרמניה אסטרטגיית מימן לאומית שמטרתה להציב את גרמניה כגורם מוביל של שוק המימן העולמי, הפיכת מחיר המימן לתחרותי, פיתוח שוק מקומי לטכנולוגיות של מימן בשרשרת הערך (ייצור, הובלה, והשימושים השונים, בדגש על התעשייה), תוך תמיכה מאסיבית במחקר ויצירת שיתופי פעולה בינלאומיים¹²⁸.

בנוסף, האסטרטגיה קובעת הקמה של שורת גופים ממשלתיים לקידום מימן, שהמרכזיים בניהם הוא ועדת מנכ"לים בין-משרדית שתעקוב אחר יישום התכנית האסטרטגית, וכן מוטלת על ממשלת גרמניה האחריות להקים מועצת מימן לאומית. המועצה תורכב מ-25 חברים מהמגזר העסקי, האקדמיה והחברה האזרחית, ועבודתה תתמוך בוועדת המנכ"לים הבין-משרדית. בנוסף נקבע, כי הממשלה אחראית על פרסום דוח התקדמות שנתי, כאשר אחת לשלוש שנים, ייכתב דוח מעמיק שיעריך את האסטרטגיה ואת תכנית הפעולה במלואה, ויציע שיפורים להבטחת התאמה קבועה להתפתחויות בשוק ולהשגת היעדים. הדוח ייכתב על-ידי גוף ממשלתי שאחראי על תיאום בין-משרדי ובשיתוף המועצה. כמו כן, תוקם קבוצת עבודה שתעסוק בשיתוף פעולה בין הרמה הפדרלית למדינות גרמניה¹²⁹.

במסמך אסטרטגיית המימן, גרמניה מציבה כתנאי להתקדמות משק המימן את התפתחות טכנולוגיות המימן לרמה מסחרית ותעשייתית עד שנת 2030, הוזלה משמעותית במחירים והתפתחות המסחר הבינלאומי ומקורות מימן דרך

ייבוא.¹³⁰

¹²⁶ [The World Bank – Germany](#), 15.06.2022

¹²⁷ [IEA Germany](#)

¹²⁸ [The National Hydrogen Strategy of Germany](#), The Federal Government, June 2020 p.5-8; 15.06.2022

¹²⁹ [The National Hydrogen Strategy of Germany](#), The Federal Government, June 2020 p.14-15; 15.06.2022

¹³⁰ [The National Hydrogen Strategy of Germany](#), The Federal Government, June 2020, p.5; 15.06.2022

ייצור: ייצור המימן המקומי מסתכם כיום ב-1.6 מיליון טון לשנה. 93% מהמימן המיוצר במדינה הינו מימן אפור, ו-7% הינו מימן ירוק. גרמניה צופה לדרישה של 90-110TWh מימן ב-2030. היא מתכננת להגשים יעד זה בעזרת יכולת ייצור מימן ירוק של 5GW עד שנת היעד, אשר תיתן מענה לכשביעית מהכמות נדרשת, לצד ייבוא משמעותי של מימן ממדינות שכנות. בנוסף, כדי להאיץ את תהליכי הייצור הממשלה בוחנת את האפשרות להסרת המסים וההיטלים מהאנרגיה המשמשת לייצור מימן ירוק.¹³¹

אגירה: למרות שבמסמך האסטרטגיה הגרמני מוזכר הפוטנציאל של שימוש במימן לאגירת אנרגיה, אין התייחסות לאגירת מימן מעבר לכך ואין יעדים.

הובלה: גרמניה שואפת להתבסס על שדרוג של תשתית הגז הטבעי הקיימת, הרחבת תשתיות מימן ייעודיות או בניית תשתיות חדשות לטובת הקמה של רשת הפצה נרחבת. בהתאם, ביוני 2021 עברה בפרלמנט תקנת מעבר לרשתות הובלת מימן המאפשרת פיתוח הדרגתי של תשתית מימן לאומית, ומתמקדת בהרחבת תשתיות מימן קיימות, המרת צינורות גז טבעי למימן, ובתנאים הנדרשים לאישור הקמת תשתית מימן חדשה.¹³² בנוסף, חוק תעשיית האנרגיה הגרמני מאפשר להזריק ולמהול מימן ירוק ברשתות הגז הטבעי.¹³³

שימושים: לגרמניה תעשייה כבדה נרחבת ביחס למדינות העולם, ומרובת פליטות, היא צורכת כ-43% מסך צריכת האנרגיה במדינה.¹³⁴ מכיוון שבסקטור זה לא ניתן לאפס פליטות בטכנולוגיות הקיימות, וכבר כיום חלקו משתמש במימן, הרחבת השימוש במימן דל פחמן היא אחד מהאפיקים העיקריים לאיפוס פחמני עד 2050. הערכות שמרניות מניחות ביקוש נוסף של 10TWh מימן בתעשייה כבר בשנת 2030. סקטור התחבורה גם הוא עתיד למלא תפקיד חשוב בכלכלת המימן הגרמנית. בטווח הרחוק צפוי שימוש בדלקים מבוססי מימן לספינות ומטוסים. בתחבורה ציבורית או תחבורה כבדה, מימן צפוי להשלים את האיפוס הפחמני לצד הרכבים החשמליים. כדי לספק את הדרישה למימן בשימוש ברכבים כבדים, מתוכנן להרחיב את תשתית התדלוק ב-15 תחנות בשנה, לצד 90 תחנות התדלוק הקיימות כבר כיום (המימן בתחנות התדלוק הקיימות הוא אפור ברובו).¹³⁵ שימוש במימן לרכבים פרטיים הוצע כרעיון, אך הודגש שעבור כך תידרש תשתית תדלוק נרחבת יותר.

מדיניות ורגולציה: השימוש במימן מוסדר תחת הרגולציה הקיימת לגז וחשמל. הרגולטור לנושא המימן - סוכנות הרשת הפדרלית (BNetzA) - הגוף הרגולטורי לשווקי החשמל, הגז, הטלקומוניקציה, הדואר והרכבת.

מז"פ: תחת תוכנית החדשנות הלאומית לטכנולוגיות מימן ותאי דלק, הממשל הפדרלי של גרמניה מימן 700 מיליון אירו בין 2006-2016, כשבין 2016-2026 מתוכננת השקעה של 1.4 מיליארד אירו נוספים. כ-1 מיליארד אירו נוספים מושקעים בין 2020-2023 במחקר וגיבוש רגולציה (Sandbox), וכחלק מהניסיון לתת מענה למשבר האקלים, המועצה הקואליציונית נתנה אישור להשקיע עוד 7 מיליארד אירו לפיתוח משק המימן.¹³⁶

¹³¹ [The National Hydrogen Strategy of Germany](#), The Federal Government, June 2020 p.17; 15.06.2022

¹³² [Act on the implementation of EU law requirements and on the regulation of pure hydrogen networks in energy industry law](#), Draft law of the Federal Government, July 2021; 15.06.2022

¹³³ [Possible regulation of hydrogen networks](#), European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER), January 2021, p.14; 15.06.2022

¹³⁴ [Germany's energy consumption and power mix in charts](#), Clean Energy Wire, 15.06.2022

¹³⁵ [NOW GmbH](#); 15.06.2022

¹³⁶ [The National Hydrogen Strategy of Germany](#), The Federal Government, June 2020, p.3; 15.06.2022

מצב קיים	מניע עיקרי למעבר למימן	כיוונים אסטרטגיים	יעדים לשנת 2030	תנאים הכרחיים למעבר למימן
- צריכה של 810,000 ק"ג בשנה בתעשייה - כל היצור מקומי ממימן אפור	גשר לייבוא מימן לאירופה בהתבסס על תשתיות הגז הטבעי	- השמשות צנרת הובלת הגז שתתפרס כטבעת המקיפה את המדינה - היצע המימן יתבסס על 75% מימן ירוק ו-25% מימן כחול	- ייצור של 500,000 טון מימן בשנה - הספק מותקן של 3-4 GW 300,000 רכבי תא דלק	הוזלה משמעותית בייצור של מימן דל-פחמן

הולנד היא מדינה יחסית קטנה, שיטחה הוא 33,670 קמ"ר, בה מתגוררים 17,441,500 תושבים עם קצב גידול אוכלוסייה של 0.6%¹³⁷. נכון לשנת 2018, מקור האנרגיה המרכזי במדינה מתבסס על גז טבעי (כ-43%), נפט (כ-36%) ואנרגיות מתחדשות (כ-12%), כאשר שאר האנרגיה מיוצרת מפחם (כ-8%) ואנרגיה גרעינית (כ-1%)¹³⁸. בשנים האחרונות, עקב רעשי אדמה שהתרחשו במדינה כתוצאה משאיבות משדה הגז שבאזור גרונינגן, הוחלט על הפסקת שאיבה של גז טבעי באזור זה, שהינו מאגר עיקרי במדינה. לכן, היום כדי לספק אנרגיה לתושביה, הולנד בעיקר מייבאת גז טבעי¹³⁹. מניתוח של מסמכי המדיניות השונים בתחום המימן, עולה שהמניעים העיקריים של הולנד להשקעה במימן הם מציאת תחליף לגז הטבעי, והרצון לשמר את תשתיות הגז הקיימות ולהישען עליהן כצנרת ייבוא מימן לצפון אירופה.

