

# טכנולוגיות עתידיות למתקני אנרגיה במרחב הימי

דורית הוכנר - אגף  
בכיר תכנון פיזי

11/2024



# יתרונות המרחב הימי בתכנון תשתיות אנרגיה

## מענה למחסור בקרקע זמינה ביבשה

- ✓ שטח המרחב הימי של ישראל עומד על כ- 26,101 קמ"ר, מהם כ- 4,079 קמ"ר הם מים טריטוריאליים וכ- 22,000 קמ"ר מים כלכליים גדול יותר מהמרחב היבשתי (22,145 קמ"ר)
- ✓ תוספת שטח זמין / חלופה לצורך מתן מענה לתשתיות הנדרשות

לא מתחרה עם שימושי קרקע יבשתיים (יח"ד, מבני ציבור, אזורי תעשייה)

## לא בקרבת אוכלוסייה:

- ✓ מרחקי בטיחות
- ✓ מצמצם התנגדויות NIMBY!?





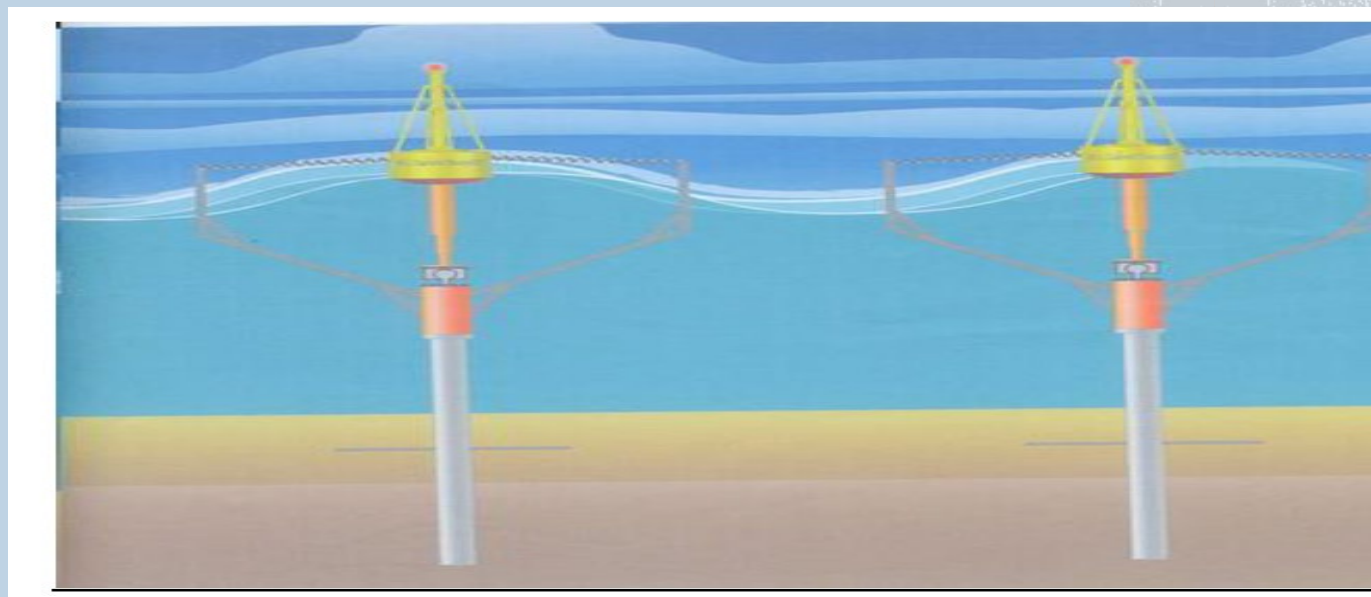
# יתרונות המרחב הימי בתכנון תשתיות אנרגיה

שימוש במי הים ובגלים:

✓חסכון במים לקירור ככל וזה נידרש

✓לייצור אנרגיה

✓הגדלת הגיוון הטכנולוגי



# אתגרים במרחב הימי בתכנון תשתיות אנרגיה

## חסרונות המרחב הימי:

- ✓ צורך בחיבור התשתיות הימיות ליבשה - לאזורי הביקוש
- ✓ עלויות גבוהות לצרכי הייצור והחיבור
- ✓ אי ודאות ביחס להשפעה על הסביבה הימית
- ✓ נצפות ושמירה על המרחב הימי ומניעת פגיעה בים
- ✓ קושי להגן על התשתיות במרחב הימי
- ✓ מי קובע בים במים הכלכליים? איזו חקיקה?

