



Τμήμα Περιβάλλοντος
Σχολή Τεχνολογίας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Π.Μ.Σ.) με τίτλο
«Διαχείριση Περιβάλλοντος»

Μάθημα: Διαχείριση Φυσικών Πόρων και Κυκλική Οικονομία (Δ104)

(1^ο εξάμηνο, 6 ECTS)

Τίτλος Θεματικής ενότητας:

Κυκλική οικονομία & ενεργειακός τομέας I

Διδάσκουσα: Επικ. Καθηγήτρια (Θητεία) Dr. ΑΓΑΠΗ ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΟΥ MSc.,
MSc., BSc., BSc., Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, agvasileiadou@uth.gr

Ακαδημ. Έτος 2025-26

Περιεχόμενα

- Εισαγωγή
 - Κυκλική οικονομία-αρχές-στόχος
 - Οφέλη
- Ο ενεργειακός τομέας σήμερα
- Σχέση κυκλικής οικονομίας με τη βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση
- Πλέγμα μεταξύ ενέργειας και κυκλικής οικονομίας
- Ενέργεια – Βασικός παράγοντας για την κυκλική οικονομία
- Κυκλική οικονομία – κρίσιμο στοιχείο για τον ενεργειακό τομέα
- Διαχείριση της ενέργειας στην κυκλική οικονομία
- Διαχείριση κυκλικότητας στον ενεργειακό τομέα
- Ανάγκη μετάβασης σε μια ενεργειακή οικονομία χαμηλών εκπομπών CO₂
- Υψηλή ζήτηση σπάνιων και πεπερασμένων πόρων
- Ανάκτηση υλικών από τον τομέα της καθαρής ενέργειας- προκλήσεις
- Οφέλη στο ενεργειακό σύστημα με χρήση κυκλικής οικονομίας
- Πως βελτιστοποιείται το ενεργειακό σύστημα από άποψη κυκλικής οικονομίας;
- Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα
 - 1. Ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση: Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων, βιομηχανίας, μεταφορών
 - 2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ): Ηλιακή, αιολική, βιομάζα, γεωθερμία, κυματική ενέργεια & Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση υλικών (π.χ. πάνελ, ανεμογεννήτριες)
 - 3. Ενεργειακή αξιοποίηση αποβλήτων: Waste-to-energy, βιοαέριο, κυκλικά συστήματα στη γεωργία & βιομηχανία
 - 4. Αποθήκευση και διαχείριση ενέργειας: Κυκλικός σχεδιασμός μπαταριών, επαναχρησιμοποίηση πρώτων υλών
 - 5. Ψηφιακές τεχνολογίες: Smart grids, IoT, big data για αποδοτική διαχείριση ενέργειας
- Προκλήσεις κυκλικής οικονομίας στις ΑΠΕ
- Κρίσιμα σημεία για τη μετάβαση στη κυκλική ενεργειακή οικονομία
- Προοπτικές για το μέλλον

Εισαγωγή

- Κυκλική οικονομία (κυκλικότητα, circular economy, CE):** ένα «**πράσινο**» μοντέλο ανάπτυξης και αποτελεί στοιχείο του νέου ευρωπαϊκού και **παγκόσμιου οικονομικού μοντέλου** με στόχο τη διατήρηση της αξίας των προϊόντων, των υλικών, και των πόρων για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (παράταση κύκλου ζωής τους), μέσω της επαναχρησιμοποίησης, επισκευής, ανακατασκευής και ανακύκλωσης.
- Κεντρικός στόχος:**
 - Έλαχιστοποίηση** ή/και **μηδενισμό αποβλήτων σε όλα τα στάδια παραγωγής**, αλλά **και μετά το τέλος του κύκλου ζωής των προϊόντων** και
 - Χρήση δευτερογενών υλικών και αποβλήτων ως χρήσιμων υλικών**, προσδίδοντας τη διάσταση της βιωσιμότητας στο

R0 ΑΠΟΡΡΙΨΗ Καθιστούν τα υπάρχοντα προϊόντα απαρχαιωμένα χωρίς ή εισάγοντας εναλλακτικές λύσεις
R1 ΕΠΑΝΑΣΚΕΨΗ Εντατικοποίηση της χρήσης προϊόντων μέσω κοινής χρήσης ή προϊόντων πολλαπλών χρήσεων
R2 ΜΕΙΩΣΗ Παραγωγή και χρήση πιο αποτελεσματικά, με μικρότερες ποσότητες (πρώτων) υλών
R3 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ Περαιτέρω χρήση του ίδιου προϊόντος από άλλον χρήστη
R4 ΕΠΙΣΚΕΥΗ Επισκευή και συντήρηση για συνεχή χρήση από τον ίδιο χρήστη
R5 ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ Ενημέρωση ενός παλιού προϊόντος για να καλύψει τη σημερινή ζήτηση
R6 ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ Λήψη μερών ενός παλιού προϊόντος για την κατασκευή ενός νέου προϊόντος με τις ίδιες προδιαγραφές
R7 ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ Λήψη μερών ενός παλιού προϊόντος για την κατασκευή ενός άλλου προϊόντος
R8 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ Λήψη υλικών από απόβλητα για άλλη χρήση (υψηλότερης ή χαμηλότερης αξίας)
R9 ΑΝΑΚΤΗΣΗ Λήψη υλικών από απόβλητα για την παραγωγή ενέργειας

From a Linear Economy...



Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας:
Λιγότερες πρώτες ύλες, λιγότερα απόβλητα, λιγότερες εκπομπές



<https://www.europarl.europa.eu/>

Πηγή: Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Κονοβουλευτικής Ερευνας

Produce and use in a smart way	R0 REFUSE	Make existing products obsolete by doing without or introducing alternatives
	R1 RETHINK	Intensify the use of products through shared use or multipurpose products
	R2 REDUCE	Produce and use more efficiently, with smaller quantities of (raw) materials
Prolong the lifespan of parts and products	R3 REUSE	Further use of the same product by another user
	R4 REPAIR	Repair and maintain for continued use by the same user
	R5 REFURBISH	Update an old product to meet today's demand
	R6 REMANUFACTURE	Take parts of an old product to make a new product with the same specification
	R7 REPURPOSE	Take parts of an old product to make another product
Make good use of materials	R8 RECYCLE	Take materials from waste for another use (higher or lower value)
	R9 RECOVER	Take materials from waste to generate energy

Η «σκάλα R», που δείχνει την **ιεραρχία 9 στρατηγικών R** κατά σειρά προτεραιότητας

Ο Ενεργειακός Τομέας σήμερα

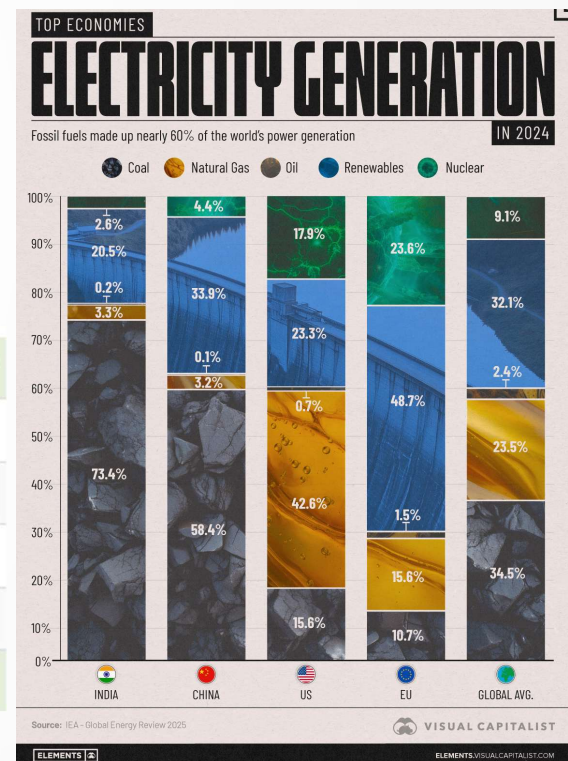
Τρέχουσα κατάσταση του ενεργειακού μείγματος (παγκόσμια & ευρωπαϊκή προοπτική)

- 1. Ανάλυση του ενεργειακού μείγματος σε παγκόσμια, ευρωπαϊκή και εθνική κλίμακα, με έμφαση στη συμμετοχή των ΑΠΕ και των ορυκτών καυσίμων.

Τα **ορυκτά** καύσιμα αποτελούσαν **σχεδόν το 60%** της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας **το 2024**, παγκοσμίως.

Ο άνθρακας αντιπροσωπεύει το 35% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Country	Coal	Natural Gas	Oil	Renewables	Nuclear
IN India	73.4%	3.3%	0.2%	20.5%	2.6%
CN China	58.4%	3.2%	0.1%	33.9%	4.4%
US U.S.	15.6%	42.6%	0.7%	23.3%	17.9%
EU EU	10.7%	15.6%	1.5%	48.7%	23.6%
 Global	34.5%	21.8%	2.4%	32.1%	9.1%



5

Ο Ενεργειακός Τομέας σήμερα

Τρέχουσα κατάσταση του ενεργειακού μείγματος (παγκόσμια & ευρωπαϊκή προοπτική)

2. Τάσεις, μεταρρυθμίσεις και στατιστικά δεδομένα σε Ευρώπη.

Total energy supply, global ranking, 2023

Regional ranking Global ranking

Rank	Country/Region	TJ	%
-	World	633 682 434	
1	China	168 386 888	26.6
2	United States	89 734 282	14.2
3	Europe	73 212 311	11.6

Energy mix

Total energy supply, Europe, 2023

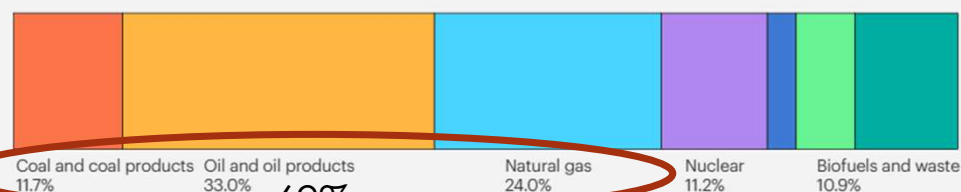
Μερίδιο του συνολικού ενεργειακού εφοδιασμού ηλεκτρικής ενέργειας Ευρώπη, 2023