הולנד שואפת להפוך למרכז מימן אירופאי בשל מיקומה הגאוגרפי, המאפשר ייבוא ושינוע קל בזכות הנמלים הגדולים, רשתות גז וחשמל גדולות ומפותחות במדינה, יכולת אחסון הגז והביקוש הגדול למימן מצד התעשייה. במרץ 2020 גיבשה הולנד אסטרטגית מימן, בה הועלו מספר צעדים אסטרטגיים הנוגעים למימן: שדות גז ריקים בים הצפוני המתאימים להטמנת פד"ח, מתקני רוח ימיים שיכולים בטווח הארוך להוות מקור אנרגיה לייצור מימן ירוק; וגם תשתית נרחבת של גז טבעי שייתכן ויכולה לשמש להובלת מימן. בנוסף, בצד השימושים, להולנד יש תעשיות גדולות, בניהן בתי הזיקוק Shell, Tata ו-Yara, אשר הביעו רצון להגדיל את השימוש במימן כחלק ממאמצי איפוס הפליטות שלהן¹⁴⁰.

ייצור: כבר היום הולנד הינה יצרנית המימן השנייה בגודלה באירופה, ומייצרת 810,000 ק"ג מימן בשנה. מקור האנרגיה לייצור הוא 10% מאספקת הגז הטבעי של הולנד (מימן אפור). בתכנית האסטרטגית שפרסמה, הולנד שמה לה יעד עד שנת 2030 של 500,000 טון מימן, כאשר 75% יתבסס על מימן ירוק ו-25% על מימן כחול¹⁴¹. הולנד מדגישה כי משק המימן יהיה אפשרי רק בתנאי שמחירי הייצור של מימן דל פחמן ירדו, כשהיא צופה שמימן ירוק יהפוך להיות משתלם רק אחרי 2030¹⁴².

אגירה: להולנד מערות מלח גדולות בהן השתמשו לאגור גז טבעי, לצד מאגרי גז טבעי ריקים, אשר מסוגלים להכיל הרבה מעל כמות המימן שתיועד לאגירה. האפשרות לאגירה היא קריטית ביחס לצפי ייצור אנרגיה של 11GW אנרגית רוח ב-2030¹⁴³.

¹³⁷ [The World Bank - Netherlands](#); 30.06.2022

¹³⁸ [IEA Netherlands](#)

¹³⁹ [The Netherlands 2020 Energy Policy Review](#), IEA, 2020, p.20

¹⁴⁰ [Government Strategy on Hydrogen](#) – Government of Netherlands, April 2020; 07.06.2022

¹⁴¹ [The Northern Netherlands Hydrogen Investment Plan 2020](#) – Expanding the Northern Netherlands Hydrogen Valley, 07.06.2022.

¹⁴² [Government Strategy on Hydrogen](#) – Government of Netherlands, April 2020, p.5; 07.06.2022

¹⁴³ [NL Dutch solutions for a hydrogen economy](#); p.8 07.06.2022

הובלה: כחלק מהשאיפה להוות שחקן מרכזי לייבוא מימן לצפון אירופה, הולנד שמה דגש על דרכי ההובלה למרחקים ארוכים, ובפרט על צנרת ההובלה. הנתיב המרכזי להובלת מימן מפותח כבר היום בהולנד, וצפוי בשנת 2030 להתפרס לאורך 1,400 ק"מ, כטבעת המקיפה את המדינה. השאיפה היא שהרשת תתבסס ב-85% על צנרת גז טבעי מותאמת ותקשר מאגרי מימן, נמלים, מרחבים תעשייתיים של מימן ומדינות שכנות. בנוסף, הולנד בודקת את האפשרות לערבב מימן ירוק בצנרות הגז הטבעי, כאשר כבר כיום קיימת האפשרות להכניס 2% מימן, עם צפי להגיע ל-10-20% בהדרגה.¹⁴⁴

שימושים: כבר היום הולנד מעודדת ייצור חשמל מקומי המשולב עם ייצור מימן, אגירה ושימוש בהפיכת טורבינות חשמל המופעלות בגז לטורבינות המופעלות במימן. בתעשייה, העברת נמלי ים ועמקים תעשייתיים לשימוש במימן (Hydrogen Hubs) נצפית כיעד הכרחי להשגת איפוס פליטות בהולנד. עבור כך, הולנד בעיקר משקיעה בקידום פיילוטים. בתחבורה הוצב יעד של 3,000 רכבים מבוססי מימן כבסיס לקראת 2030 ו-2050, והוצב יעד כולל לסקטור התחבורה של 300,000 רכבים מבוססי תאי דלק לשנת 2030. כחלק מהצפי להפסיק שימוש בגז טבעי, הולנד ממשיכה לבחון מימן כפתרון לחימום בתים בר קיימא.¹⁴⁵

רגולציה: הרגולציה ההולנדית מושתתת על ארבעה גורמים: הערכות סיכונים, דרישות בריאות ובטיחות, התחייבויות סביבתיות משולבות והליכי הערכת השפעה על הסביבה. הרגולציה על מימן מנוהלת על ידי גופים שונים - משרד הכלכלה ומדיניות האקלים אחראי על הסדרת צנרת חדשה, ובפועל ניהל את הרגולציה לגבי שימוש במימן בתשתית של גז טבעי. במקביל, משרד התשתיות והסביבה אחראי על אישור כלי רכב להובלת מימן, והרשות ההולנדית לצרכנים ושווקים אחראית על הסדרת רשת הגז הטבעי שעליה תתבסס רשת הולכת המימן. ניטור והסדרת קרקעות נמצאים בידי הרשויות המקומיות. לא קיימת חקיקה ייעודית למימן, כלומר החוקים הקיימים עבור רגולציה של גז חלים על מגזרי האנרגיה, התחבורה והחימום בהקשר של מימן.¹⁴⁶

מז"פ: עד שנת 2030 יושקעו 35 מיליון אירו בשנה לטובת האצת קיבולת הייצור של מימן ירוק. עד 15 מיליון אירו נוספים מיועדים לכל מחקר או פיילוט ליישום טכנולוגיות תפיסת פחמן (US400C); ו-35 מיליון אירו נוספים מיועדים לפיילוטים ופרויקטי הדגמה להפחתה יעילה בפליטות בתעשייה.¹⁴⁷

¹⁴⁴ [Government Strategy on Hydrogen](#) – Government of Netherlands, April 2020, p.9; 07.06.2022

¹⁴⁵ [NL Dutch solutions for a hydrogen economy](#); p.8 07.06.2022

¹⁴⁶ רגולציית מימן בתחבורה, ארד-אופיר בע"מ, 2022; מסמך פנימי משרד האנרגיה

¹⁴⁷ [STRATEGY FOR HYDROGEN ENERGY IN THE NETHERLANDS](#) – Clifford Chance, March 2021

מצב קיים	מניע עיקרי למעבר למימן	כיוונים אסטרטגיים	יעדים לשנת 2030	תנאים הכרחיים למעבר למימן
154 תחנות תדלוק - המתקן הגדול בעולם לייצור מימן נקי בהספק של 10MW	הרחבת מקורות האנרגיה וחיזוק הביטחון האנרגטי	ייבוא מאסיבי של מימן מאוסטרליה וערב הסעודית	- ייבוא של 300,000 טון מימן 900 תחנות תדלוק במימן; 800,000 רכבים; ו-1,200 אוטובוסים מונעי מימן	- יירדת מחירי הייצור והיבוא של מימן - התפתחות טכנולוגית שתאפשר הובלה ואגירת מימן ביעילות גבוהה

יפן משתרעת על פני שטח של 364,500 קמ"ר, מונה 125.84 מיליון תושבים, ולה קצב גידול אוכלוסייה שלילי של -0.3%. כאי אנרגטי בעל מקורות פוסיליים דלים, 87.9% מאספקת האנרגיה שלה מיובאת.¹⁴⁹ מאז רעידת האדמה בשנת 2011, והדליפה הרדיו-אקטיבית שגרמה להפסקת פעולתו של הכור הגרעיני בפוקושימה, ירד כושר ייצור האנרגיה הגרעינית המקומי של יפן באופן דרסטי, ומקורות האנרגיה שלה כיום הם נפט (כ-39%), פחם (כ-26%), גז טבעי (כ-22%), מתחדשות (כ-8%) ואנרגיה גרעינית (כ-5%).¹⁵⁰ ממשלת יפן התחייבה בהסכם פריז להפחתה כוללת של פליטת גזי חממה ב-26% עד שנת 2030, ו-80% עד שנת 2050. מניתוח של מסמכי המדיניות השונים בתחום המימן עולה שיפן שואפת להרחבת מקורות האנרגיה והביטחון האנרגטי שלה, כשהמדיניות הרשמית ביפן הינה קידום של משק אנרגיה המבוסס על כלכלה מימנית, בעיקר על בסיס מימן מיובא. בהתאם, יפן היא אחת המדינות המתקדמות ביותר בפיתוח פרויקטי מימן, ובעלת מדיניות ממשלתית ייעודית התומכת בשימוש במימן, יחד עם הסכמה ציבורית לשילוב פרויקטי מימן בתמהיל האנרגיה המקומית.