### תשתיות על הכוונת: הכטב"מים של נסראללה הם רק הקדימון לקרב על האסדות

מלבד כלי הטיס ששיגר חיזבאללה לאסדת כריש, מחזיק הארגון בארסנל נשק מאיים שכולל, בין היתר, טילי חוף-ים רוסיים מסוג יאחונט ומל"טים "מתאבדים". המענה המרכזי של צה"ל יגיע מ-4 ספינות הקרב מטיסנקרופ שהופכות כעת למבצעיות

יובל אזולאי 06:10, 05.07.22





אז מה יש לנו בים?

**תמ"א 37/ח - עיגנה אפשרויות למתקני טיפול בגז טבעי והעברת צינורות רצועה לכבלי חשמל בים - בימים אלו מקודמת תוכנית לרצועת תשתיות כבלי חשמל עם חברת AMCG AVIV**

**מסמך מדיניות תכנוני - מקודם מסמך מדיניות תכנוני ובהמשך תמ"א למתקני תשתיות בים בהובלת אהרון בר דוב וחברת פז הנדסה**

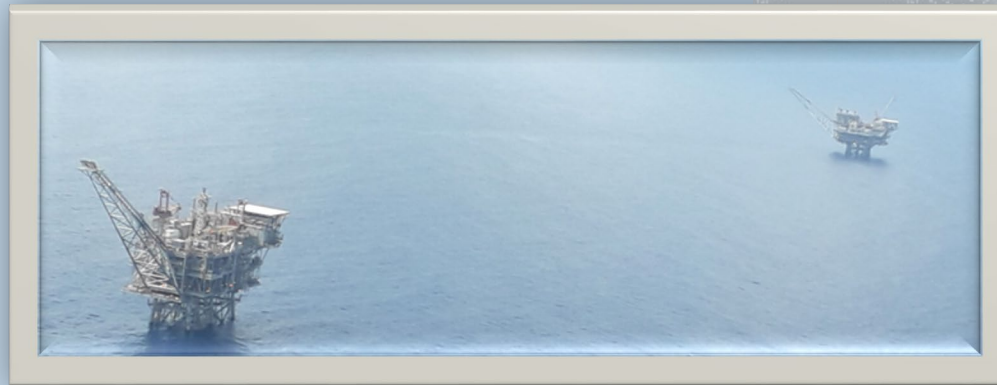
ומה נבקש עוד לשמור?

**תחנות כוח - ייצור קונבנציונלי**

**מתקני ייצור אנרגיה מתחדשת כמו ביבשה**

**מתקני ייצור אנרגיה מתחדשת בטכנולוגיות חדשות (מו"פ)**

**מתקנים בטכנולוגיות שנמצאות "בתחילת הדרך" או טרם "עלו לארץ"**



# תחנות כוח צפות מבוססות טורבינות גז מוסקות בגז טבעי

## תחנות כוח צפות מבוססות טורבינות גז במחזור פתוח ומחזור משולב המורכבות על גבי ספינות ואוניות

# ייצור קונבנציונלי





# ייצור קונבנציונלי

## יתרונותיהן של תחנות כוח קונבנציונליות צפות:

- ניידות
- גמישות ולא נדרשות להפקעת קרקע
- זמן אספקה קצר בשל שימוש נרחב בחלקים מוכנים מראש ותפיסת Plug & Play משופרת, שיטה המפחיתה השקעות הכוללות בפרויקט, מה שהופך את התחנות האלה למעניינות עבור יישומים שונים.
- ניתן למקם הן בקרבת החוף והן בלב הים, בקרבת אסדות הפקת גז טבעי ובכך פחות משפיעות על איכות האוויר ביבשה, מאידך נידרש כבל חיבור ארוך יותר



# אנרגיה מתחדשת בים ייצור פוטו וולטאי - PV

## שדות צפים של פנלים פוטו-וולטאים - PV

ייצור אנרגיה סולארית מחייבת שטחים גדולים ובישראל הקטנה והצפופה זה יותר קונפליקטים עם שימושי הקרקע ומגמות הבנייה והפיתוח

1. **מערכות PV על מבנים קבועים** המעוגנים לקרקעית הים ע"י כלונסאות. ניתנות ליישום במים רדודים, באזורים שבהם אין סיכון לשקיעת קרקע או למפגעים גיאולוגיים אחרים.