Total energy supply

Production

Electricity

Consumption



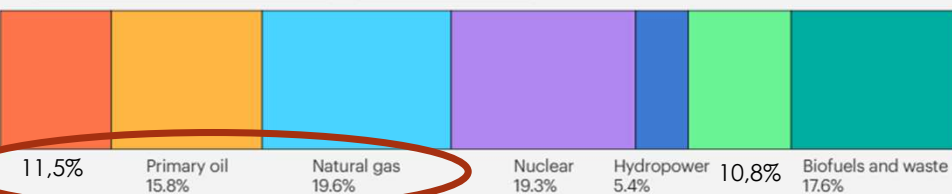
Total energy supply

Production

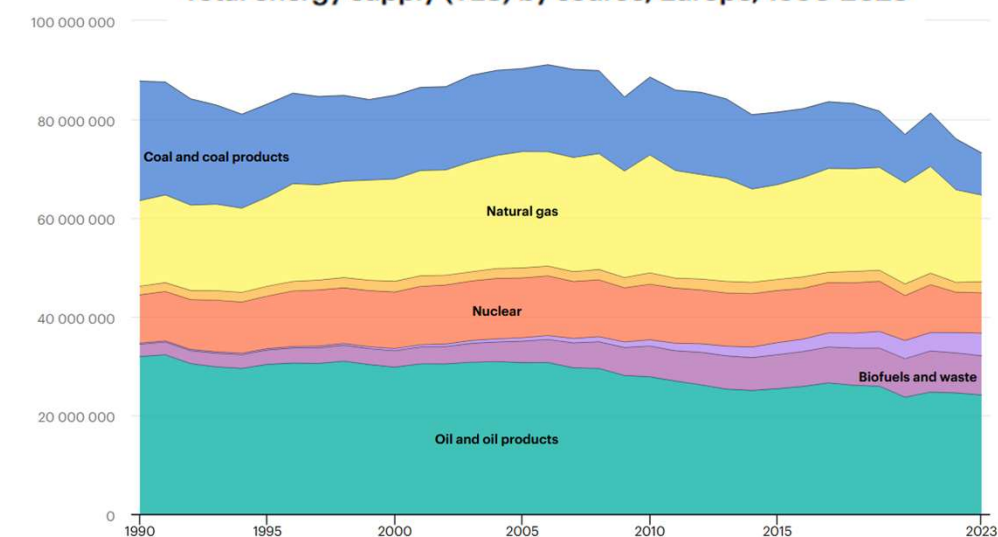
Electricity

Consumption

Coal and coal products Oil and oil products Natural gas Nuclear Hydropower
Solar, wind and other renewables Biofuels and waste



Total energy supply (TES) by source, Europe, 1990-2023



IEA Licence

Coal and coal products Natural gas Hydropower Nuclear Solar, wind and other renewables Biofuels and waste Oil and oil products

Source: IEA Data Services Licence: CC BY 4.0

6

Ο Ενεργειακός Τομέας σήμερα

Τρέχουσα κατάσταση του ενεργειακού μείγματος (παγκόσμια & ευρωπαϊκή προοπτική)

2. Τάσεις, μεταρρυθμίσεις και στατιστικά δεδομένα στην Ελλάδα

Total energy supply, global ranking, 2023

Regional ranking Global ranking

Rank	Country/Region	TJ	%
-	World	633 682 434	
1	China	168 386 888	26.6
2	United States	89 734 282	14.2
3	Europe	73 212 311	11.6

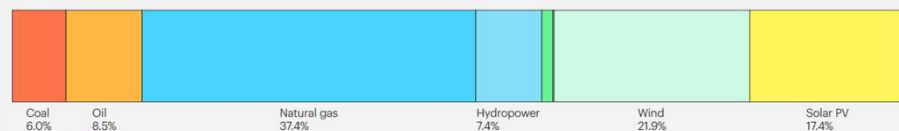
Total energy supply, Greece, 2024



Domestic energy production, Greece, 2024



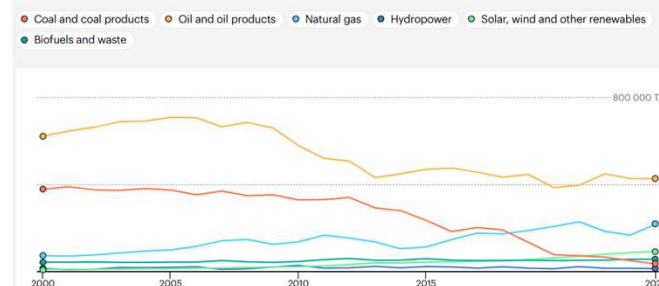
Electricity generation, Greece, 2024



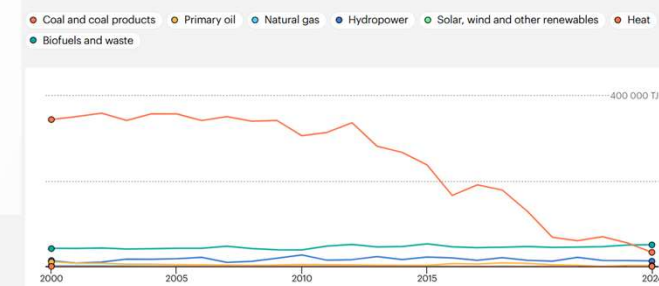
<https://www.iea.org/countries/greece/energy-mix>

Source: IEA Data Services Licence: CC BY 4.0

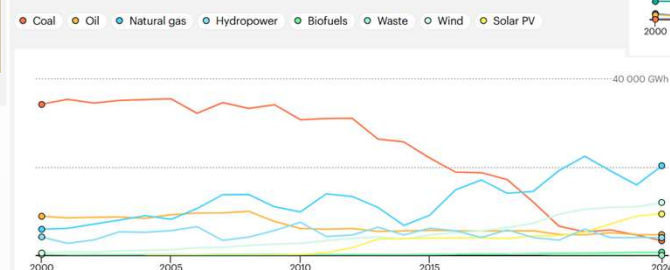
Evolution of total energy supply in Greece since 2000



Evolution of domestic energy production in Greece since 2000



Evolution of electricity generation in Greece since 2000



Σχέση κυκλικής οικονομίας με τη βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση

Βιομηχανία της ενέργειας: αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την βιώσιμη ανάπτυξη μιας χώρας εφαρμόζοντας πρακτικές κυκλικής οικονομίας.

Αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων με ΑΠΕ → Μείωση των εκπομπών του φαινομένου του θερμοκηπίου, Παραγωγή νέων προϊόντων με χρήση δευτερογενών πρώτων υλών → Μείωση των αποβλήτων, κλπ.

Η μετάβαση προς ένα σύστημα ΑΠΕ και η μετάβαση προς μια κυκλική οικονομία είναι **αλληλένδετα**.

Η ενεργειακή μετάβαση - δεσμός κυκλικής οικονομίας

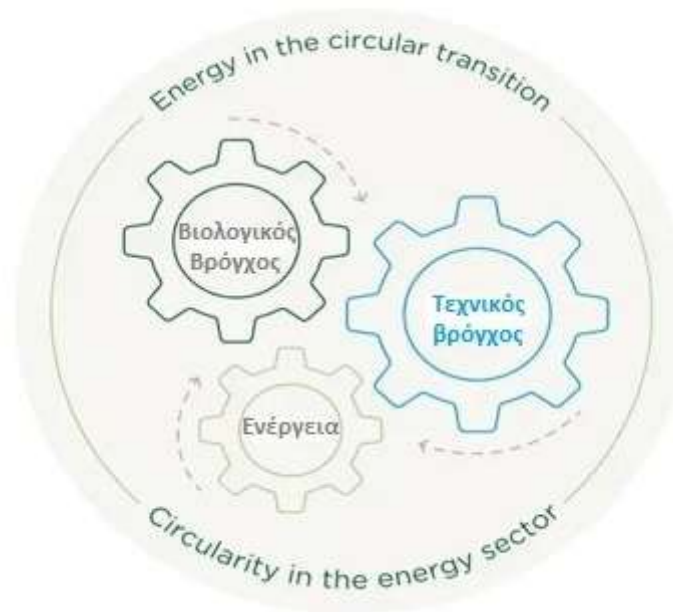
Η ενεργειακή μετάβαση ενισχύει την κυκλική οικονομία

Η κυκλική οικονομία χρειάζεται

Ενεργειακή απόδοση

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Απορρυπτόμενη θερμότητα και βιομηχανική συμβίωση



Η ενεργειακή μετάβαση εξαρτάται από την κυκλική μετάβαση

Ο ενεργειακός τομέας χρειάζεται

Κυκλικά προϊόντα, εξαρτήματα και υλικά

Κυκλικές τεχνολογίες και διαδικασίες

Κυκλικές στρατηγικές



Σχέση κυκλικής οικονομίας με τη βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση

Λειτουργώντας συμπληρωματικά, η **κυκλική οικονομία** εστιάζει στη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής των προϊόντων και των υλικών, ενώ η **πράσινη μετάβαση** επικεντρώνεται στην αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με ΑΠΕ.

➤ **Κυκλική οικονομία και βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση:**

- **Μείωση της ζήτησης ενέργειας:** Μείωση ενεργειακής κατανάλωσης που απαιτείται για την παραγωγή νέων προϊόντων και τη διαχείριση των αποβλήτων.
- **Αποσύνδεση της ανάπτυξης από την κατανάλωση πόρων:** Ανάπτυξη χωρίς εξάντληση φυσικών πόρων, αρχή βιώσιμης ανάπτυξης.
- **Αξιοποίηση δευτερογενών πόρων:** Η χρήση δευτερογενών πρώτων υλών απαιτεί λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με την εξόρυξη και την επεξεργασία πρωτογενών πόρων.

➤ **Κυκλική οικονομία και πράσινη μετάβαση:**

- **Συμπληρωματική σχέση:** Η CE δεν αντικαθιστά την ανάγκη για πράσινη μετάβαση, αλλά τη συμπληρώνει. Η μετάβαση στις ΑΠΕ είναι κρίσιμη, αλλά η χρήση των προϊόντων και των υλικών με κυκλικό τρόπο ενισχύει την αποτελεσματικότητά της.
- **Ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας:** Η CE μπορεί να διευκολύνει τη μετάβαση στις ΑΠΕ, παρέχοντας λύσεις για την επαναχρησιμοποίηση εξοπλισμού (π.χ. μπαταρίες ηλιακών συστημάτων, ανεμογεννήτριες) στο τέλος της ζωής τους.
- **Διαχείριση αποβλήτων και εκπομπών:** Η CE αντιμετωπίζει την παραγωγή αποβλήτων, μια από τις κύριες πηγές περιβαλλοντικής ρύπανσης, και συνεισφέρει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, υποστηρίζοντας τους στόχους της πράσινης συμφωνίας.
- **Δημιουργία «πράσινων» θέσεων εργασίας:** Η CE δημιουργεί νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες σε τομείς όπως η ανακύκλωση, η επισκευή και η επανεπεξεργασία, συμβάλλοντας στην πράσινη μετάβαση ως ένα βιώσιμο οικονομικό μοντέλο.