יפן מתנה את ההתקדמות של משק המימן בירידת מחירי הייצור של מימן דל-פחמן ומחירי הייבוא שלו. כאשר, נדרשת גם התפתחות טכנולוגית שתאפשר הובלה ואגירת מימן ביעילות גבוהה.

ייצור: לצד פיתוח הייצור המקומי של מימן מאנרגיות מתחדשות, יפן מבססת את משק המימן שלה על ייבוא. היא מפתחת הסכמי אספקת מימן ארוכי טווח עם אוסטרליה לייבוא מימן שמוצר מפחם חום, תוך שימוש בטכנולוגיות תפיסת פחמן. יפן מתכננת לייבא 300,000 טון מימן בשנת 2030 ולהרחיב את הייבוא ל-5 מיליון טון ב-2050. המדינה בוחנת ייבוא והובלה של מימן על תצורותיו השונות (כמימן נוזלי, כאמוניה, או כחומרים אורגניים כגון מתאן, והידרידים אורגניים).

אגירה: יפן רואה אופק להשתמש במימן לאגירה עונתית ואיזון רשת החשמל, ומתכננת לחקור טכנולוגיות אגירה כבר בעשור הקרוב.

הובלה: ברחבי המדינה, יפן רואה אופק בשימוש בצנרות ייעודיות להובלת מימן, וקיימים מספר פרויקטים בהקמה שמטרתם השמשת הובלת מימן בצנרת בטווח מרחק הקצר-בינוני. כדי לייבא מימן, יפן תבסס על הובלת המימן באוניות.

¹⁴⁸ [Basic Hydrogen Strategy](#), Ministerial Council on Renewable Energy, December 2017

¹⁴⁹ [Statistical Handbook of Japan 2022](#), Statistics Bureau of Japan, Chapter 7; 20.06.2022

¹⁵⁰ [IEA Japan](#)

שימושים: מימן צפוי להיות נדבך מרכזי בכלכלה היפנית - הן במשק החשמל, והן בתחבורה בעשורים הבאים. במשק החשמל יפן שואפת לייצר 1% מהחשמל מתצורות של מימן עד 2030. בנוסף, יפן שואפת להשתמש במימן לאגירת אנרגיה עודפת מאנרגיות מתחדשות, בעיקר עבור תנודות עונתיות בייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת. מכוניות פרטיות, מלגזות ואוטובוסים מבוססי תא דלק מימני כבר נמצאים בשימוש במגזר התחבורה. נכון לאוגוסט 2021, קיימות ביפן 154 תחנות תדלוק במימן. המפה האסטרטגית של משרד האנרגיה היפני מצביעה על צורך בהקמת כ-900 תחנות דלק מימניות עד שנת 2030, עם צפי ל-800,000 רכבים בהנעה מימנית ו-1,200 אוטובוסים מונעי מימן. בתעשייה השימוש במימן ביפן טרם הגיע לייצור מסחרי ונמצא עדיין בשלבי פיילוט.¹⁵¹

רגולציה: כיום ביפן אין חוקים ספציפיים לשימוש במימן. המימן מסווג כגז בלחץ גבוה, ועל כן חלים עליו חוק בטיחות גז בלחץ גבוה בהקשר של הובלת מימן במשאיות ובמכליות, חוק רכב בדרכים, ותקנות נוספות הקובעות תקנים טכניים, כגון שיטות העמסת רכב, שיטות שינוע ואמצעי בטיחות למכולות. משרד הכלכלה אחראי על ניהול חוק בטיחות גז בלחץ גבוה, המשרד לאיכות הסביבה אחראי על בקרת זיהום אוויר, רעש ורעידות, משרד הקרקעות, התשתיות והתחבורה אחראי על התחבורה ותקני הבטיחות; וכל מחוז אחראי לתת הרשאות בהתאם להחלטות הממשלה.¹⁵²

מו"פ: במרץ 2020, הוקם המתקן הגדול בעולם לייצור מימן מתחדש (10 מגה-וואט) במחוז פוקושימה.¹⁵³ יפן הקצתה 2.7 מיליארד אירו לפרויקט מו"פ בדגש על ייבוא מימן בתצורות שונות, ו-700 מיליון אירו נוספים בפרויקט מו"פ לייצור מימן ירוק. אומדן ההשקעות הכולל של הממשל היפני בתחום המימן עד שנת 2050, מוערך בכ-850 מיליארד אירו.¹⁵⁴

¹⁵¹ [Japan's Hydrogen Industrial Strategy](#), CSIS. October 2012

¹⁵² רגולציית מימן בתחבורה, ארד-אופיר בע"מ, 2022; מסמך פנימי משרד האנרגיה
¹⁵³ Fukushima Hydrogen Energy Research Field (FH2R), אשר נפתח במרץ 2020, משתמש באנרגיה סולארית בקיבולת של 20MW על שטח של 0.18 קמ"ר ואנרגיה נוספת מרשת החשמל בכדי לייצר אלקטרוליזה של מים ביחידת הפקה של 10MW מימן

¹⁵⁴ [Japan's Hydrogen Industrial Strategy](#), CSIS. October 2012

מצב קיים	מניע עיקרי למעבר למימן	כיוונים אסטרטגיים	יעדים לשנת 2030	תנאים הכרחיים למעבר למימן
ייצור של 330,000-810,000 טון מימן בשנה, בעיקר מימן אפור	הצבת בריטניה כמעצמת מימן עולמית, ויצואנית של מימן ושל טכנולוגיות מימן	פרויקטים לבחינת הובלת 100% מימן בצנרות	- אספקה של 1.3 מיליון טון מימן בשנה - כושר ייצור של 5GW מימן - מערכת הובלה של עשרות ק"מ	- הוזלה משמעותית במחירי הייצור, בייחוד של מימן ירוק - התפתחות טכנולוגיות השימוש במימן

שטחה של בריטניה הוא כ-241,930 קמ"ר, והיא מונה 67.3 מיליון תושבים, עם קצב גידול אוכלוסייה של 0.4%¹⁵⁶. מקורות האנרגיה העיקריים במדינה הם גז טבעי (40%) ונפט (כ-35%). אנרגיות מתחדשות מהוות כ-14% (בעיקר רוח וסולארי), גרעין מהווה כ-7% ופחם כ-4%¹⁵⁷. מניתוח של מסמכי המדיניות השונים בתחום המימן עולה שהמניע העיקרי של בריטניה להשקעה במימן הוא הצבת המדינה כמעצמת מימן עולמית, המייצאת מימן ועומדת בחזית הפיתוח הטכנולוגי. עם זאת, מובהר במסמך כי לא ניתן לחזות את גודל שוק המימן העתידי, ובריטניה מסמנת את שנת 2030 כשנת מפתח עבור משק המימן במדינה.

ייצור: כיום מיוצר בבריטניה 810,000-330,000 טון מימן בשנה, בעיקר לתעשייה הפטרוכימית. מקור הייצור העיקרי של המימן הוא מימן אפור, ומעט מימן ירוק. עד שנת 2030 בריטניה שואפת לכושר ייצור מימן דל בפחמן של 5GW, שיספק 1.3 מיליון טון מימן בשנה, באמצעות "גישת המסלול הכפול" של ייצור באלקטרוליזה מאנרגיות מתחדשות (בעיקר רוח) ושימוש בגז טבעי עם תפיסת פחמן. ב-2035 הצפי עומד על 20-7 GW מימן, והערכה שמימן יספק עד כשליש מתצרוכת האנרגיה הכוללת של בריטניה (בין 250-460 TWh, שווה ערך ל-13.8-7.5 מיליון טון מימן בשנה). יש לציין כי לצד יעדי הייצור בשימוש בטכנולוגיית המימן, בריטניה הכריזה שבמקביל לשינויים בתהליכי הייצור, תיבחן ההשפעה של ייצור המימן על הסביבה. לצד כל אלה, בריטניה מתנה פיתוחים אלו בהוזלה משמעותית במחירי הייצור, בייחוד של מימן ירוק.

אגירה: בריטניה רואה באגירת מימן כנכס אסטרטגי לאיפוס פליטות בשנת 2050, וצופה שיידרשו 12-51 TWh-360,000-1,500,000 טון מימן אגור במערות מלח ומאגרי גז טבעי ריקים.

הובלה: בריטניה שואפת לייצר מערכת הובלה של עשרות ק"מ עד 2030, ותוספת של מאות ק"מ לקראת 2040. אלו יכללו שינוע מימן כאמוניה לתדלוק ספינות, שימוש בצנרות קיימות להובלת גז טבעי והקמת תשתיות ייעודיות למימן, שיחברו אותה לבלגיה, הולנד ואירלנד. לשם כך, היא מקדמת היום מספר פרויקטים הבוחנים הובלת מימן נקי בצנרות חדשות או מומרות (מהובלה של גז טבעי), חיבור מרכזי לתעשייה והמרת צנרת הגז הקיימת להולכת מימן.