**דוגמאות:** בריכות חקלאות ימית, בריכות מלח ובריכות ניקוז. גישה זו תומכת בשילוב מערכת אנרגיה המשלבת ייצור חשמל פוטו-וולטאי, עם חוות לגידול דגים.

2. **מערכות צפות** המחוברות עם עוגנים - Floating PV - FPV.

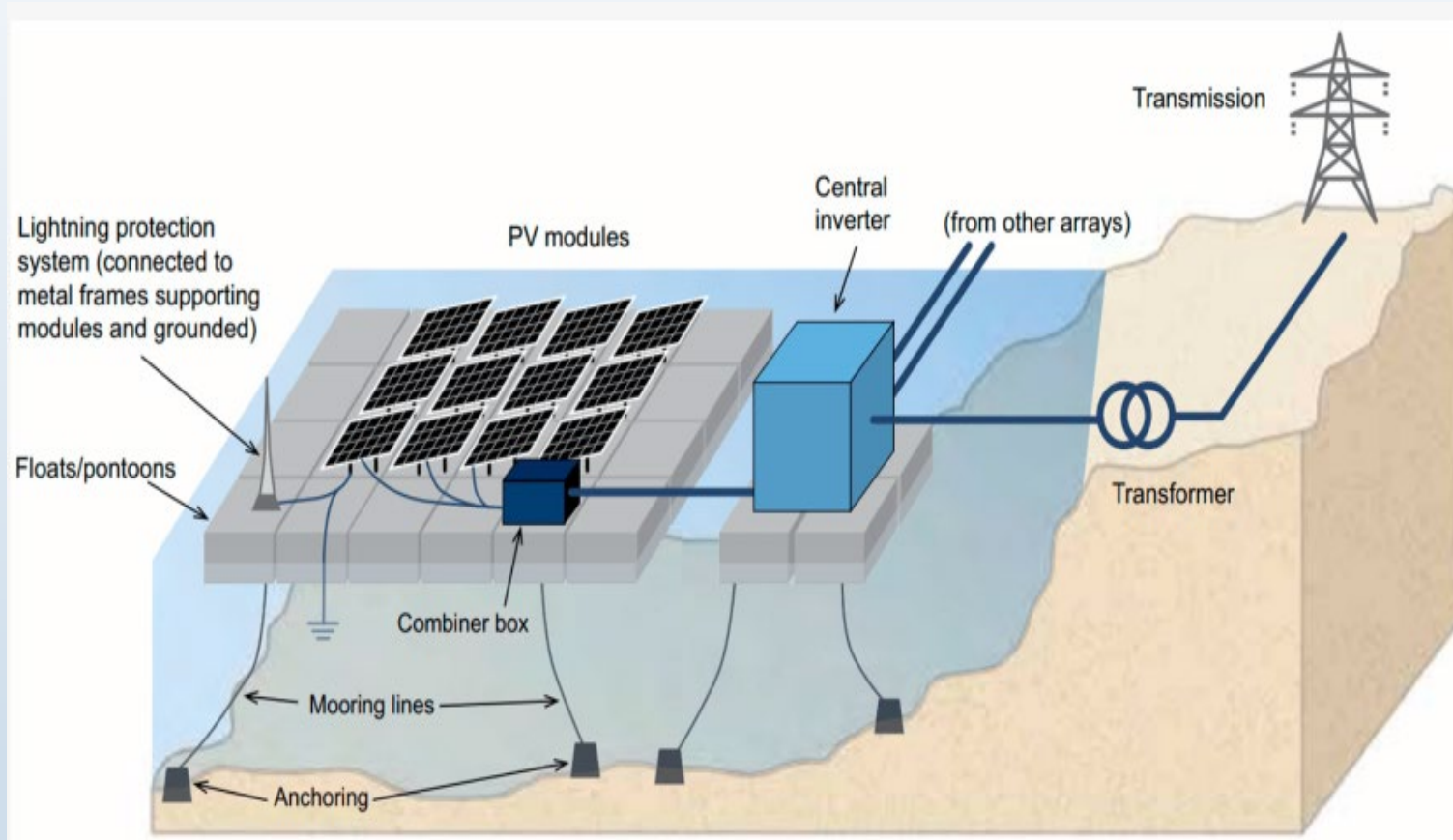
מוגבלות בטווח בגלל מערכת עגינה מרובת נקודות, כדי להפחית את השפעת כוח הגלים. הלוחות הפוטו-וולטאים מותקנים בגובה על המודולים הצפים כדי למנוע השפעה ישירה של גלי ים עליהם, מחשש לקורוזיה מואצת.





