

Η Μετάβαση της Κύπρου στην Οικονομία Υδρογόνου: 2030–2060 Προοπτική Σύζευξης Ενέργειας–Νερού–Μεταφορών

Απρίλιος 2025

Περίληψη

Αυτή η σύντομη ανασκόπηση παρουσιάζει τα αποτελέσματα προσομοίωσης που αξιολογεί τη μετάβαση της Κύπρου σε μια οικονομία βασισμένη στο υδρογόνο από το 2030 έως το 2060. Για να διερευνηθεί η σύζευξη ενέργειας–νερού–μεταφορών, αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης για να μελετηθεί πώς οι τομείς της ενέργειας, του νερού και των μεταφορών αλληλοεπιδρούν μέσω συντονισμένων επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, υποδομές υδρογόνου και συστήματα ενέργειας βασισμένα σε μικρούς αρθρωτούς αντιδραστήρες. Η μελέτη βασίζεται στην επιθετική ανάπτυξη του πράσινου υδρογόνου, την απόσυρση ορυκτών καυσίμων και τη σταδιακή ενσωμάτωση των μικρών αρθρωτών αντιδραστήρων. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης δείχνουν:

- **100% μείωση** στις εκπομπές CO₂ έως το 2060 μέσω στρατηγικής ανάπτυξης υδρογόνου
- **40% διείσδυση** του υδρογόνου στον τομέα των μεταφορών έως το 2060
- **66% μείωση** στο κόστος παραγωγής πράσινου υδρογόνου έως το 2060
- **100% μείωση** στους περιορισμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με συνδυασμό μονάδων ηλεκτρόλυσης υδρογόνου και ηλεκτρικών διασυνδέσεων
- Οι κυψέλες καυσίμου παρέχουν αυξανόμενο μερίδιο στην παραγωγή ηλεκτρισμού και στην ενέργεια στις μεταφορές, μειώνοντας τις εκπομπές ορυκτών καυσίμων
- Οι μικροί αρθρωτοί αντιδραστήρες με παραγωγή ροζ υδρογόνου παίζουν κρίσιμο ρόλο μετά το 2035
- Η παραγωγή νερού συμβαδίζει με τη ζήτηση μέσω μονάδων αφαλάτωσης που τροφοδοτείται από μικρούς αρθρωτούς αντιδραστήρες, εξασφαλίζοντας υδατική ασφάλεια

Επισκόπηση του Μοντέλου Βελτιστοποίησης

Η προσομοίωση περιλαμβάνει:

- Επέκταση ανανεώσιμων πηγών: Ετήσια αύξηση της ικανότητας ηλιακής και αιολικής ενέργειας
- Προτεραιότητα υδρογόνου: Προτεραιότητα στο πράσινο υδρογόνο, ακολουθούμενο από το ροζ και το μπλε (παραγωγή από φυσικό αέριο)
- Διασυνδέσεις: Δυνατότητες εισαγωγής/εξαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έως 1,000MW
- Διαχείριση νερού: Ενσωμάτωση μονάδων αφαλάτωσης για υποστήριξη της αυξανόμενης ζήτησης νερού

Κύρια Αποτελέσματα

Μείγμα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το μείγμα παραγωγής δείχνει μετατόπιση από τα ορυκτά καύσιμα προς τις ανανεώσιμες πηγές και τους μικρούς αρθρωτούς αντιδραστήρες (SMRs):

- Η ηλιακή ενέργεια αυξάνεται από 800MW σε πάνω από 7,000MW έως το 2060
- Η χρήση ορυκτών καυσίμων (μαζούτ, ντίζελ και φυσικό αέριο) σταδιακά αποσύρεται από το 2030 και μετά, μειώνοντας σημαντικά τις εκπομπές CO₂
- Οι SMRs εισάγονται το 2035 υποστηρίζοντας το ροζ υδρογόνο και την αφαλάτωση νερού, φτάνοντας τα 2,860MW έως το 2060
- Οι κυψέλες καυσίμου συνεισφέρουν 5–8% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2060