שימושים: לפי התחזיות הבריטיות, צפויה דרישה כוללת של 1.1 מיליון טון מימן בשנה בבריטניה בשנת 2030 למגזרי התעשייה, החשמל, חימום הבתים והתחבורה. כל אלו תלויים בהתפתחות הטכנולוגיות הרלוונטיות שתאפשר שימוש בהן בקנה מידה גדול. בתעשייה הממשלה תתמוך במעבר לייצור ושימוש במימן דל-פחמן, לצד הקמת צנרת מימן שתחבר בין מרכזי תעשייה שונים. תפקיד המימן בהפקת חשמל צפוי להיות יחסית קטן,¹⁵⁸ הוא ישמש בעיקר לאיזון רשת

¹⁵⁵ [UK Hydrogen Strategy](#), HM Government, August 2021, 29.06.2022

¹⁵⁶ [The World Bank – United Kingdom](#)

¹⁵⁷ [IEA UK](#)

החשמל במקרים של עודפים או חוסרים. קיימת תוכנית מימן לתחבורה שיצאה לדרך ב-2017, בהיקף של 23 מיליון ליש"ט. תיכתב אסטרטגיית אוטובוסים לאומית ותצא לפועל התוכנית ZEBRA (Zero Emission Bus Regional Areas), אשר תספק עד כ-140 מיליון אירו ב-2021/22 כדי להתחיל בייבוא של 4,000 אוטובוסי אפס פליטות חדשים, מונעי מימן או סוללות חשמליות, והתשתית הדרושה לתמוך בהם. השקעה נוספת נעשית במחקר ופיתוח טכנולוגיות מימן לספינות ומטוסים. בנוסף, צפוי שימוש במימן כמקור לחימום בתים ומתוכננים לקום שכונה מחוממת על-ידי מימן עד 2023, כפר המחומם על ידי מימן עד 2025 ועיירה המחוממת באמצעות מימן עד 2030.

מדיניות רגולציה: המימן נמצא תחת ההגדרה של "גז" בחוק הגז משנת 1986 ומוסדר כחלק מרשת הגז. בריטניה צופה שההתאמות הרגולטוריות לטווח קצר יחלו משנת 2025, ומסגרת חקיקה לטווח רחוק תיכתב לקראת תום העשור. בהתאם, השנה נפגש לראשונה פורום רגולטורי המימן שמכיל נציגים מתחומי סביבה, בטיחות, שווקים, תחרות ותכנון.¹⁵⁹

מו"פ: ממשלת בריטניה הקימה תיק השקעות של 1 מיליארד אירו עבור איפוס פחמני,¹⁶⁰ שבמסגרתו מימן מהווה את אחד מעשרת יעדי המפתח. כמו כן, נכתבה תכנית לפיתוח טכנולוגיות לשרשרת אספקת מימן דל-פחמן בהיקף של 60 מיליון אירו, וזו כבר יוצאת לפועל.¹⁶¹ בנוסף, ממשלת בריטניה התחייבה להשקיע כ-3.5 מיליון אירו השקעה שנתית (עד שנת 2025) כדי להקים מרכז הובלת מימן רב-מודאלי בעמק טיז (Tees Valley) המתמקד במחקר ובהדגמת יכולותיו השונות של המימן.¹⁶²

¹⁵⁹ [Question for Department for Business, Energy and Industrial Strategy](#), UK Parliament, December 2021

¹⁶⁰ [Net Zero Innovation Portfolio](#), Gov UK

¹⁶¹ [Low Carbon Hydrogen Supply 2 Competition \(closed\)](#), Gov UK

¹⁶² [UK Hydrogen Strategy](#), HM Government, August 2021, p.69; 29.06.2022

מצב קיים	מניע עיקרי למעבר למימן	כיוונים אסטרטגיים	יעדים לשנת 2030	תנאים הכרחיים למעבר למימן
ייצור מימן לתעשייה, בעיקר מגז טבעי	- אגירת אנרגיה עודפת ממקורות מתחדשים - גשר לייבוא מימן בין אירופה לאפריקה והמזרח התיכון	השקעה של כמיליארד אירו במו"פ עד שנת 2030, מתוך השקעה כוללת במשק מימן של כ-10 מיליארד אירו	- הספק יצור של 5GW מימן ירוק, שיהווה 2% מצריכת האנרגיה השנתית 200,000 רכבי תא דלק, מתוכם משאיות 2% מצי המשאיות לטווח רחוק	היכולת להתאים את תשתיות הגז הטבעי הקיימות להובלת מימן

איטליה מונה 59 מיליון תושבים על פני 297,730 קמ"ר עם קצב גידול אוכלוסייה של 0.6%-¹⁶⁴. מקורות האנרגיה במדינה הינם גז טבעי (44%), נפט (32%), אנרגיות מתחדשות (20%) בעיקר ביומסה וגיאותרמית, ופחם (4%).¹⁶⁵ לאיטליה אין תכנית אסטרטגית למימן, אך בסוף 2020 הוציאה המשלה מסמך בשם "קווים מנחים לאסטרטגית מימן לאומית. שני המניעים העיקריים של איטליה להשקעה במשק מימן הם יעול השימוש במקורות האנרגיה המתחדשת הרבים במדינה, וכן תשתיות שמחברות אותה למדינות בצפון אפריקה, ויכולות להוות ערוץ הובלה של מימן לאירופה.¹⁶⁶

ייצור: כיום ייצור המימן באיטליה מהווה 1% מצריכת האנרגיה במדינה, ברובו המכריע מגז טבעי ומעט מאלקטרוליזה, ומיועד לתעשייה.¹⁶⁷ איטליה שמה יעד של 2% אחוז מצריכת האנרגיה השנתית ממימן ירוק עד 2030 (כ-0.7 מיליון טון מימן בשנה), אשר תדרוש ייצור בהספק של 5GW. בשנת 2050 צופים שמימן יהווה עד 20% מתצרוכת האנרגיה.

הובלה: איטליה שוקלת שלושה תרחישים:

- (1) הקמת "עמקי מימן" בהם קיימים מקור אנרגיה מתחדשת, אלקטרוליזר, ותעשייה המתבססת על המימן המקומי.
- (2) ייצור מימן מקומי שמוצא מחשמל שמועבר ברשת החשמל ממקורות אנרגיה מתחדשים.
- (3) ייצור מרכזי עם הובלת מימן על ידי התאמת תשתית הובלת הגז הטבעי ושימוש במשאיות.

במפת הדרכים שפורסמה, הבחירה בין התרחישים תתבצע לאחר ניתוח מעמיק של היתרונות והחסרונות, בדגש על הטווח הרחוק. עם זאת, במסמכי מדיניות מקבילים למסמך העקרונות, נכתב כי הצנרת המשמשת את איטליה לייבוא גז טבעי מצפון אפריקה, צפויה לשמש אותה לייבוא מימן לאירופה. פוטנציאל זה קיבל משנה תוקף כאשר בנובמבר 2021 אחת מהחברות המובילות לתשתיות אנרגיה באיטליה, הכריזה על שדרוג תשתיות הגז הטבעי שלה בעלות של 23 מיליארד אירו, כשאחת ממטרותיה לטווח בינוני היא הקמת התשתית הראשונה להובלת מימן מצפון אפריקה לדרום איטליה.¹⁶⁸ עולה כי יעד זה יוכל להתממש, רק אם תתאפשר התאמת תשתיות הגז הטבעי הקיימות להובלת מימן.¹⁶⁹

שימושים: איטליה רואה בתחבורה ובתעשייה כשימושים העיקריים לשימוש במימן, אך נכון להיום לא הוצבו יעדים מפורטים לסקטורים אלו. כקו מנחה, הוצע שמתוך צי של 200,000 רכבים מבוססי מימן, לפחות 2% משאיות למרחקים

¹⁶³ [Strategia Nazionale Idrogeno Linee guida preliminari](#), November 2020; 21.6.2022

¹⁶⁴ [The World Bank – Italy](#); 21.06.2022

¹⁶⁵ [IEA Italy](#)

¹⁶⁶ [HYDROGEN LAW, REGULATIONS & STRATEGY IN ITALY](#), CMS; 21.06.2022

¹⁶⁷ [The Italian Hydrogen Strategy](#), Watson Farley & Williams (WFW), April 2021; 21.06.2022

¹⁶⁸ [Snam 2030 vision](#), November 2021; 21.06.2022

¹⁶⁹ [The Italian Hydrogen Strategy](#), Watson Farley & Williams (WFW); 21.06.2022

ארוכים מבוססות תאי דלק. בנוסף, בשנת 2023 צפויה להיכנס לצי הרכבות של איטליה רכבת ראשונה הפועלת על מימן, וישנה המלצה להכניס רכבות נוספות מבוססות מימן, כבר בעשור הקרוב. כמו כן, נערכת בחינה לשימוש במימן לחימום בתים.