# אנרגיה חשמלית ממערכות סולאריות במרחב הימי והולכת ליבשה

## אנרגיה מתחדשת בים ייצור פוטו וולטאי - PV





# אנרגיה מתחדשת בים ייצור פוטו וולטאי - PV

- **מתקני PV במרחב הימי** בעלי נצילות גבוהה יותר בגלל קרבה לפני הים, שהם בטמפרטורה נמוכה יותר מטמפרטורת האוויר, המאפשרת קירור יעיל יותר של הפאנלים.
  - **תחנות כוח סולריות** במרחב הימי הן לעת עתה קטנות יחסית ונמצאות בשלבי פיתוח.
  - אחת הטכנולוגיות למערכת של מודולים צפים המיועדים לשאת פנלים פוטו-וולטאים מורכבת מממברנה גמישה וגוף צף עגול מפוליטילן צפוף.
- הפאנלים הפוטו-וולטאים ממוקמים על המשטח הגמיש של הממברנה, כפי שמוצג באיור:





## בעולם

- **סיין - Huaneng Dezhou Dingzhuang** - פרוייקט FPV בהספק של 320 מגוואט שהוקם בשנת 2021, משתמש בטכנולוגיות הפוליאתילן בצפיפות גבוהה ומערכות FPV צפות.
- **אינדונזיה** - חברת החשמל האינדונזית PLN וחברת MASDAR מאבו דאבי, הקימו תחנת כוח סולארית צפה בהספק של 192 מגוואט. התחנה הופעלה בשנת 2023 במאגר כוח הידרו של Cirata במערב ג'אווה, אינדונזיה. תחנת הכוח, נבנתה על שטח של 250 דונם. זהו גם הפרויקט הגדול ביותר מסוג זה בעומק מים של 100 מטר, ותנודת מפלס מים של 18 מטר.
- **מיצר ג'והור (בין מלזיה לסומטרה) – ב** - 2019 הוקם פרויקט בהספק של 5 מגוואט. מורכב מ-13,312 פאנלים סולאריים ויותר מ-30,000 מצופים.
- **הולנד ונורבגיה** - מובילות פרויקטי פיילוט ראשוניים לבדיקת מערכות ייצור פוטו-וולטאיות צפות בים הפתוח.

## אנרגיה מתחדשת בים ייצור פוטו וולטאי – PV



# אתגרים והיבטים נוספים

- **תנאי ים פתוחים** מקשים על עמידות המערכת בפני גלים, רוחות וסחף

- **עלות ההקמה והתחזוקה של פרויקטים** כאלה עדיין גבוהה יחסית ומהווה אתגר כלכלי

- **פאנלים סולאריים צפים** ובעיקר המבנים התומכים בהם נמצאים **בהליכי ייעול ופיתוח**



## אנרגיה מתחדשת בים ייצור פוטו וולטאי - PV





# ייצור אנרגיה בטורבינות רוח

## 2 טכנולוגיות ייצור של טורבינת רוח:

- ✓ טורבינות בעלות ציר סיבוב אופקי
- ✓ וטורבינות בעלות ציר סיבוב אנכי.