Πλέγμα μεταξύ ενέργειας και κυκλικής οικονομίας

► Πλέγμα μεταξύ **ενέργειας** και **κυκλικής οικονομίας**:

- Δεν μπορεί να υπάρξει κυκλική οικονομία χωρίς καθαρή ενέργεια & ενεργειακή μετάβαση χωρίς κυκλική οικονομία.
- Αυτά τα δύο είναι **άρρηκτα συνδεδεμένα** και **εξαρτώνται** το ένα από το άλλο.
- Η μετάβαση στην **κυκλική οικονομία** ωθεί στη μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και στη χρησιμοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας και των ΑΠΕ.
- Από την άλλη, η ενεργειακή μετάβαση εξαρτάται από τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία καθώς με την ταχεία επέκταση των υποδομών ΑΠΕ, η ζήτηση για διάφορα κρίσιμα ορυκτά προβλέπεται να αυξηθεί σημαντικά. Οι ελλείψεις εφοδιασμού θεωρούνται πιθανές τα επόμενα χρόνια. Ως εκ τούτου, ο ενεργειακός τομέας θα πρέπει να χρησιμοποιεί δευτερογενή προϊόντα για τη δημιουργία νέων προϊόντων.



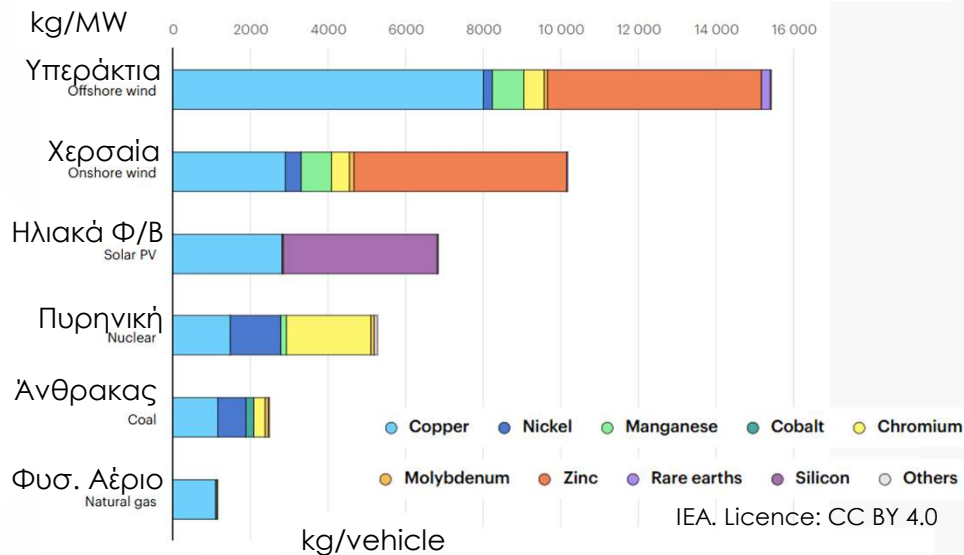
Ενώ ο άνεμος είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των ανεμογεννητριών είναι πεπερασμένα

(Σπηλιώτης, 2024)

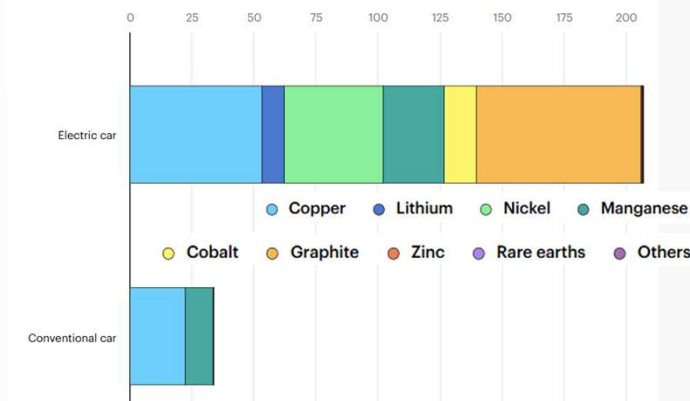
Ενέργεια – Βασικός παράγοντας για την κυκλική οικονομία

- Η **κυκλική οικονομία** είναι κρίσιμη για τον **ενεργειακό τομέα**, επειδή **συμβάλλει**:
 - στη **μείωση της εξάρτησης από σπάνιους και πεπερασμένους πόρους** και
 - στην **αντιμετώπιση των νέων μορφών αποβλήτων** που προκύπτουν από την **ενεργειακή μετάβαση**.
- Αν και οι ΑΠΕ μειώνουν τη χρήση ορυκτών καυσίμων, η **ανάπτυξή τους απαιτεί σημαντικές ποσότητες μετάλλων και πρώτων υλών**, όπως **λίθιο, χαλκό, νικέλιο και σπάνιες γαίες**. Πχ. Μια **χερσαία ανεμογεννήτρια χρειάζεται ~9 φορές περισσότερους πόρους σε μέταλλα** από μονάδα ισχύος αντίστοιχης με μονάδα φυσικού αερίου.
- Καθώς οι πρώτες γενιές εγκαταστάσεων —όπως οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά— πλησιάζουν στο τέλος του κύκλου ζωής τους, **νέα ρεύματα αποβλήτων** αναδεικνύουν την ανάγκη για ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση και ανασχεδιασμό υλικών. Η κυκλική οικονομία παρέχει το πλαίσιο ώστε ο ενεργειακός τομέας να γίνει βιώσιμος, αποδοτικός σε πόρους και ανθεκτικός απέναντι στις μελλοντικές ελλείψεις υλικών.

Μέταλλα που χρησιμοποιούνται σε τεχνολογίες καθαρής ενέργειας σε σύγκριση με άλλες πηγές παραγωγής ενέργειας



Μέταλλα που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα



Κυκλική οικονομία – κρίσιμο στοιχείο για τον ενεργειακό τομέα

■ Η κυκλική οικονομία:

- μειώνει την εξάρτηση από σπάνια/πεπερασμένα ορυκτά,
- περιορίζει την ανάγκη για νέες εξορύξεις,
- διαχειρίζεται τα απόβλητα μεγάλων ενεργειακών υποδομών (π.χ. λεπίδες ανεμογεννητριών, πάνελ PV, μπαταρίες) και
- υποστηρίζει βιώσιμες επιχειρηματικές/πολιτικές λύσεις.

■ Κύριες προκλήσεις ΑΠΕ

- **Μεγάλη ζήτηση μετάλλων:** λίθιο, κοβάλτιο, νικέλιο, χαλκός, σπάνιες γαίες (για μόνιμους μαγνήτες σε ανεμογεννήτριες).
- **Μεγάλος όγκος και σύνθετα υλικά στα απόβλητα:** π.χ. λεπίδες ανεμογεννητριών (σύνθετα υλικά, υαλοβάμβακας/ανθρακονήματα), ηλιακά πάνελ με στρώματα κεραμικών/γυαλιού/πλαστικών, μπαταρίες με πολύπλοκους ηλεκτροχημικούς συνδυασμούς.
- **Μη επαρκές/ακριβό σύστημα ανακύκλωσης:** περιορισμένες εγκαταστάσεις, τεχνολογικά/οικονομικά εμπόδια στην ανάκτηση πολύτιμων υλικών.
- **Μελλοντική ανακύκλωση «κύματος» (end-of-life):** το «πρώτο κύμα» εγκαταστάσεων ανανεώσιμης ενέργειας μπαίνει πλέον σε φάση κατάληξης ζωής — αναμένονται μεγάλες ποσότητες αποβλήτων τα επόμενα 10–30 χρόνια.

Διαχείριση της ενέργειας στην κυκλική οικονομία



Για τη διαχείριση της ενέργειας στην κυκλική οικονομία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- **ΑΠΕ** (ηλιακή, αιολική, ενέργεια από βιομάζα, κλπ.) **με πρακτικές κυκλικής οικονομίας.**

- **Ενεργειακή απόδοση:** ^{technical performance} ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας προς την καταναλισκόμενη ενέργεια. Δηλ. η ικανότητα ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας να παράγει το ίδιο αποτέλεσμα με λιγότερη ενέργεια (τεχνολογικές αναβαθμίσεις, καινοτόμες διαδικασίες για εξοικονόμηση ενέργειας με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας για τη μείωση των αποβλήτων και την κατανάλωση των πεπερασμένων πόρων).

- **Εξοικονόμηση ενέργειας:** ^{actions} το ποσό της ενέργειας που εξοικονομείται, που καθορίζεται από την μέτρηση ή/και τον υπολογισμό της κατανάλωσης, πριν και μετά την εφαρμογή ενός βελτιωτικού μέτρου ενεργειακής αποδοτικότητας, ενώ διασφαλίζεται η ομαλοποίηση των εξωτερικών συνθηκών που επηρεάζουν την κατανάλωση της ενέργειας.

- **Αλλά και ... η απορριπτόμενη θερμότητα και βιομηχανική συμβίωση:**

Χρήση απορριπτόμενης θερμότητας από διάφορες βιομηχανικές διεργασίες (πχ. πύργοι ψύξης: εκμετάλλευση απορριπτόμενου υπέρθερμου ατμού σε συστήματα T/Θ, κέντρα δεδομένων που παράγουν θερμότητα: εκμετάλλευση της θερμότητας αυτής για ψύξη).



Διαχείριση κυκλικότητας στον ενεργειακό τομέα

Απαιτείται μια **ολιστική προσέγγιση της κυκλικότητας** στον τομέα της ενέργειας για την αντιμετώπιση ορισμένων από τις προκλήσεις βιωσιμότητας. Η κυκλικότητα στον ενεργειακό τομέα αφορά την **εφαρμογή αρχών της κυκλικής οικονομίας** στη **παραγωγή, μετατροπή, διανομή** και **κατανάλωση ενέργειας**, με στόχο τη μείωση αποβλήτων, την επαναχρησιμοποίηση πόρων και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης.

➤ Κατά τη διαχείριση της κυκλικότητας στον ενεργειακό τομέα, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής βασικοί παράγοντες:

- 1. Βιώσιμη παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας
- 2. Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση πόρων
- 3. Ολοκληρωμένος σχεδιασμός υποδομών
- 4. Τεχνολογική καινοτομία και ψηφιοποίηση
- 5. Οικονομικές και ρυθμιστικές παράμετροι
- 6. Περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις

*Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν: μακροοικονομικό μέγεθος που αντιστοιχεί στη συνολική αγοραία αξία όλων των τελικών αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται σε μια χώρα σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μέτρο της οικονομικής δραστηριότητας μιας χώρας.

Διαχείριση κυκλικότητας στον ενεργειακό τομέα

➤ 1. Βιώσιμη παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας

- Μετάβαση σε ΑΠΕ: Μείωση εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα.
- Αποδοτική χρήση ενέργειας: Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης σε βιομηχανίες, κτίρια και μεταφορές.
- Αποθήκευση ενέργειας: Χρήση τεχνολογιών όπως αντλησιοταμίευση, μπαταρίες, υδρογόνο για εξισορρόπηση παραγωγής και ζήτησης.

➤ 2. Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση πόρων

- Ανακύκλωση υλικών ενεργειακών τεχνολογιών: π.χ. φωτοβολταϊκών πάνελ, ανεμογεννήτριες, μπαταρίες.
- Ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων και πρώτων υλών: Μείωση ανάγκης για νέες εξορύξεις.
- Επαναχρησιμοποίηση παραπροϊόντων ενέργειας: π.χ. θερμότητα από βιομηχανίες σε δίκτυα τηλεθέρμανσης.