Ανάπτυξη της Οικονομίας Υδρογόνου

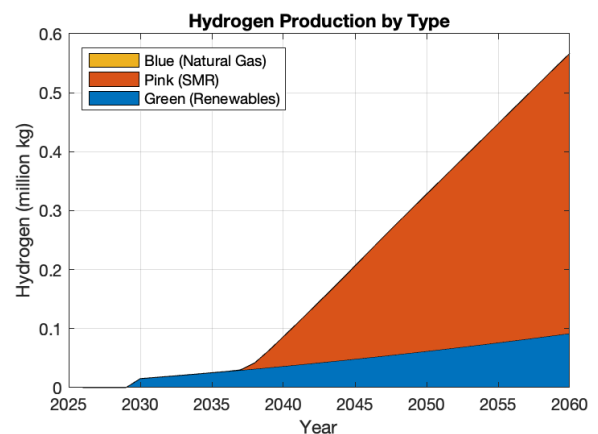
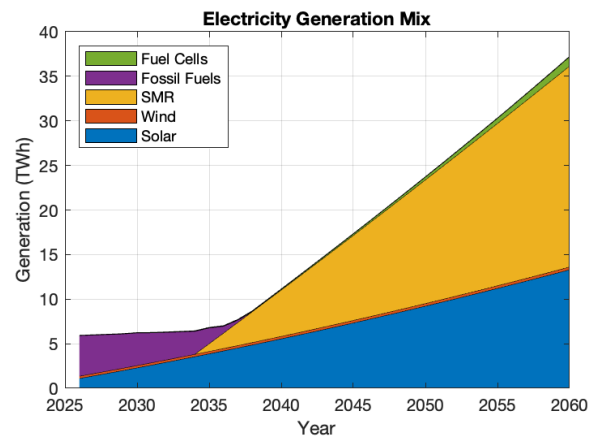
Κύριες τάσεις παραγωγής υδρογόνου:

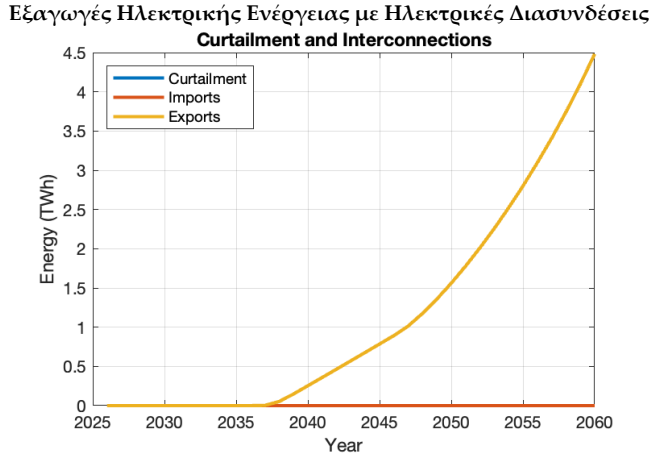
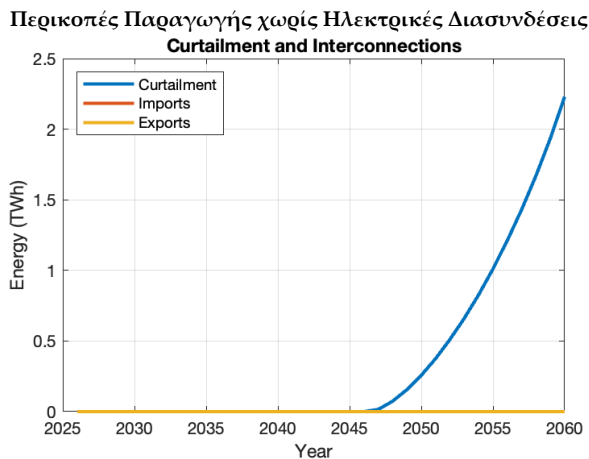
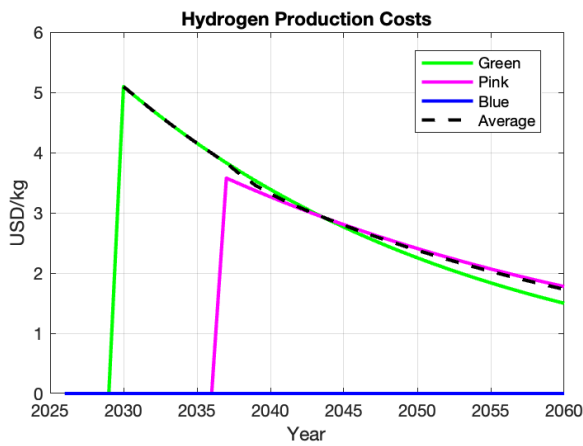
- Η παραγωγή υδρογόνου φτάνει πάνω από 500,000 τόνους ετησίως έως το 2060
- Η ζήτηση υδρογόνου στις μεταφορές αυξάνεται κατά 10% ετησίως, φτάνοντας πάνω από 200,000 τόνους ετησίως έως το 2060
- Προτεραιότητα στην παραγωγή πράσινου υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές έναντι του ροζ υδρογόνου από SMRs
- Το ροζ υδρογόνο αυξάνεται μετά το 2035 με την ανάπτυξη των SMRs, παρέχοντας βασική παραγωγή
- Το κόστος παραγωγής πράσινου υδρογόνου μειώνεται κάτω από 2US\$/kg μετά το 2050
- Το μέσο κόστος υδρογόνου σε όλο το ενεργειακό σύστημα φτάνει τα 1,78US\$/kg έως το 2060