## רוב היישומים הימיים מתבססים על טורבינות רוח עם ציר סיבוב אופקי, בעיקר עקב הספקן הגבוה

**החיסרון שלהן** - גבוהות ועלולות להוות סכנה לציפורים ככל ומצויות בתוואי מסלולי הנדידה.

- **יעילות** - טורבינות רוח עם ציר סיבוב אנכי נמוכות יותר, הן יעילות יותר ב-15% מטורבינות רוח קונבנציונליות בציר אופקי, מייצרות פחות מערבולות וניתנות לפריסה יעילה יותר במרחב, ודורשות פחות מרחק בין הטורבינות.
- **גובה** - סוגיית הניצפות קשורה לגובה הטורבינה להספקה, טורבינות רוח עם ציר אופקי הגובה נע בין 150 מ' לטורבינה בהספק של 3 מגוואט לבין 185 מ' לטורבינה בהספק של 6 מגוואט. טורבינת רוח עם ציר סיבוב אנכי שמושפעת יותר מהקוטר, למשל טורבינה בגובה 55 מ' מעל פני הים היא בעלת הספק של 1 מגוואט.

# אנרגיה מתחדשת בים – טורבינות רוח



## טכנולוגיות ייצור ברוח



## אנרגיה מתחדשת בים – טורבינות רוח





# אנרגיה מתחדשת בים – טורבינות רוח

## יתרונות

- ✓ מלאי יחסית זמין של שטחים ומרחק בין היחידות
- ✓ השפעה מצומצמת יחסית של הנצפות
- ✓ אין השפעה על אוכלוסייה בנושא הרעש
- ✓ פוטנציאל רוח בים - דבר שנדרש לבחינה בישראל
- ✓ הובלה והתקנה במרחב הימי פשוטות יותר?

## חסרונות

- ✓ טורבינות רוח ימיות יקרות יותר ומורכבות יותר להתקנה ותחזוקה בשל תנאי הים המשתנים, דוגמת רוחות, קורוזיה, שיטות עיגון יקרות יותר, ועוד.

## בעולם

- ✓ שדות של טורבינות רוח קיימות בים הצפוני וגם באזור הים התיכון
- ✓ מדינות: בריטניה, נורבגיה, גרמניה והולנד, באגן הים התיכון - ספרד, פורטוגל



# גלי הים

אנרגיית גלים מייצרת חשמל באמצעות לכידת האנרגיה הקינטית המופקת מהתנועה המחזורית של גלי הים. משמשת להפעלת טורבינה ולייצור חשמל.

השיטה יקרה, המתקנים צפים או שקועים בים או באוקיינוס ומחוברים למבנים מלאכותיים קיימים כמו רציפים או שוברי גלים. כאשר גלים עוברים מעל המתקנים הצפים הם יוצרים תנועה אנכית המניעה מערכת הידראולית אשר מייצרת חשמל.



## טכנולוגיות חדשות אפשרויות רק בים - גלים





# טכנולוגיות חדשות אפשרויות רק בים - גלים

## אתגרים

- עלות ההקמה והתחזוקה של מתקני אנרגיית גלים עדיין גבוהה יחסית למקורות אנרגיה אחרים.
- חשש להשפעות הסביבתיות של מתקני אנרגיית גלים על החי והצומח הימי.
- הטכנולוגיות הקיימות עדיין נמצאות בשלבי פיתוח, ויש צורך בשיפור היעילות והאמינות.
- חוסר עמידות של מתקנים מסוג זה בסערות וגלים חזקים.



## שימוש באנרגיה של זרמים ימיים

- באזורים המוכרים בעלי גאות ושפר משמעותיים תנועת המים מסובבת את להבי הטורבינה, שבתורם מניעים גנרטור המייצר חשמל.
- קיימות מספר טכנולוגיות ניסיוניות בתחום. הנפוצה שבהם היא באמצעות הקמת סכר הנבנה בניצב לחוף המשתמש בהפרשי הגבהים לטובת הנעת טורבינות.

## בעולם

קיימים מספר פרויקטים בודדים במפרצי ים או בנהרות.

**בקוריאה הדרומית** נבנה סכר באורך של כ- 30 קילומטרים בניצב לחוף ומצויד בטורבינות רבות.

סכר של 40 ק"מ יכול להכיל 2,000 טורבינות של מגה וואט אחד כל אחת.

טכנולוגיות חדשות  
– אפשריות רק בים –  
זרמים ימיים





## שימוש באנרגיה של זרמים ימיים



טכנולוגיות חדשות  
– אפשריות רק בים –  
זרמים ימיים - גאות  
ושפל



## שימוש באנרגיה של זרמים ימיים

• אתגרים:

• הקמת מתקני אנרגיית גאות ושפל היא יקרה.