Ενδεικτικοί κυκλικότητας

δείκτες

- Ποσοστό ενέργειας από ΑΠΕ (%)
- Ενεργειακή ένταση (kWh/μονάδα ΑΕΠ*)
- Μείωση κατανάλωσης ανά κλάδο (%)

Ενδεικτικοί κυκλικότητας

δείκτες

- Ποσοστό ανακυκλωμένων υλικών σε ενεργειακές τεχνολογίες (%)
- Ποσοστό ανάκτησης σπάνιων μετάλλων (%)
- Όγκος αποβλήτων προς ταφή (τόνοι/έτος)

Διαχείριση κυκλικότητας στον ενεργειακό τομέα

3. Ολοκληρωμένος σχεδιασμός υποδομών

- Κυκλικός σχεδιασμός από το στάδιο του σχεδιασμού: Εύκολη αποσυναρμολόγηση, συντήρηση και επαναχρησιμοποίηση εξοπλισμού.
- Ενεργειακά οικοσυστήματα: Συνεργασία μεταξύ βιομηχανιών για αξιοποίηση αποβλήτων ή πλεονάζουσας ενέργειας.
- Τοπικές ενεργειακές κοινότητες: Ενίσχυση αποκεντρωμένων και κυκλικών ενεργειακών συστημάτων.

Ενδεικτικοί κυκλικότητας

δείκτες

- Δείκτης επαναχρησιμοποίησης εξοπλισμού (%)
- Ποσοστό σχεδίων με κριτήρια οικολογικού σχεδιασμού (%)

4. Τεχνολογική καινοτομία και ψηφιοποίηση

- Ψηφιακά δίδυμα και big data: Βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενεργειακών συστημάτων.
- Έξυπνα δίκτυα (smart grids): Διαχείριση ενεργειακών ροών και αποδοτική ενσωμάτωση ΑΠΕ.
- Τεχνολογίες ανακύκλωσης προηγμένων υλικών: Καινοτομία σε ανακύκλωση σπάνιων γαιών, μπαταριών κ.λπ.

Ενδεικτικοί δείκτες κυκλικότητας

- Βαθμός ενσωμάτωσης "smart grids"
- Ποσοστό εγκαταστάσεων με συστήματα παρακολούθησης κατανάλωσης
- Μείωση απωλειών δικτύου (%)

προηγμένα ηλεκτρικά δίκτυα που ενσωματώνουν τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών για τη δυναμική και διαδραστική διαχείριση της ροής ηλεκτρικής ενέργειας, από την παραγωγή έως την κατανάλωση, σε πραγματικό χρόνο.

ένα δυνατό, ψηφιακό αντίγραφο ενός φυσικού συστήματος, εξοπλισμένο με συνεχή ροή δεδομένων από αισθητήρες και προηγμένα αλγοριθμικά μοντέλα

Διαχείριση κυκλικότητας στον ενεργειακό τομέα

► 5. Οικονομικές και ρυθμιστικές παράμετροι

- Κίνητρα και πολιτικές: Επενδύσεις σε κυκλικές πρακτικές, φορολογικά κίνητρα, πράσινη χρηματοδότηση.
- Κόστος κύκλου ζωής (Life Cycle Costing): Αξιολόγηση συνολικού κόστους, όχι μόνο αρχικού.
- Κανονισμοί και πρότυπα: Προώθηση βιώσιμων πρακτικών σε όλη την αλυσίδα αξίας.

► 6. Περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις

- Μείωση εκπομπών CO₂ και αποβλήτων.
- Προστασία βιοποικιλότητας και τοπικών οικοσυστημάτων.
- Κοινωνική αποδοχή και συμμετοχή: Εκπαίδευση, ευαισθητοποίηση και συμμετοχή των πολιτών.

Ενδεικτικοί κυκλικότητας δείκτες

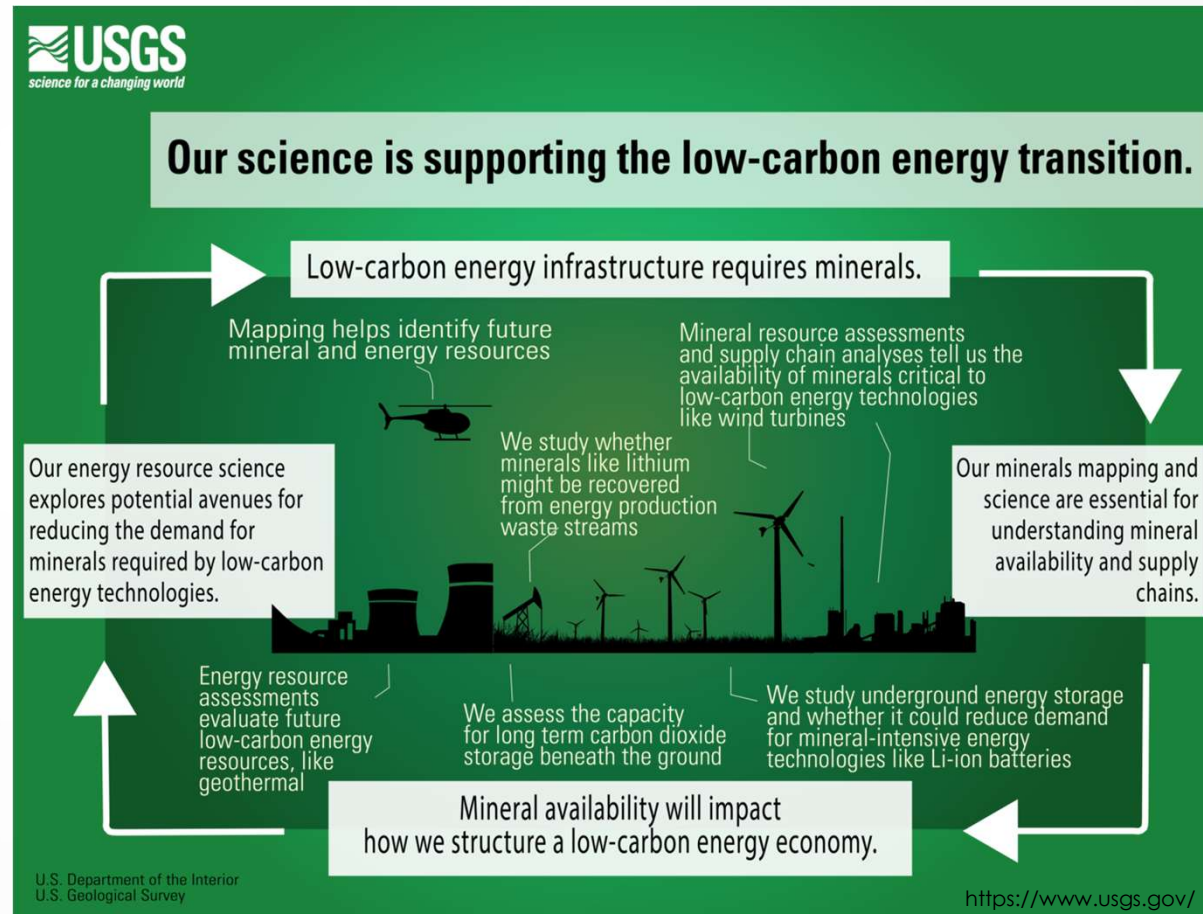
- Επενδύσεις σε κυκλικές τεχνολογίες (€/έτος)
- Ποσοστό έργων με πράσινη χρηματοδότηση (%)
- Εφαρμογή αρχών "Life Cycle Costing"