רגולציה: משרד הפיתוח הכלכלי הינו הרגולטור המרכזי, האחראי, בין היתר, על תשתית הגז הקיימת, הנחת תשתיות חדשות, ופעילויות הייצוא והייבוא. לאיטליה אין חוקים להובלת מימן, אך היא ניכסה את הרגולציה האירופאית להובלת חומרים מסוכנים, בה מימן נחשב לגז דליק. בתחום הייבוא והייצוא המצב דומה, ולייבוא של גז נדרש רישיון אותו מנפיק משרד הפיתוח הכלכלי.¹⁷⁰

מו"פ: כיום איטליה משקיעה בממוצע 12.3 מיליון אירו בשנה לקידום מימן, כשזו שואפת להשקיע במצטבר מיליארד אירו עד 2030.¹⁷¹

¹⁷⁰ [HYDROGEN LAW, REGULATIONS & STRATEGY IN ITALY](#), CMS; 21.06.2022

¹⁷¹ [HYDROGEN LAW, REGULATIONS & STRATEGY IN ITALY](#), CMS; 21.06.2022

מצב קיים	מניע עיקרי למעבר למימן	כיוונים אסטרטגיים	יעדים לשנת 2030
• ייצור מקומי של כ-10 מליון טון מימן: אפור (76%), כתום (23%) וירוק (1%) • המימן משמש כיום לתעשיית הנפט, הזיקוק, האמוניה והתעשייה הכימית	• עמידה ביעדי חשמול מלא עד 2035 ואיפוס פליטות בשנת 2050 • שיפור בביטחון ובחוסן האנרגטי • יצירת ערך כלכלי מקומי עם פיתוח תעסוקה, וערך ככלי גלובלי לייצוא	• פיתוח מרכזי מימן אזוריים • הפחתת עלויות: ייצור ק"ג מימן ירוק בעלות של דולר אחד, תוך עשור • התמקדות בסקטור התעשייה, התחבורה ואגירת החשמל	• ייצור של 10 מיליון טון מימן ירוק בשנה • השקעה בתשתיות מימן בהיקף של 3 מיליארד דולר • הוזלת עלויות ייצור, שינוע ושימושי קצה במימן • העלאת יעילות אלקטרוליזרים

ארצות הברית הינה מדינה פדרלית שחולשת על 9,833,520 קמ"ר, מונה 333,287,557 תושבים, עם קצב גדילת אוכלוסייה של 0.4%¹⁷³. תמהיל האנרגיה בארצות הברית, התבסס בשנת 2022 בעיקר על נפט (כ-36%) וגז טבעי (כ-33%) ופחם (כ-10%). שאר האנרגיה, המהווה כחמישית מתמהיל האנרגיה (כ-21%), מקורה באנרגיות מתחדשות (בעיקר ביומסה, רוח והידרואלקטרית), ואנרגיה גרעינית (כ-8%)¹⁷⁴. מניית של מסמכי המדיניות השונים בתחום המימן עולה, שהמניע העיקרי של ארצות הברית להשקעה במימן, השגת יעדי איפוס פליטות ב-2050, תוך יצירת משק אנרגיה נקי ואמין, יחד עם פיתוח מקומות עבודה. יתרה מכך, ארה"ב שואפת להתקבע כמדינה המובילה בשוק המימן העולמי¹⁷⁵.

בספטמבר 2023, פרסמה ארה"ב את טיוטת האסטרטגיה למימן נקי ומפת דרכים לאומית להערוצ ציבור, וביוני 2023 פורסמה הגרסה העדכנית¹⁷⁶. האסטרטגיה מתייחסת לשלושה סקטורים המתאימים להסבה למימן: תעשייה, תחבורה ואגירת חשמל. מפת הדרכים באסטרטגיה מתבססת על שלוש פעולות: הבטחת שימושים בסקטורים המתאימים למימן, הפחתת עלויות ייצור ופיתוח מרכזי מימן אזוריים. האסטרטגיה עתידה להתעדכן אחת לשלוש שנים.

מפת הדרכים מתייחסת לפעולות אותן יש לבצע בהתאם לשרשרת הערך של המימן (ייצור, שינוע ושימוש), ובהינתן שלושה טווחי זמן: טווח מיידי עד 2023, טווח בינוני 2024-2028, וטווח ארוך 2029-2036. התכנית מפרטת יעדים להשגה, בין הפרמטרים: כמויות ייצור, עלויות, הספק אלקטרוליזר ושיעור שיפור יעילות¹⁷⁷. משרד האנרגיה האמריקאי (DOE) אחראי למעקב וליישום ההגדרות, תוך התחשבות בהזדמנויות מקומיות ואזוריות ויצירת שיתופי פעולה בין ממשלה, תעשייה, משקיעים ומוסדות אקדמיים ומחקריים, להאצת ההתקדמות¹⁷⁸. על מנת לוודא השקעות עבור חשמל ירוק, נחקקו חוקי עזר להורדת עלויות, כדוגמת זיכוי מס ייצור וזיכוי מס השקעה עבור טכנולוגיות חשמל¹⁷⁹.

¹⁷² ארה"ב נוספה לסקירה המשווה בעדכון העבודה, מתוך הערות הציבור שהועלו במסגרת פרסום טיוטת העבודה ובכנס שיתוף בעלי עניין שהתקיים ביוני 2023.

¹⁷³ The World Bank – United States, 2022.

¹⁷⁴ U.S. primary energy consumption by energy source, EIA, 2022

¹⁷⁵ U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap, June 2023, p.6

¹⁷⁶ U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap, June 2023, p.81

¹⁷⁷ U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap, June 2023, p.59

¹⁷⁸ U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap, June 2023, p. 61.

¹⁷⁹ U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap, June 2023, p. 41.

ייצור: ייצור המימן המקומי מסתכם כיום בכ-11.4 מיליון טון לשנה, כאשר כ-76% מימן אפור, כ-23% כתוצר לוואי של תהליכים, וכ-1% מימן ירוק באלקטרוליזה¹⁸⁰. ארצות הברית שמה לעצמה יעד של ייצור 10 מיליון טון מימן ירוק בשנה ב-2030, ו-50 מיליון טון מימן ירוק בשנה ב-2050¹⁸¹ תוך הפחתת עלויות בעשור הקרוב: ק"ג מימן בדולר אחד¹⁸².

אגירה: האסטרטגיה מתייחסת לאגירת חשמל, תוך עמידה ביעדי חשמול מלאעד 2035. לשם כך, תידרש אגירה בהיקף של כ-4-8 מיליון טון מימן לשנה בשנת 2050¹⁸³ מתוכנן הקמת מתקן לאחסון עונתי, אשר ישלב אלקטרוליזר אלקליין עם מלח, בהספק של 220 מ"ו¹⁸⁴. בנוסף, האסטרטגיה מתייחסת לבחינת אגירת פד"ח (CCS) מייצור המימן בתהליכים השונים, כדי לעמוד ביעדי איפוס פליטות¹⁸⁵.

הובלה: ארה"ב מתייחסת לארבע אפשרויות עתידיות להובלת המימן: צנרת, רכבות, משאיות וספינות. כיום, המימן המיוצר מובל בצנרת מימן ייעודית, באורך של כ-2,600 ק"מ, או בשימוש מקומי במפעל הייצור (מימן כתוצר לוואי של תהליכים)¹⁸⁶.

שימושים: כיום המימן משמש בעיקר את תעשיית הנפט, הזיקוק, האמוניה והתעשייה הכימית. מערכות טכנולוגיות מבוססות מימן הקיימות כיום בארה"ב, כוללת סך כולל של: גיבוי אגירת חשמל (500 מ"ו), מלגזות (60,000), אלקטרוליזר (620 מ"ו), אוטובוסים (80), רכבים פרטיים (13,000) ותחנו תדלוק (80)¹⁸⁷. השימושים העיקריים במימן, עתידים להיות עבור סקטור התעשייה הכבדה, התחבורה ואגירת החשמל¹⁸⁸.

ייצוא: כיום ארה"ב אחראית על 10% משיעור ייצור המימן בעולם¹⁸⁹. האסטרטגיה האמריקאית מתבססת על עצמאות אנרגטית מלאה בייצור מימן מקומי, עם אפשרויות ייצוא בלבד החל מ-2030¹⁹⁰.