• סכרים גדולים יכולים להשפיע על זרימת המים, על החי והצומח הימי ועל תהליכים אקולוגיים, וטכנולוגיות נוספות נמצאות בשלבים ניסיוניים מאוד.

• לא כל אתר מתאים להקמת מתקן אנרגיית גאות ושפל -

**בישראל - לא קיימת היתכנות משמעותית בישראל עקב תנאי הים**

**טכנולוגיות חדשות  
אפשריות רק בים –  
זרמים ימיים - גאות  
ושפל**





## הטמנת פחמן דו-חמצני (CO<sub>2</sub>) במרחב הימי

## הטמנת פחמן - במרחב הימי

לכידה ואחסון פחמן (CCS - Carbon Capture & Storage) -  
תהליך הפרדה, לכידה ואחסון של פחמן דו-חמצני הנפלט  
במהלך תהליכים תעשייתיים או ייצור חשמל.

לכידת פחמן דו-חמצני - CO<sub>2</sub> ואגירתו במבנים גיאולוגיים  
מתאימים, במרבצי גז טבעי או נפט גולמי מנוצלים וריקים  
בקרקעית האוקיינוסים, מהווה אחת הדרכים **להקטין פלטת  
גזי חממה לאטמוספירה.**

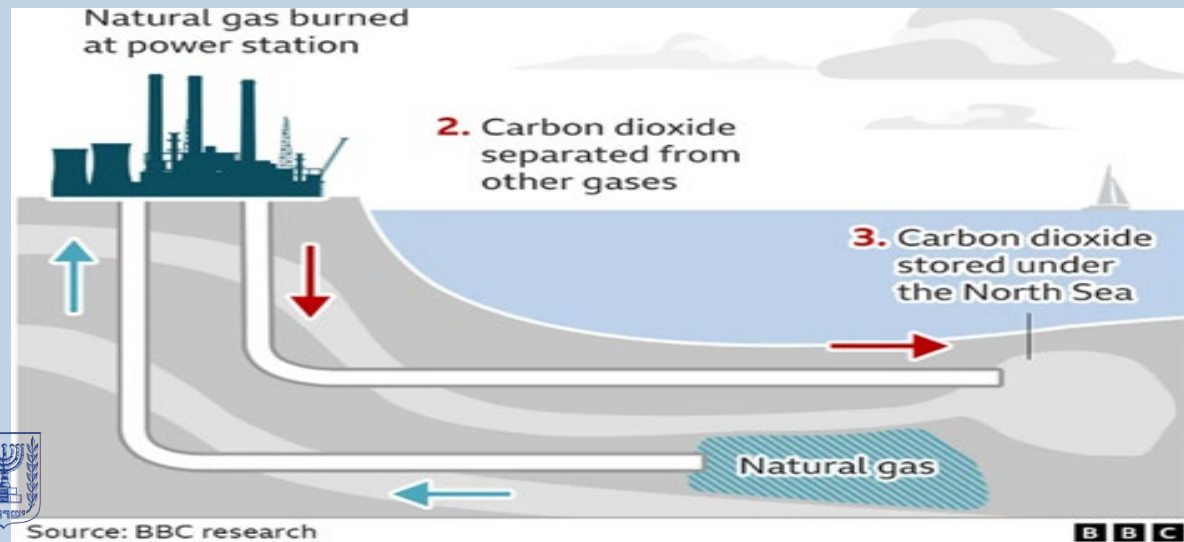


# הטמנת פחמן דו-חמצני (CO2) במרחב הימי

התהליך מורכב ממספר שלבים:

- לכידת הגז
- דחיסתו והנזלתו,
- העברה למקום ההטמנה ברכבות, בצנרת או באוניות מותאמות לכך
- הזרמתו לחלים המיועדים לכך

## הטמנת פחמן - במרחב הימי





## הפקת מימן במרחב הימי

- **הפקת מימן במרחב הימי** צוברת תאוצה כפתרון פוטנציאלי למספר אתגרים אנרגטיים עולמיים. מימן, כנשא אנרגיה, מציע צפיפות אנרגיה גבוהה ואינו פולט פחמן דו-חמצני בעת השימוש בו, מה שהופך אותו לחלופה אפשרית לדלקים פוסיליים.
- השיטות העיקריות להפקת מימן בים:

- ✓ **אלקטרוליזה** - תהליך שבו מפרקים מים לחמצן ומימן באמצעות חשמל. חשמל זה יכול להגיע ממקורות מתחדשים כמו טורבינות רוח או פאנלים סולאריים המותקנים בים.
- ✓ **גז טבעי** - ניתן להשתמש בגז הטבעי כמקור אנרגיה להפקת מימן בתהליך הנקרא רפורמינג של מתאן, עם זאת, תהליך זה פולט פחמן דו-חמצני, ואינו מהווה תהליך הפקה מקיים למימן ולכן לכידת המימן והטמנתו היא בעלת משמעות.