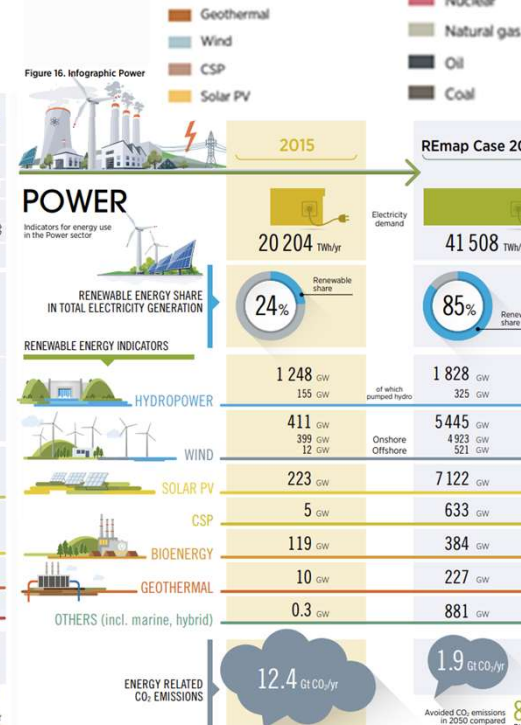
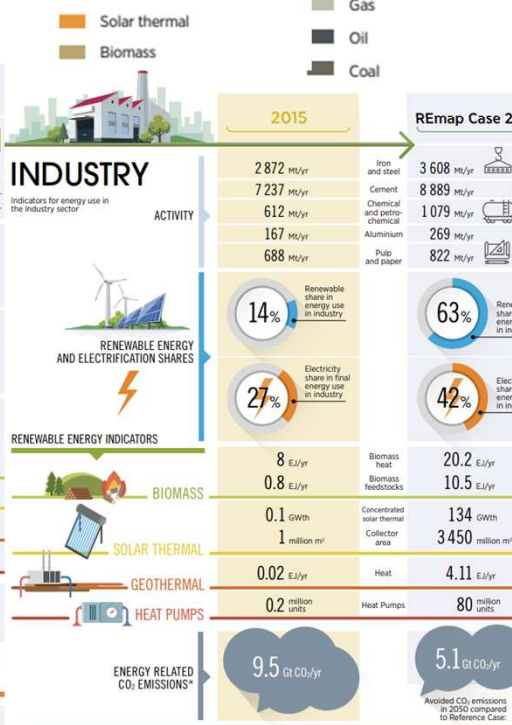
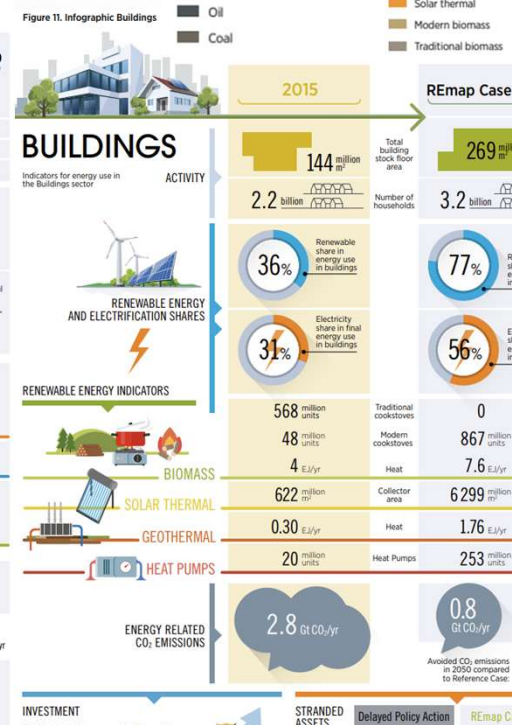
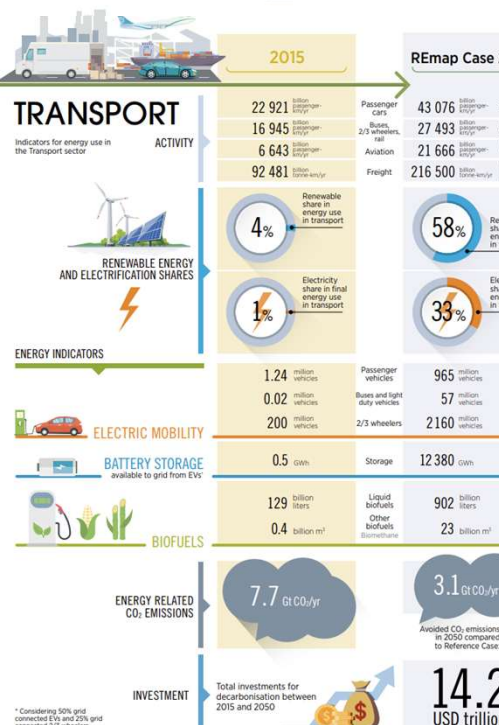
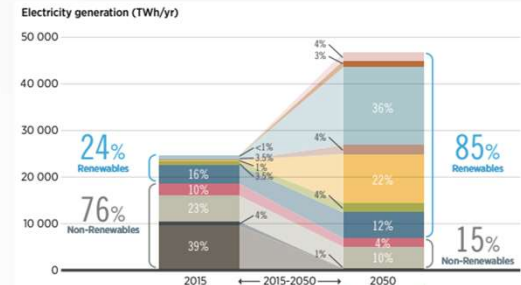
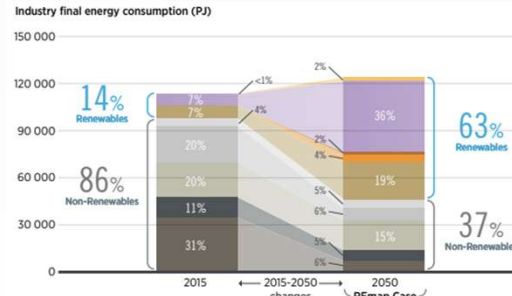
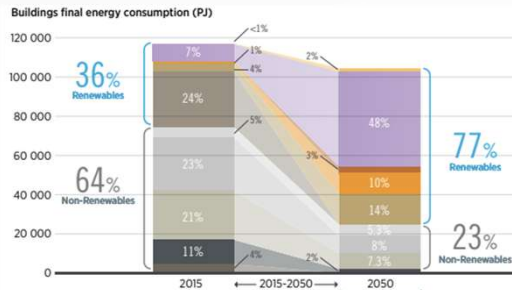
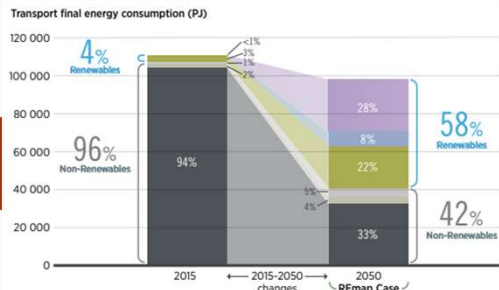
Ενδεικτικοί κυκλικότητας δείκτες

- Εκπομπές CO₂ (kg CO₂/kWh)
- Επίπεδο συμμετοχής ενεργειακών κοινοτήτων- Ποσοστό έργων με κοινωνικά οφέλη (%)

Ανάγκη μετάβασης σε μια ενεργειακή οικονομία χαμηλών εκπομπών CO₂

- Η ανάγκη μετάβασης σε μια **ενεργειακή οικονομία χαμηλών εκπομπών CO₂**, με παράλληλη **διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού** και της **οικονομικής σταθερότητας**, δεν ήταν ποτέ τόσο έντονη όσο σήμερα.
- Οι προκλήσεις της **κλιματικής αλλαγής**, της εξάντλησης των φυσικών πόρων και της γεωπολιτικής αστάθειας καθιστούν επιτακτική την αναδιάρθρωση του ενεργειακού συστήματος προς ένα πιο βιώσιμο και κυκλικό μοντέλο.
- Η **κυκλικότητα στον ενεργειακό τομέα** προσφέρει ένα **νέο πλαίσιο διαχείρισης**, βασισμένο στην αποδοτική χρήση πόρων, την ανακύκλωση υλικών και την επαναξιοποίηση ενέργειας, **συμβάλλοντας ουσιαστικά στην επίτευξη των στόχων μηδενικών εκπομπών** και στην **ενίσχυση της ενεργειακής ανθεκτικότητας**.





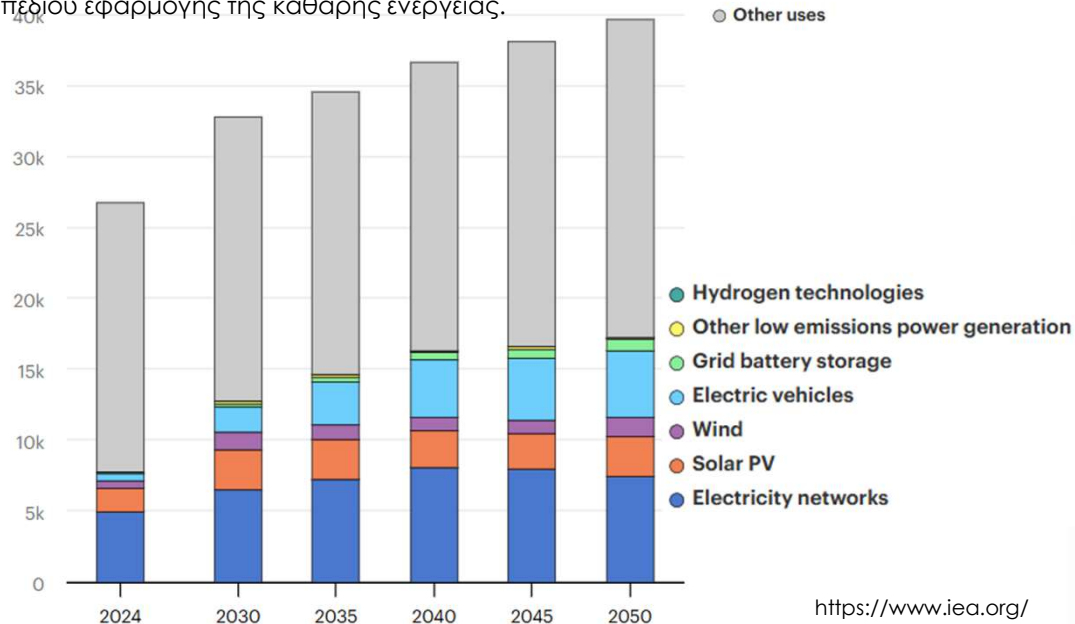
Gielen, Dolf. (2018). GLOBAL ENERGY TRANSFORMATION - a roadmap to 2050.

Υψηλή ζήτηση σπάνιων και πεπερασμένων πόρων

Total demand for copper in the Announced Pledges Scenario

Η ζήτηση για χαλκό σε τεχνολογίες καθαρής ενέργειας προβλέφθηκε για ατομική, ηλιακή φωτοβολταϊκή και άλλη παραγωγή ενέργειας χαμηλών εκπομπών (συμπεριλαμβανομένης της πυρηνικής, βιοενέργειας, της υδροηλεκτρικής, της γεωθερμικής και της συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας), καθώς και για τεχνολογίες υδρογόνου (ηλεκτρολύτες), ηλεκτρικά οχήματα (κινητήρες και μπαταρίες), δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και σταθερή αποθήκευση ενέργειας. Οι "Άλλες χρήσεις" δείχνουν προβλέψεις για άλλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών και της παραγωγής ενέργειας εκτός του πεδίου εφαρμογής της καθαρής ενέργειας.

Cu
Copper



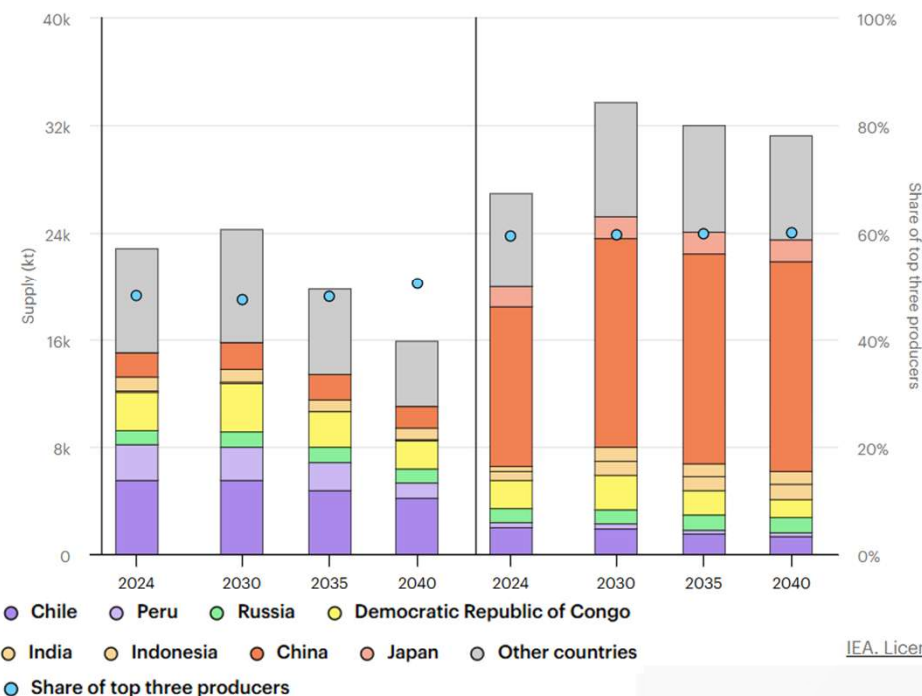
<https://www.iea.org/>

Copper expected supply from existing and announced projects in the base case, by country