מדיניות ורגולציה: המשרד ליעילות אנרגטית ואנרגיה מתחדשת, מרכז גופי ממשלה רגולטוריים מגוונים לקביעת תקנים לייצור, שינוע, אחסון ושימוש במימן. המשרד עובד בשיתוף פעולה עם משרד האנרגיה (DOE), ומקיים באופן תדיר ובינריים ועדכונים בנושאי מימן¹⁹¹. בנוסף, תחום המימן קיבל עדיפות מתוקף שני חוקים: החוק להפחתת האינפלציה (IRA) אשר מספקת תמריצים לייצור ושימוש באנרגיית מימן נקייה; החוק להשקעה בתשתיות ובתעסוקה (IIJA) אשר מספק מימון למחקר ופיתוח הטכנולוגיה הרצויה¹⁹². חוק ה-IRA מכוון הוצאות פדרליות להשקעה בתחום החדשנות והפיתוח ומימון רשות המסים הפנימית לעידוד ייצור מקומי בפיתוח, מחקר ומסחר של טכנולוגיית לכידת פחמן ואחסון מימן נקי, החוק מקצה כ-620 מיליארד דולר¹⁹³. חוק ה-IIJA הוא חוק הנועד לסייע בפריקטים של פיתוח תשתיות בתחומי תחבורה, מים ובטיחות, בסך של 550 מיליארד דולר בהוצאה פדרלית¹⁹⁴. פעולות רגולטוריות בתחום הייצור,

¹⁸⁰ [U.S. Hydrogen Demand Action Plan, February 2023, p. 3-20](#)

¹⁸¹ [U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap at a Glance, June 2023, p. 1](#)

¹⁸² [U.S. Hydrogen Demand Action Plan, February 2023, p. 39-42](#)

¹⁸³ [U.S. Hydrogen Demand Action Plan, February 2023, p. 21](#)

¹⁸⁴ [U.S. Hydrogen Demand Action Plan, February 2023, p. 35](#)

¹⁸⁵ [U.S. Hydrogen Demand Action Plan, February 2023, p. 42-46](#)

¹⁸⁶ [U.S. Hydrogen Demand Action Plan, February 2023, p. 42-46](#)

¹⁸⁷ [U.S. Hydrogen Demand Action Plan, February 2023, p. 14](#)

¹⁸⁸ [U.S. Hydrogen Demand Action Plan, February 2023, p. 13](#)

¹⁸⁹ [U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap, June 2023, p. 5](#)

¹⁹⁰ [U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap, June 2023, p. 69-70](#)

¹⁹¹ [HYDROGEN AND FUEL CELL TECHNOLOGIES OFFICE, ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY](#)

¹⁹² [U.S. Hydrogen Demand Action Plan, February 2023, p. 16-20](#)

¹⁹³ [The Inflation Reduction Act: Here's what's in it, October 24, 2022](#)

¹⁹⁴ [U.S. Infrastructure Law: Resources for Public Works, 2021.](#)

האגירה וההובלה ננקטות על ידי סוכנויות פדרליות שונות אשר פועלות בשיתוף פעולה, כגון: הסוכנות להגנת הסביבה, רשות התעופה הפדרלית, ועדת רגולציית האנרגיה הפדרלית, מנהל הבריאות והבטיחות, מנהל הצינורות והחומרים המסוכנים ועוד.¹⁹⁵

מו"פ: תחת החקיקה הדו-מפלגתית לתשתיות אנרגיה בנובמבר 2021¹⁹⁶, הוקצו כ-8 מיליארד דולר עבור הקמת מרכזי מימן אזוריים (Regional Clean Hydrogen Hubs), כ-1 מיליארד דולר עבור תכניות ייצור ומחזור אלקטרוליזרים, וכ-500 מיליון דולר עבור פיתוח תעשייה ותחבורה מופחתת פליטות מבוססת מימן. מטרת העל של התמיכות, היא להגיע תוך עשור לייצור ק"ג אחד של מימן ירוק עבור דולר אחד. לשם כך, יצא משרד האנרגיה האמריקאי (DOE) בשנת 2022 בקול קורא לבקשת מידע (RFI) בנושאים לעיל.

¹⁹⁵ [U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap](#), June 2023, p. 64

¹⁹⁶ [DOE Establishes Bipartisan Infrastructure Law's \\$9.5 Billion Clean Hydrogen Initiatives](#), February 2022

עמק מימן נחשב לאחד הכלים המרכזיים בפיתוח משק מימן. זהו אזור גיאוגרפי מוגדר אשר מכסה חלק משמעותי של שרשרת הערך של המימן, החל מטכנולוגיות ייצור המימן, דרך הובלה ועד לשימוש הסופי שלו בסקטורים שונים – תעשייה, תחבורה ואגירת אנרגיה. בשל גודלה של ישראל אנו סבורים שבנוסף לכך, עמק מימן מקומי יהווה כלי יעיל למחקר ופיתוח, וזאת בכך שיהווה מגרש משחקים מגוון שיאפשר קידום מימן, כשהתמריצים השונים עבור כל השחקנים יאפשרו להפחית עלויות ביחס להשקעה בפרויקטים בודדים.

כיום בעולם יש למעלה מ-30 עמקי מימן בשלבי הקמה כלשהם, כאשר הרוב נמצאים (כ-20 עמקים) מוקמים באירופה. בשל הריכוז הגבוה של מגוון פעילויות בעמקי המימן, מתאפשר למדינה לסייע במקביל במו"פ של פרויקטים, ויש מדינות שאף משקיעות בטיפול סוגיות רגולטוריות שעולות מהשטח, דוגמת גרמניה, שמשקיעה למעלה מ-9.4 מיליארד אירו בקידום משק המימן.

מדינות מערביות משקיעות תקציבים רבים בקידום משק המימן, החל מתקציבי מו"פ ועד מתן תמיכות, הטבות מס וכדומה. אירופה מקדמת תכניות רב שנתיות (עד שנת 2030) במסגרתן כל מדינה משקיעה ויש גם השקעות כלליות של האיחוד האירופי, כפי שניתן לראות בדוגמאות הבאות:

גרמניה – משקיעה מעל 9.4 מיליארד אירו לקידום משק מימן בין השנים 2016-2030. ההשקעות מיועדות לקידום טכנולוגיות מימן ותאי דלק, במחקר וגיבוש רגולציה. מתוך כך, הוקצו תקציבים להקמה של חמישה עמקי מימן ברחבי גרמניה, שמטרתם לאפשר פעילות של מימן לכל אורך שרשרת הערך שלה. החל משלב הייצור, דרך שינוע ואחסון ועד לצריכה כאשר במקביל בעמקים יתאפשר לבצע מו"פ, לדוגמה:

1. פרויקט "HyWays for Future", שמיועד להפיק 3 טון מימן ביום. היקף ההשקעה התקציבית בפרויקט זה מוערך ב-90 מיליון אירו, מתוכם 20 מיליון אירו במימון המדינה, בצורה של מענקי השקעה (investment grants)¹⁹⁷, בנוסף למימון מדינה שמושקע בפרויקט.

2. eFARM, אשר נמצא בשלבי סיום ומיועד להפיק 0.6 טון מימן ביום לטובת תחבורה בלבד¹⁹⁸, היקף ההשקעה בהקמת המתחם מוערך בכ-16 מיליון אירו, מתוך כך 8 מיליון אירו הגיעו ממימון המדינה¹⁹⁹.

צרפת – היקף ההשקעה הצפוי של המדינה יהיה מעל 7 מיליארד אירו, כאשר האסטרטגיה צפויה להתמקד בתחבורה, בתעשייה ובפרויקטי מו"פ²⁰⁰. אחד הפרויקטים המרכזיים הוא הקמה עמק מימן שבנייתו צפויה להסתיים במהלך 2023. העמק עתיד להפיק 1.6 טון מימן ליום, בנוסף יופעלו בו כ-20 תחנות תדלוק ולפחות 1,200 רכבים²⁰¹. הפרויקט צפוי על פני 10 שנים במסגרתו יושקעו לפחות 70 מיליון אירו, מתוכם 10.1 מיליון אירו תמיכה מהאיחוד האירופי, 14.4 מיליון אירו תמיכה מהרשות הממשלתית ADEME ועוד 15 מיליון אירו מרשות מקומית (חבל אוברן-רון-אלפ)²⁰² – כך שסך השקעה

¹⁹⁷ [hyways for future](#)

¹⁹⁸ [EFARM](#), Mission Innovation

¹⁹⁹ [Largest model project for green hydrogen mobility now underway](#), NOW GMBH.DE

²⁰⁰ [National strategy for the development of decarbonised and renewable hydrogen in France](#), Gov

²⁰¹ [Zero Emission Valley \(ZEV\)](#), MCPHY

²⁰² [FAIRE D'Auvergne-Rhône-Alpes la première région en mobilité hydrogène](#), Auvergne-Rhône-Alpes

ציבורית מסתכמת לכ-40 מיליון אירו. מתוך כספים אלו, שני שליש מיועדים למתקני ייצור והפצה, ושליש לרכישת 200 רכבים חדשים²⁰³.

הולנד – צפויה להשקיע כ-350 מיליון אירו עד שנת 2030, לטובת האצת קיבולת הייצור של מימן ירוק. כמו כן, הולנד תשקיע עוד 15 מיליון אירו נוספים עבור כל מחקר או פיילוט ליישום טכנולוגיות תפיסת פחמן (CCUS); ועוד 35 מיליון אירו אשר מיועדים לפיילוטס ופרויקטי הדגמה להפחתת יעילה בפליטות בתעשייה.²⁰⁴ הולנד צפויה להשקיע בכ-3 עמקי מימן²⁰⁵:

1. "Heavenn", לו מיועד תקציב הקמה ראשוני של 90 מיליון אירו, מתוכם האיחוד האירופי משקיע כ-20 מיליון אירו²⁰⁶, והיתרה בסך של 70 מיליון אירו ימומנו באופן ציבורי-פרטי (שכולל מימון ממשלתי ואזורי – רשות מקומית, אך לא ברור באלו היקפים). בהתאם לתכניות ההקמה נראה כי בעמק יפעלו לייצור של כ-100 טון מימן ליום, בנוסף יופעלו חמש תחנות תדלוק, שני אוטובוסים לטווח רחוק, שני ואנים גדולים, ארבע משאיות זבל, שמונה משאיות כבדות, שמונה משאיות קלות ומעל מאה מכוניות פרטיות. מעבר לכך, ייבחנו בעמק טכנולוגיות לאגירת מימן, לחימום בתים, ולתעשייה²⁰⁷.