**מתקנים להפקת מימן לרוב מותקנים על פלטפורמות ימיות, באופן דומה לאסדות הגז, או אוניות באופן דומה לתחנות כח.**



# הפקת מימן - במרחב הימי

## ■ אתגרים והזדמנויות:

- **עלות** - הטכנולוגיות לייצור מימן עדיין יקרות יחסית, גם ביבשה וגם בים, והקמתם כרוכה בעלויות גבוהות.
- **טכנולוגיות** רבות עדין נמצאות בפיתוח או בעלות יעילות נמוכה ועל כן לא נפוצות עדין בעולם.
- **אחסון והובלת** מימן מציבים אתגרים משמעותיים, הן מבחינה טכנולוגית והן מבחינה בטיחותית, כיום מבוצע בעיקר בבתי זיקוק ומפעלים משמעותיים בעולם.
- **סביבה** - יש צורך לבצע הערכות השפעה על הסביבה כדי להבטיח שהפקת מימן בים לא תגרום נזק למערכות האקולוגיות הימיות.
- עלויות גבוהות של הפקת המימן בתוספת לעלויות ההקמה הגבוהות בים עלולים להביא לחוסר כדאיות כלכלית של המימן.





איתור ושמירת שטחים לטובת משק האנרגיה:

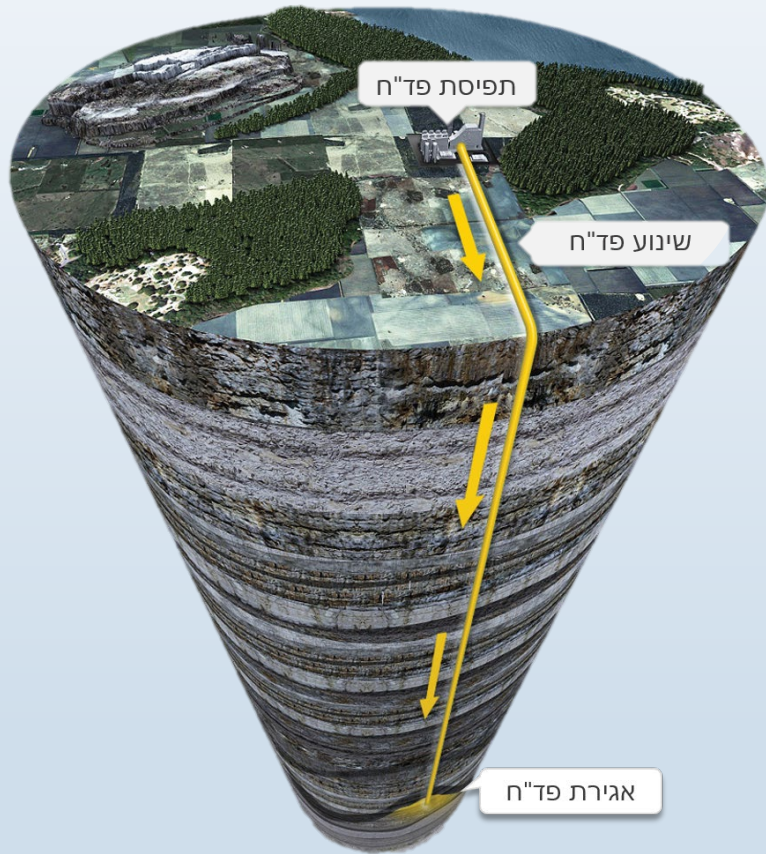
תמורות שיחולו

חדשנות והטכנולוגיות

הפחתת פליטות

ועליה ברמת ואיכות חיים

אמינות אספקה



## לאן פנינו בתכנון המרחב הימי?







**תודה**