Οικονομική Προοπτική

- Αρχικά οι κεφαλαιουχικές επενδύσεις εστιάζονται στην ραγδαία αύξηση των υποδομών υδρογόνου
- Οι εξαγωγές μέσω ηλεκτρικών διασυνδέσεων αυξάνονται, παρέχοντας νέες πηγές εσόδων
- Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες κορυφώνονται το 2035 κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των SMRs

Λεπτομερή Αποτελέσματα





Σύζευξη Νερού-Ενέργειας

- Το αφαλατομένο νερό αυξάνεται από 219Mm³/έτος σε 416Mm³/έτος
- 100% της αφαλάτωσης νερού τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές και SMRs έως το 2060
- Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης συνεντοπίζονται με εγκαταστάσεις υδρογόνου, μειώνοντας το κόστος
- Η αποθήκευση υδρογόνου επιτρέπει τη μετατόπιση της ζήτησης ενέργειας για αφαλάτωση
- Ο συνεντοπισμός μειώνει το κόστος υποδομής κατά 20–30%

Παραγωγή Νερού έναντι Ζήτησης

| Έτος | Παραγωγή Νερού (Mm ³) | Ζήτηση Νερού (Mm ³) |
|------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 2030 | 231 | 276 |
| 2035 | 265 | 290 |
| 2040 | 292 | 305 |
| 2045 | 321 | 321 |
| 2050 | 351 | 337 |
| 2055 | 383 | 354 |
| 2060 | 416 | 373 |

Σύζευξη Μεταφορών-Ενέργειας

- Μονάδες ηλεκτρόλυσης για μεταφορές: 1300MW έως το 2060
- Αποθήκευση υδρογόνου για μεταφορές: ικανότητα 5.000 τόνων
- Σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου συνεντοπισμένοι με υπάρχοντα πρατήρια καυσίμων
- Αρχική εστίαση σε οχήματα στόλου και λεωφορεία (2026-2035)
- Μετάβαση σε βαρέα φορτηγά (2035-2045)
- Εφαρμογές στη ναυτιλία μετά το 2040