2. בפרויקט נוסף של הולנד, שנקרא "Europe's Hydrogen Hub – the Port of Rotterdam", גם שם צפויה להיות השקעה מהאיחוד, מהמדינה, והשקעה ציבורית מהרשות המקומית.

ארה"ב²⁰⁸ אשר אישרה את חוק האינפלציה (IRA), ובמסגרתו ארה"ב תשקיע תקציב של מעל 300 מיליארד דולר בהפחתת פליטות, מתוך כך כ-130 מיליארד דולר צפוי להיות לתמיכה במימן. נציין כי בארה"ב הרבה מהתקציב ניתן במסגרת הטבות מס שמאפשרות גמישות.

כמו כן, ניתן לראות השקעה משמעותית של מדינות נוספות כמו סין, אוסטרליה, ואפילו מדינות שכנות של ישראל אשר משקיעות בהקמה של עמקי מימן ובנוסף מקדמים תכניות עתירות תקציב לקידום הנושא²⁰⁹.

לבחינת הנושא סקרנו מספר עמקי מימן באירופה ובארה"ב שנמצאים בשלבי סיום כמפורט בטבלה להלן:

²⁰³ [Mobility ecosystems - The first step toward local involvement in building a hydrogen industry](#), EY, 2020, p.13

²⁰⁴ [Government Strategy on Hydrogen](#) – Government of Netherlands, April 2020; 07.06.2022

²⁰⁵ [Mission Innovation Hydrogen Valley Platform](#), H2.EU

²⁰⁶ דרך התכנית "Horizon 2020 Research and Innovation programme, Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research"

²⁰⁷ [HEAVENN](#)

²⁰⁸ ארה"ב נוספה לסקירה המשווה בעדכון העבודה, מתוך הערות הציבור שהועלו במסגרת פרסום טיוטת העבודה ובכנס שיתוף בעלי עניין שהתקיים ביוני 2023

²⁰⁹ [Mission Innovation Hydrogen Valley Platform](#), H2.EU

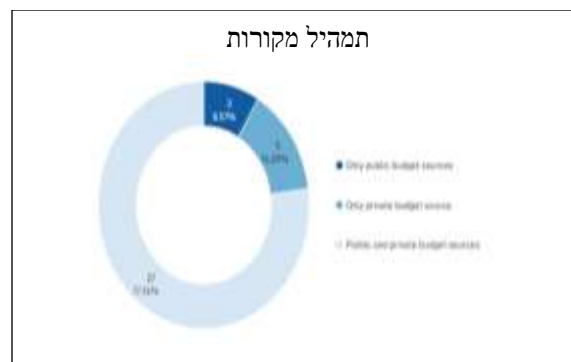
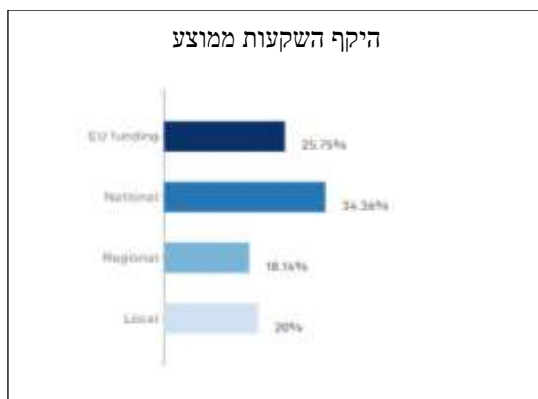
השקעה נוספת בפרויקטים משלימים ו/או השקעה בעמק	פרויקטים לדוגמה						מדינה
	תוצרי הפרויקט	תכנית המימון	מימון ממשלתי	היקף עלויות ראשוני	סטטוס	שם פרויקט	
1.4 מיליארד אירו בשנים 20-26 במסגרת תכנית החדשנות הלאומית לטכנולוגיית מימן ותאי דלק. אישור תקציבי נוסף ל-7 מיליארד אירו לפיתוח משק המימן	ייצור של 0.6 טון מימן ביום ע"י חשמל מטרובינות רוח, כושר ייצור של 1,125 MW מימן, שתי תחנות תדלוק, שני אוטובוסים ו-30 מכוניות מימן (שאיפה 100ל רכבים)	בעזרת תכנית ה-National Innovation Programme for Hydrogen and Fuel Cell Technology	8 מיליון אירו	16 מיליון אירו	סיום הקמה	eFARM	גרמניה (סה"כ 5 עמקי מימן בהקמה)
	ייצור של 3 טון ליום	HyLand programme.	20 מיליון אירו	90 מיליון אירו	סיום הקמה (2024)	HyWays for Future	
השקעה ציבורית מעל 7.2 מיליארד אירו בתחבורה, תעשייה ומו"פ. כאשר יש השלמה של המגזר הפרטי לתמיכה בפרויקטים.	יעד ייצור של 1.6 טון מימן ליום, עם 20 תחנות תדלוק ו-1,200 רכבים.	מהאיחוד האירופי - 2017 Connecting Europe Facility .Blending Call ADEME - 2019 call for Hydrogen and .mobility projects	10.1 מיליון אירו מאיחוד אירופי ועוד 14.4 מיליון אירו מרשות ממשלתית	70 מיליון אירו ל-10 שנים	סיום הקמה (2024)	ZEV	צרפת (סה"כ 3 עמקי מימן בהקמה)
היקף השקעה של 2.8 מיליארד אירו	יעד ייצור של כ-100 טון מימן ליום, עבור חמש תחנות תדלוק, 2 אוטובוסים לטווח רחוק, 2 ואנים גדולים, 4 משאיות זבל, 8 משאיות כבדות ו-105 קלות מכוניות פרטיות. בנוסף ייבחנו טכנולוגיות לאגירת מימן, חימום בתים, ולתעשייה	Horizon 2020 Research and Innovation programme, Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research	ה-EU משקיע כ-M20 אירו בנוסף יש מימון ציבורי פרטי של M70 אירו. לא ברור היקף החלוקה בין ציבורי לפרטי.	90 מיליון אירו	תחילת הקמה צפי לסיום (2026)	Heavenn	הולנד (סה"כ 3 עמקי מימן)
	6-10 מרכזי מימן מקומיים	ממשלתית	9.5 מיליארד דולר, מתוקף החוק הדו-מפלגתי משנת 2021, בחלוקה הבאה: 7 מיליארד דולר לעמקי מימן; 1 מיליארד לתכניות ייצור ומחזור אלקטרוליזרים; כ-500 מיליון דולר לפיתוח תחבורה ותעשייה	כ-1 מיליארד דולר לעמק	ב-2022 יצא RFI, בשנת 2023 הוגשו הצעות, ובתחילת 2024 יפורסם לוח הזמנים המלא	Regional Clean Hydrogen Hubs (H2Hubs)	ארה"ב ²¹⁰ (סה"כ 33 מרכזי מימן מקומיים)

טבלה 7 - סקירת עמקי מימן באירופה

210

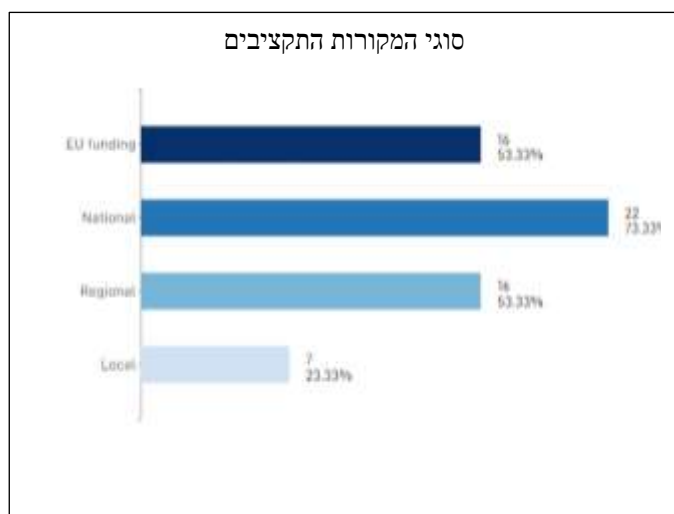
ארה"ב נוספה לסקירה המשווה בעדכון העבודה, מתוך הערות הציבור שהועלו במסגרת פרסום טיוטת העבודה ובכנס שיתוף בעלי עניין שהתקיים ביוני 2023

מתוך העמקים שנבחנו, ניתן לראות כי ההשקעות ברמת מדינות באירופה לעמקי מימן, נעות בין 8 מיליון אירו לבין 25 מיליון אירו (בין כ-30 מיליון ש"ל לבין כ-94 מיליון ש"ל), ההשקעה בעמק משתנה בהתאם לגודל העמק והיקף הפקת המימן אך נראה שבכל עמק עלויות ההקמה מתמקדות בלפחות 90% משרשרת הערך של מימן-כלומר, הקמה/שינוע של מקור אנרגיה, תשתית להפקת מימן, אגירה, שינוע והפצה.