Αναμενόμενη προσφορά χαλκού, ανά χώρα

Mining

Refining

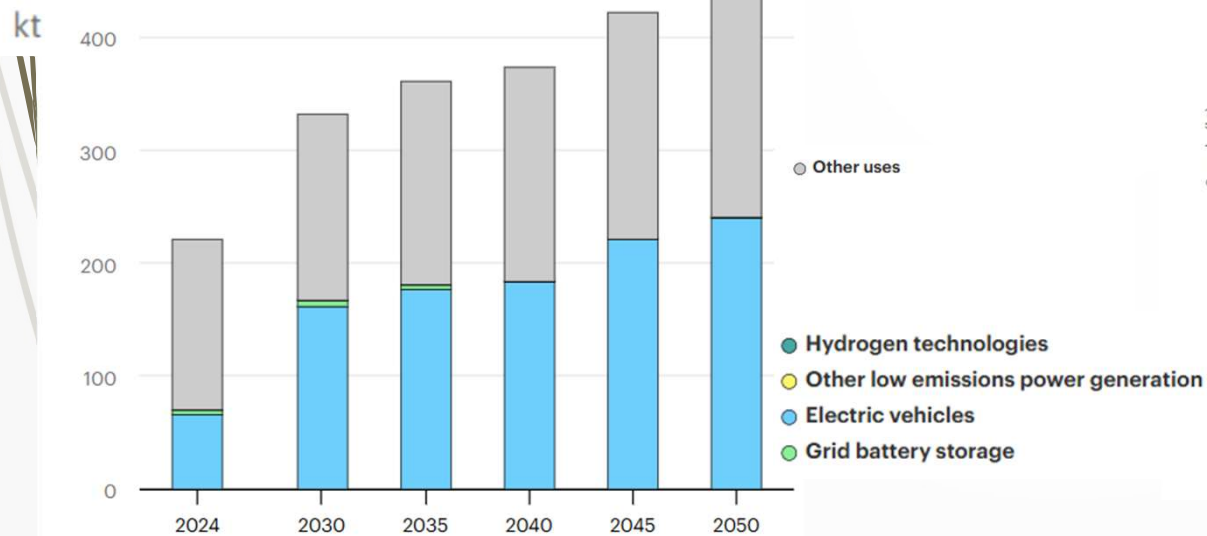


IEA. Licence: CC BY 4.0

Υψηλή ζήτηση σπάνιων και πεπερασμένων πόρων

Total demand for cobalt in the Announced Pledges Scenario

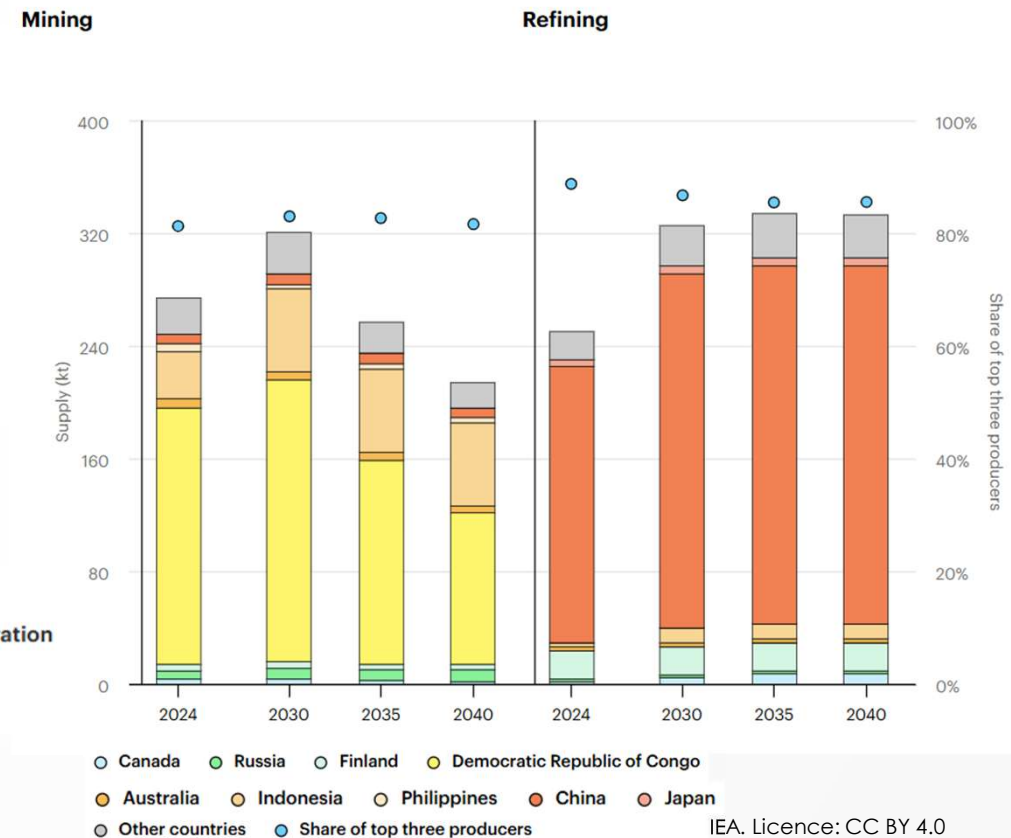
Η ζήτηση για κοβάλτιο στις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας προβλέφθηκε για μπαταρίες (τόσο ηλεκτρικά όσο και για στατικές συσκευές αποθήκευσης), καθώς και για χρήσεις σε ηλεκτρολύτες. Το κοβάλτιο χρησιμοποιείται επίσης σε μια ποικιλία άλλων εξειδικευμένων εφαρμογών, όπως σε κράματα ή χρωστικές. Οι «Άλλες χρήσεις» τις μοντελοποιούν, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών μπαταριών εκτός του πεδίου εφαρμογής της καθαρής ενέργειας, όπως στις ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης.



<https://www.iea.org/>

Cobalt expected supply from existing and announced projects in the base case, by country

Αναμενόμενη προσφορά κοβαλτίου, ανά χώρα



IEA. Licence: CC BY 4.0

Υψηλή ζήτηση σπάνιων και πεπερασμένων πόρων

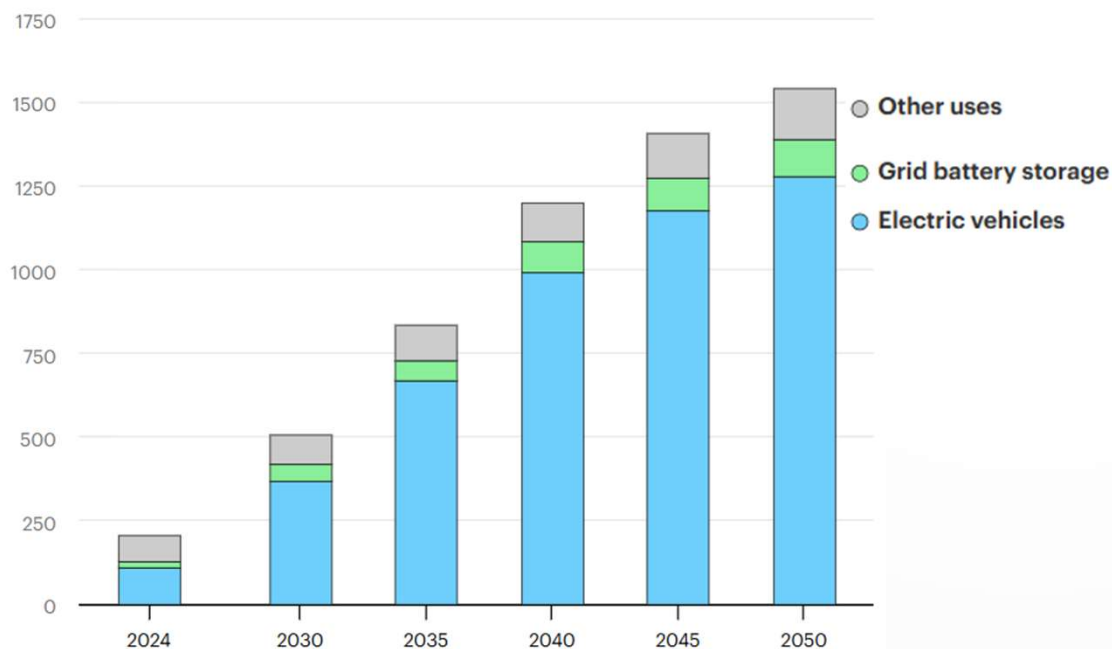
Total demand for lithium in the Announced Pledges Scenario

Ζήτηση λιθίου στις καθαρές τεχνολογίες ενέργειας

Το **λιθίο** χρησιμοποιείται σε μπαταρίες, αλλά και σε μια ποικιλία άλλων εξειδικευμένων εφαρμογών, όπως λιπαντικά, φάρμακα, κεραμικά και γυαλί. Οι «Άλλες χρήσεις» τις παρουσιάζουν, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών μπαταριών εκτός του πεδίου εφαρμογής της καθαρής ενέργειας, όπως στις ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης.



kt



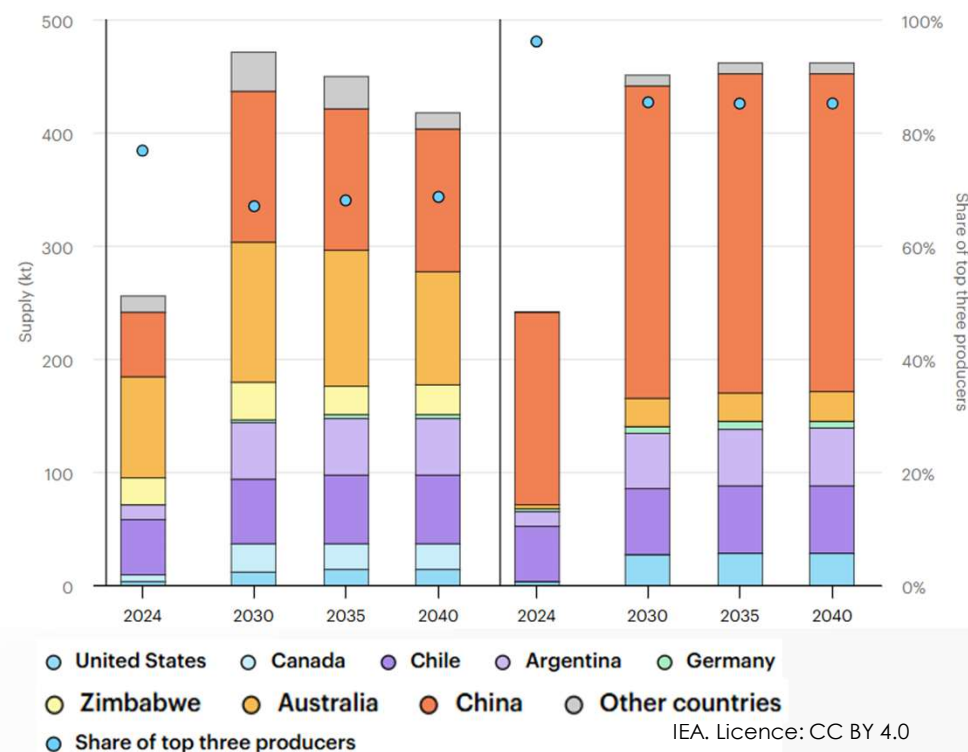
<https://www.iea.org/>

Lithium expected supply from existing and announced projects in the base case, by country