Τομέας Μεταφορών με Υδρογόνο

| Έτος | Κυψέλες Καυσίμου (MW) | Οχήματα H ₂ | Κατανάλωση H ₂ (τόνοι/έτος) | Σταθμοί Ανεφοδιασμού |
|------|-----------------------|------------------------|--|----------------------|
| 2030 | 250 | 12,000 | 17,520 | 12 |
| 2035 | 450 | 35,000 | 51,100 | 20 |
| 2040 | 800 | 80,000 | 116,800 | 30 |
| 2045 | 1,100 | 130,000 | 189,800 | 40 |
| 2060 | 1,500 | 200,000 | 292,000 | 50 |

Οικονομικές Επιπτώσεις

- Μέση ετήσια επένδυση: 1.0 US\$/έτος
- Σωρευτική μείωση εισαγωγών καυσίμων: 38.2 US\$
- Σωρευτική αποφυγή για αγορά δικαιωμάτων διοξειδίου του άνθρακα: 14.6 δισ. US\$
- Επίδραση στην τιμή ηλεκτρικής ενέργειας: +12% κατά τη μετάβαση (2026-2035), -8% έως το 2060
- Εξοικονόμηση ενέργειας αφαλάτωσης νερού: 18% έως το 2040, 28% έως το 2060
- Εξοικονόμηση συνολικού κόστους κατοχής οχήματος: 3,200US\$/όχημα/έτος έως το 2040

Συνολικά Κόστη Συστήματος (2026-2060, δισ. US\$)

| Στοιχείο | Κεφαλαιουχικές Δαπάνες | |
|----------------------|------------------------|--------------|
| | Κεφαλαιουχικές | Λειτουργικές |
| Παραγωγή Ηλεκτρισμού | 18.2 | 12.5 |
| Παραγωγή Υδρογόνου | 8.4 | 6.2 |
| Αφαλάτωση Νερού | 3.1 | 2.8 |
| Υποδομή Μεταφορών | 4.5 | |
| Σύνολο | 34.2 | 24.6 |

Συστάσεις Ενεργειακής Πολιτικής

Με βάση τη μοντελοποίησή συνιστάται:

1. Ταχεία επένδυση σε υποδομές μονάδων ηλεκτρόλυσης για να επιτραπεί η γρήγορη ανάπτυξη του πράσινου υδρογόνου
2. Ελεγχόμενη απόσυρση ορυκτών καυσίμων ξεκινώντας από το 2030 με πλήρη απόσυρση έως το 2045
3. Ανάπτυξη SMRs ξεκινώντας από το 2035 για παροχή καθαρής ισχύος βάσης
4. Κίνητρα στον τομέα των μεταφορών για να επιτευχθεί 40% διείσδυση υδρογόνου έως το 2060
5. Σχεδιασμός σύζευξης νερού-ενέργειας για συντονισμό αφαλάτωσης με τη διαθεσιμότητα ανανεώσιμης ενέργειας
6. Ανάπτυξη υποδομής ανεφοδιασμού υδρογόνου ξεκινώντας από τους κύριους διαδρόμους μεταφορών
7. Εφαρμογή κανονιστικού πλαισίου για την ενσωμάτωση των SMRs
8. Δημιουργία συνεργασιών εξαγωγής υδρογόνου με γειτονικές Ευρωπαϊκές χώρες

Συμπέρασμα

Η μετάβαση της Κύπρου στην οικονομία υδρογόνου είναι τεχνικά εφικτή και οικονομικά βιώσιμη. Η προσέγγιση της σύζευξης ενέργειας-νερού-μεταφορών δείχνει πώς οι στρατηγικές επενδύσεις μπορούν ταυτόχρονα να επιτύχουν:

- Σημαντική απανθρακοποίηση στον τομέα ηλεκτροπαραγωγής (100% μείωση εκπομπών CO₂)
- Ενεργειακή ασφάλεια μέσω διαφοροποιημένων πηγών
- Ασφάλεια νερού μέσω συντονισμένης αφαλάτωσης
- Εναλλακτικό καθαρό καύσιμο για τον τομέα των μεταφορών