עוד נציין כי מסקירה של ארגון Mission Innovation²¹¹ נראה כי תמהיל מקורות ההשקעה העולמית בעמקי מימן נאמדת בכ-85% שמקורם בהשקעה כספית ציבורית:

מעבר להשקעה הממוצעת ברמת המדינה הנאמדת בממוצע של 34% מהיקף העלות הראשונית של הפרויקט. באירופה ניתן לקבל תמיכה נוספת עבור עמק מימן אשר יכולה להיות ממקורות ציבוריים נוספים כמפורט להלן:



1. תמיכה מטעם האיחוד
2. תמיכה ברמת המדינה
3. תמיכה ברמה המוניציפאלית (אזור)
4. תמיכה ברמה מקומית (למשל עיר)

כלומר, באירופה התמיכה הציבורית יכולה להסתכם ביותר מ-34% בממוצע.

בבחינת מגוון השימושים הצפויים בעמק מימן צריך להתייחס בין היתר לאספקת המימן שתאפשר שימוש מינימלי בתעשייה, אספקת מימן לתחנות תדלוק במטרה לקדם את משק התחבורה ולאפשר פריסה גאוגרפית

סבירה (יצוין כי כבר הוקמה תחנת דלק מימנית ראשונה בצפון), וכמובן לאפשר קידום פעילות מו"פ.

לסיכום ניתן לראות כי:

²¹¹ <https://h2v.eu/> ארגון מטעם האיחוד האירופי בו חברות מעל 20 מדינות ששם למטרה להאיץ חדשנות עולמית באנרגיה נקייה בדגש על השימוש במימן

(1) רוב מדינות אירופה משקיעות בעלות ההקמה של עמקי מימן, מאחר שככלל מימן נחשב למקור אנרגיה שיסייע למדינות לעמוד ביעדי איפוס פליטות. אך כיום, עלויות הייצור והשימוש במימן הן גבוהות לעומת דלקים פוסיליים מה שפוגע בכדאיות ההשקעה במימן. לכן מדינות מערביות מקדמות השקעה ציבורית יחד עם השקעה פרטית בעת הקמת עמק מימן, כמו למשל בגרמניה, הולנד וצרפת (ראה טבלה 7 - סקירת עמקי מימן באירופה לעיל), זאת על מנת לעודד את משק המימן ולאפשר כדאיות כלכלית לכלל השחקנים.

(2) ארה"ב²¹² חריגה בהשקעה עבור מרכזי מימן מקומיים, וזאת מתוך החוק הדו-מפלגתי הייעודי למימן, בהיקף של 8 מיליארד דולר.

(3) כאמור לעיל, עמק מימן נחשב לאחד הכלים המרכזיים בפיתוח משק המימן מאחר שהוא מאפשר מגוון שימושים בתחבורה, תעשייה, שינוע בצנרת, אחסון ואגירה. אך כמעט בכל עמק מימן יש מקור אנרגיה לייצור מימן כך שיאפשר אספקת מימן מינימלית לעמק, בנוסף בצד השימושים בכל עמק יש רכיב של תחבורה הכולל תדלוק, הפצה ואחסון שוטף. בדומה לאירופה יש להתייחס לכך שבעמק מימן יהיה מקור אנרגיה לייצור מימן ואספקתו, וכן רכיב של תחבורה ומחקר. אך בשל גודלה של ישראל אנו סבורים שבעמק מימן מקומי יהיו גם שימושים של התעשייה ומחקר, זאת כדי לאפשר מגרש משחקים מגוון שיאפשר קידום מימן ובנוסף התמריצים השונים עבור כל השחקנים יאפשר להפחית עלויות ביחס להשקעה בפרויקטים בודדים.

(4) עלות ההקמה על עמק מימן קטן (eFarm) נעה סביב 16 מיליון אירו (כ-60 מיליון ₪) ואילו עלות הקמה של עמק מימן בינוני (Hyways) נעה סביב 90 מיליון אירו (כ-330 מיליון ₪). יודגש שככלל עמק מימן בינוני מכיל בתוכו שימושים של תעשייה ותחבורה, זאת לעומת עמק מימן קטן שהוא מאוד ממוקד ובעיקר מתרכז ברכיב התחבורה. **ככלל המדינות משקיעות בממוצע 34% מעלות הפרויקט אך רוב הפרויקטים יכולים לקבל גם תמיכה מהאיחוד ו/או מהרשות האזורית (ה-state) בהתאם לכך התמיכה הציבורית הממוצעת יכולה להגיע לאף מעל 50**

תחום	צעד / פעולה	סטטוס
תשתיות	קידום מספר תחנות תדלוק ייעודיות	קיימת תחנת תדלוק למימן ביגור, עם שלוש משאיות. המשרד ממשיך לקדם סבסוד תחנת מימן ומשאיות הפועלות על תחליפי דלקים
	עידוד ייצור אזורי של מימן ירוק	קידום תמ"א 18 (תחנות דלק) שתאפשר מבחינה סטטוטורית שימוש במימן בתחנות תדלוק
	מיפוי אזורים לאגירת מימן בתת הקרקע	המשרד מלווה פרויקטים לייצור מימן ירוק המובילים על-ידי המגזר הפרטי וחברות ממשלתיות
	בדיקות היתכנות להובלת מימן בצנרת הגז הטבעי	עבודת חקר להיתכנות שימוש בתת הקרקע העמוק ובמיפוי אזורים להטמנת פד"ח, הפקה ואגירת אנרגיה. תוצאות העבודה יפורסמו בדו"ח נפרד בהמשך
	תמ"א למימן	רשות הגז הטבעי, בשיתוף החברה הממשלתית נתג"ז (נתיבי גז טבעי לישראל) עורכת בחינה מעמיקה של השפעות תחום המימן המתפתח בישראל על תשתיות הגז הטבעי
	השקעה נרחבת במו"פ, פרויקטי הדגמה, עמקי מימן	החלה עבודה לטובת מסמך מדיניות תכנוני, שבעתיד יהווה את בסיס לכתיבת תמ"א למימן
מחקר ופיתוח	קידום שטחי נסיינות פיסיים	בשנת 2023 קיבלת המדע"ר 14 הצעות במסלול הזנק-חלוץ ו-15 הצעות מהאקדמיה, במסגרת הקול הקורא. ההצעות עברו הליך דירוג איכות, בסופו אושרו במהלך 2024 3 פרויקטים במסגרת הזנק-חלוץ בגובה מענק של 4 מלש"ח ו-9 באקדמיה בהיקף של 3.8 מלש"ח
	בחינת היתכנות של אנרגיות מתחדשות בים	בעבודת מטה
	יציאה ל RFI בינלאומי	הכנת מכרז יציאה לסקר אסטרטגיה סביבתי וקידום פיילוט PV צף בים
עמק מימן	גיבוש מתווה מותאם לצרכים בישראל	המשרד פרסם בקשת מידע (RFI) לעמק מימן בדצמבר 2023
	הקמה של עמקי מימן	בהתאם לתוצאות ה- RFI יגובש מתווה לאחר גיבוש המתווה, יגובש המסלול המתאים ביותר לקידום הנושא
	הקמת פורום מימן רב-מגזרי	המשרד יצא במהלך ינואר 2024 בקול קורא להקמת פורום מימן רב-מגזרי
מדיניות ורגולציה	שילוב החברות הממשלתיות בלמידה וביצוע	בעבודת מטה
	ליווי פרויקטים ופיילוטים קיימים במשק	ליווי הפרויקטים השונים במשק על ידי אגפי המשרד, ככל שנדרש
	קידום תקינה בטיחות מתקנים ותשתיות	בעבודת מטה
	תיקוני חקיקה ממוקדים	בעבודת מטה
	קידום מתווים רגולטוריים לנסיינות	בעבודת מטה
	הכשרת כח אדם ייעודי	צעד מדיניות שנוסף בעקבות הערות הציבור, שיפורט בהרחבה בעדכון השנתי באסטרטגיה
	ביצוע סקר מימן בתעשייה	בימים אלו מבוצע סקר מימן בתעשייה, בשיתוף פעולה עם התאחדות התעשיינים. תוצאות הסקר עם הביקושים העתידיים למימן, ישולבו בעדכון העבודה השנתי
	קידום מזכר הבנות לשת"פ עם מדינות אירופה לייבוא מימן ירוק וקידום מו"פ	בעבודת מטה
שת"פ בינלאומי	קידום שת"פ עם מדינות שכנות בתחום המימן	בעבודת מטה
	קידום ניתוח טכנו-כלכלי אודות דרכי ההובלה הכדאיות של מימן	בעבודת מטה
		בעבודת מטה

טבלה 8 - מפת הדרכים - סטטוס הצעדים שהותוו והפעולות שנעשו בטווח הקצר-בינוני

תודה