Αναμενόμενη προσφορά λιθίου, ανά χώρα

Mining

Refining



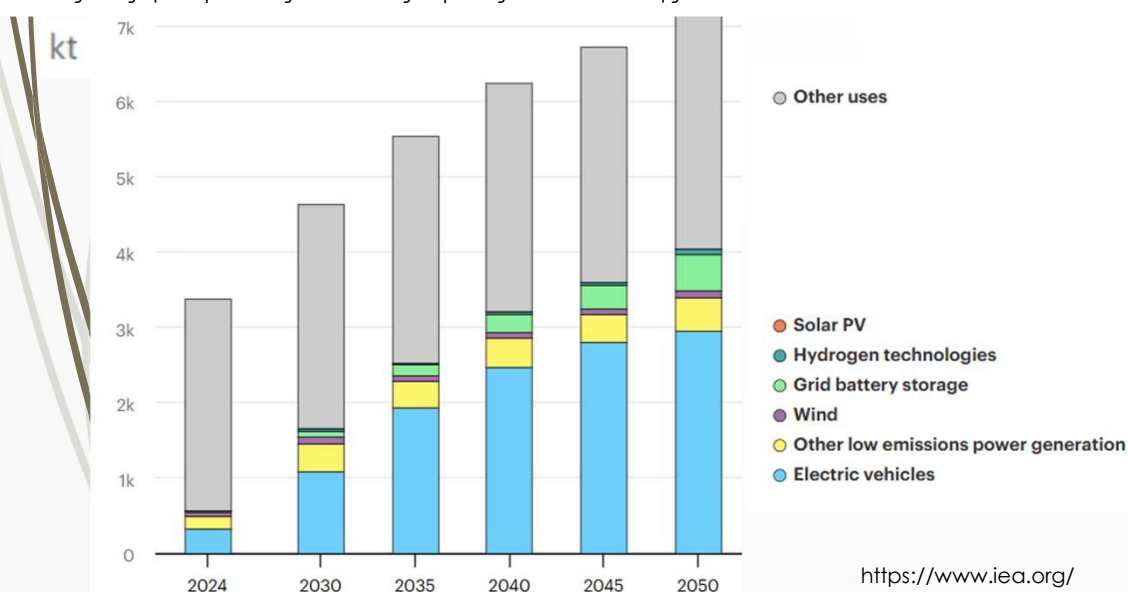
IEA. Licence: CC BY 4.0

Υψηλή ζήτηση σπάνιων και πεπερασμένων πόρων

Total demand for nickel in the Announced Pledges Scenario

Η ζήτηση για νικέλιο στις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας προβλέφθηκε για την αιολική, ηλιακή φωτοβολταϊκή και άλλη παραγωγή ενέργειας χαμηλών εκπομπών (συμπεριλαμβανομένης της πυρηνικής ενέργειας, της βιοενέργειας, της υδροηλεκτρικής, της γεωθερμικής και της συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας), καθώς και για τις τεχνολογίες υδρογόνου (ηλεκτρολύτες), τα ηλεκτρικά οχήματα (κινητήρες και μπαταρίες), τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και την αποθήκευση σταθερής ενέργειας. Το νικέλιο χρησιμοποιείται σε μπαταρίες, αλλά και σε μια ποικιλία άλλων εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ανοξείδωτου χάλυβα.

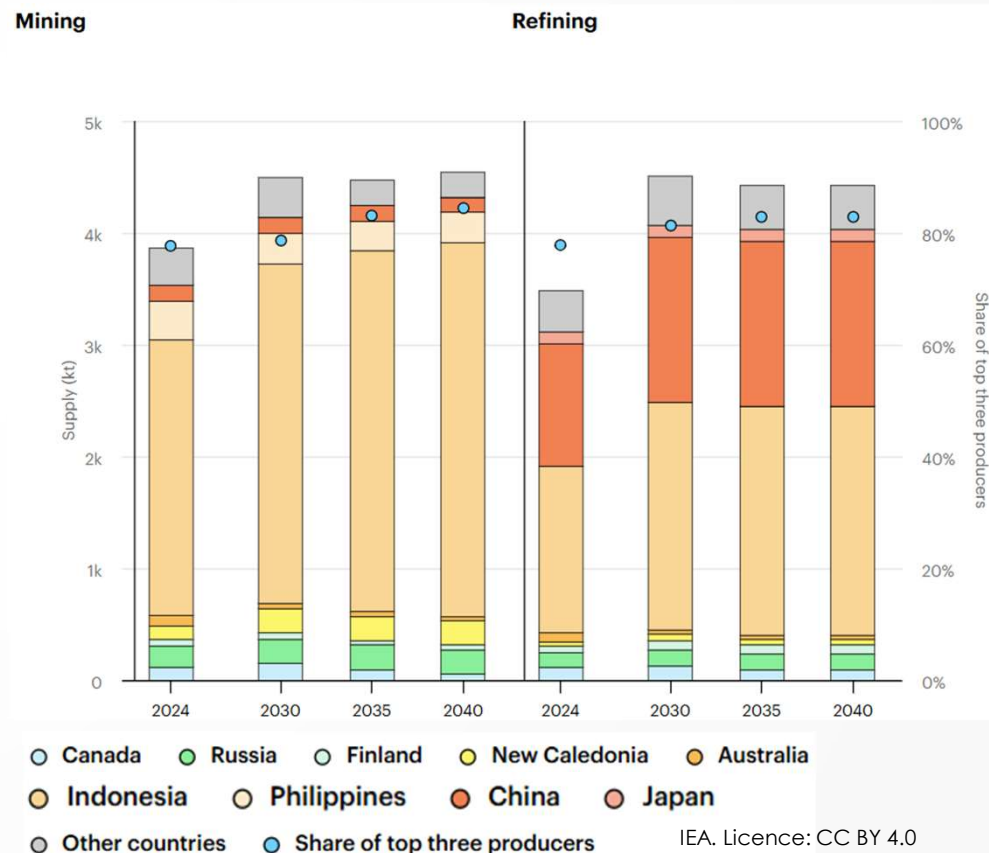
Οι «Άλλες χρήσεις» μοντελοποιούν αυτές τις χρήσεις, καλύπτοντας επίσης εφαρμογές μπαταριών εκτός του πεδίου εφαρμογής της καθαρής ενέργειας, όπως στις ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης.



<https://www.iea.org/>

Nickel expected supply from existing and announced projects in the base case, by country

Αναμενόμενη προσφορά νικελίου, ανά χώρα



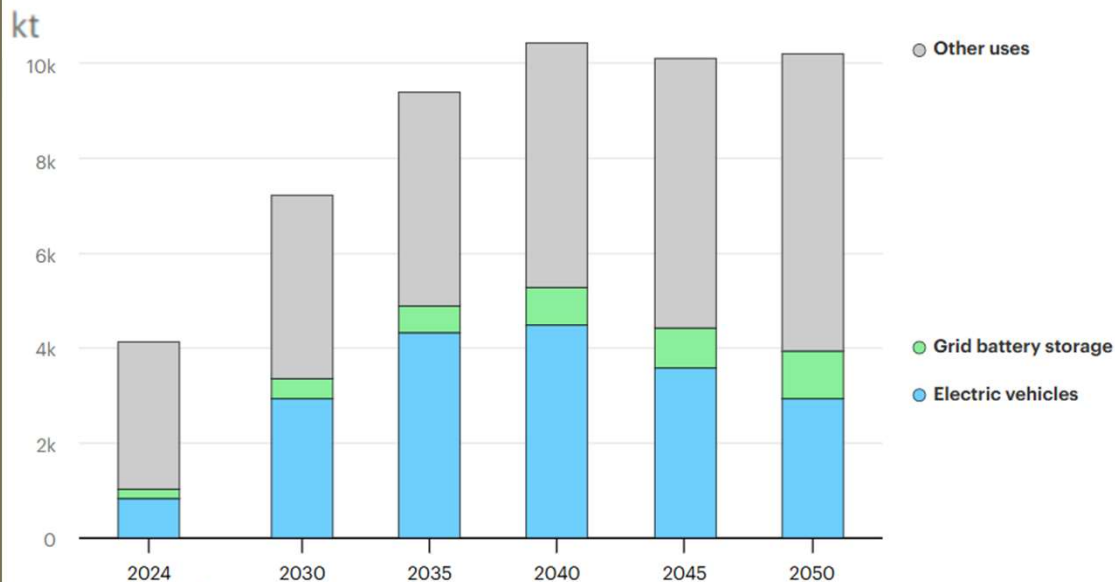
IEA. Licence: CC BY 4.0

Υψηλή ζήτηση σπάνιων και πεπερασμένων πόρων

Total demand for graphite in the Announced Pledges Scenario

Η ζήτηση γραφίτη σε τεχνολογίες καθαρής ενέργειας προβλέφθηκε για μπαταρίες (τόσο ηλεκτρικά όσο και για σταθερή αποθήκευση). Ο γραφίτης χρησιμοποιείται σε μπαταρίες, αλλά και σε μια ποικιλία άλλων εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων ηλεκτροδίων ηλεκτρικού κλιβάνου τόξου για την παραγωγή χάλυβα.

Οι "Άλλες χρήσεις" μοντελοποιούν αυτές τις εφαρμογές, καλύπτοντας επίσης εφαρμογές μπαταριών εκτός του πεδίου εφαρμογής της καθαρής ενέργειας, όπως στα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης.



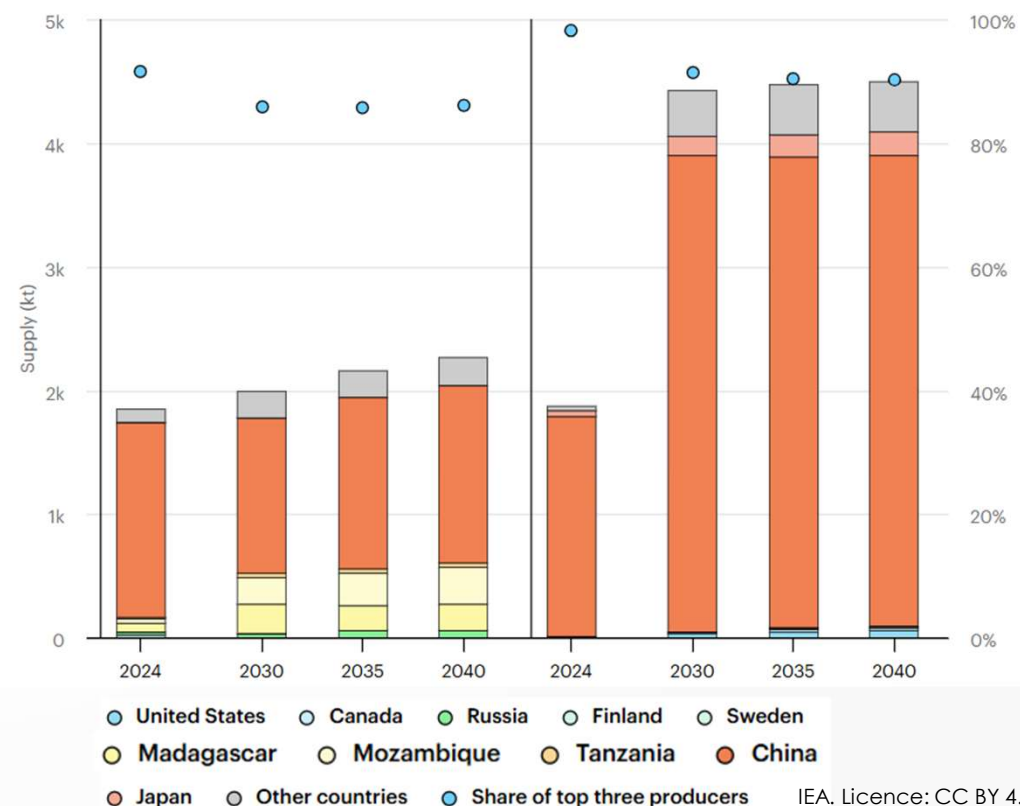
<https://www.iea.org/>

Graphite expected supply from existing and announced projects in the base case, by country

Αναμενόμενη προσφορά γραφίτη, ανά χώρα

Mining

Refining

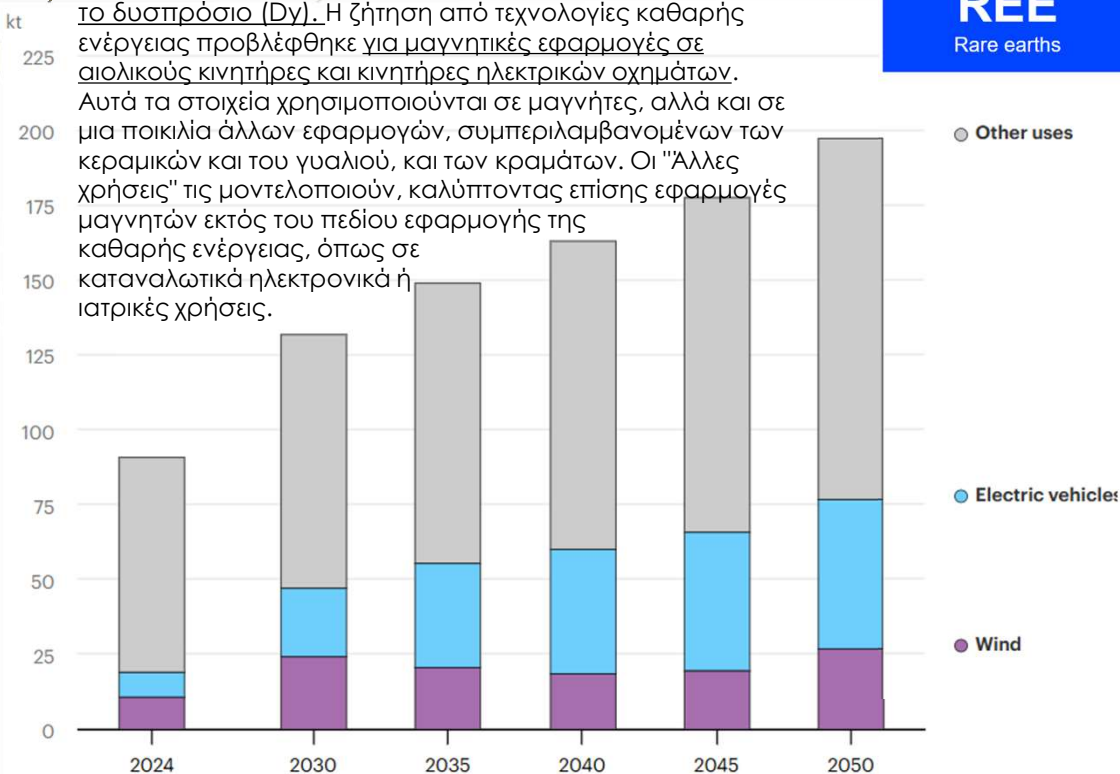


IEA. Licence: CC BY 4.0

Υψηλή ζήτηση σπάνιων και πεπερασμένων πόρων

Total demand for magnet rare earth elements in the Announced Pledges Scenario

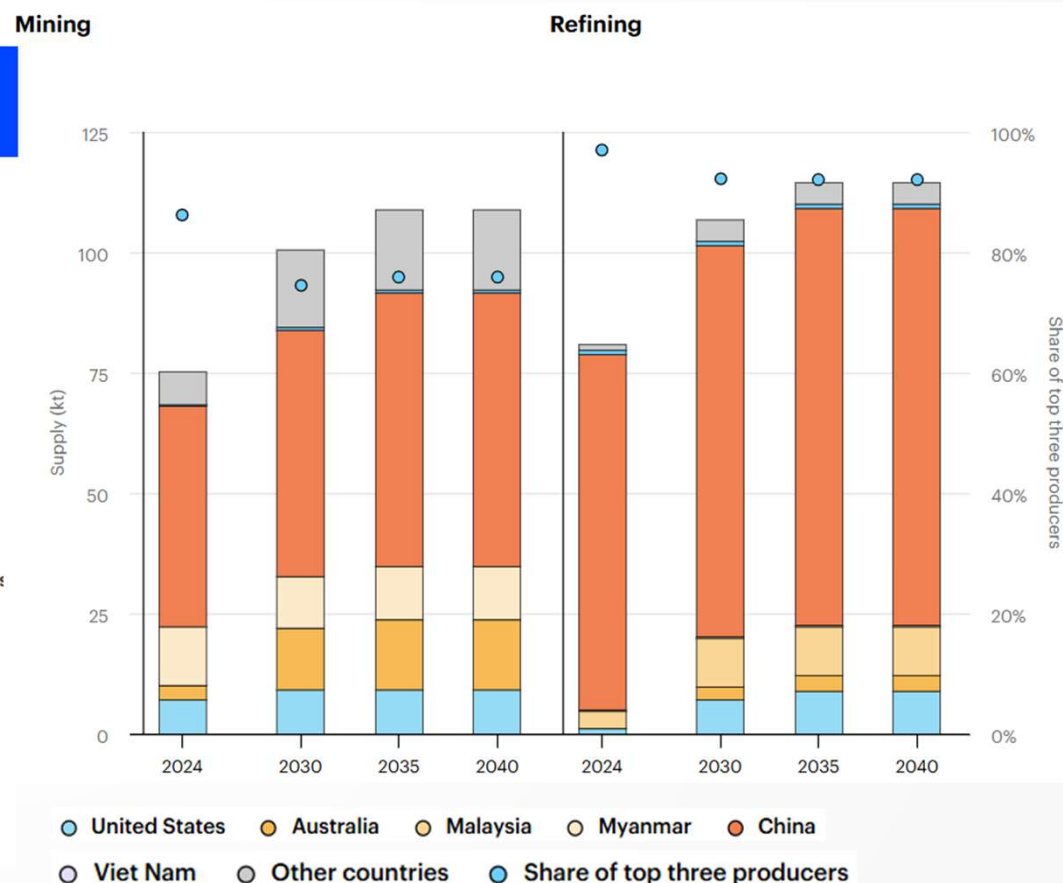
Η ζήτηση για μαγνητικά στοιχεία σπάνιων γαιών καλύπτει το πρασεόδυμιο (Pr), το νεοδύμιο (Nd), το τέρβιο (Tb) και το δυσπρόσιο (Dy). Η ζήτηση από τεχνολογίες καθαρής ενέργειας προβλέφθηκε για μαγνητικές εφαρμογές σε αεροπλάνα και κινητήρες ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται σε μαγνήτες, αλλά και σε μια ποικιλία άλλων εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των κεραμικών και του γυαλιού, και των κραμάτων. Οι "Άλλες χρήσεις" τις μοντελοποιούν, καλύπτοντας επίσης εφαρμογές μαγνητών εκτός του πεδίου εφαρμογής της καθαρής ενέργειας, όπως σε καταναλωτικά ηλεκτρονικά ή ιατρικές χρήσεις.



<https://www.iea.org/>

Magnet rare earth elements expected supply from existing and announced projects in the base case, by country

Αναμενόμενη προσφορά σπάνιων γαιών, ανά χώρα



Οφέλη στο ενεργειακό σύστημα με χρήση κυκλικής οικονομίας

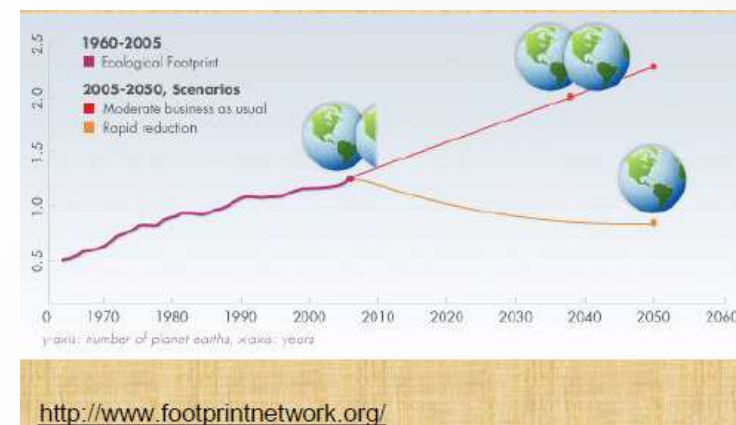
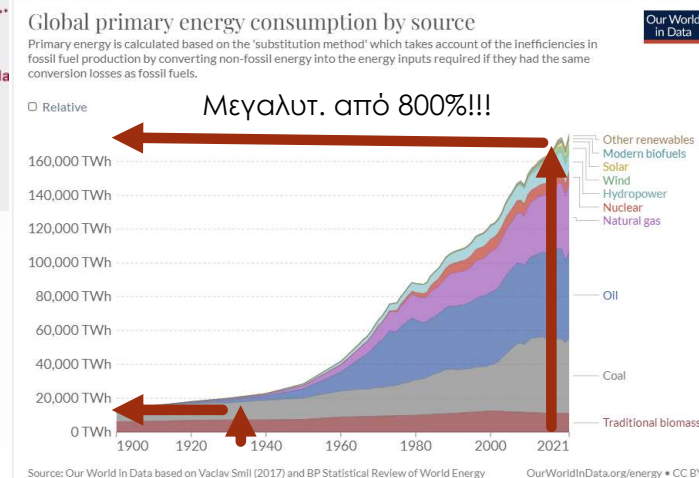
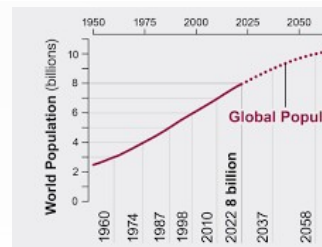
■ Χρήση ΑΠΕ - Μείωση εξάρτησης από τις πρώτες ύλες

Χρήση ανανεώσιμων και μη φυσικών πόρων για παραγωγή ενέργειας, παραγωγή ενέργειας από απόβλητα, ανακύκλωση υλικών από μονάδες παραγωγής ενέργειας.

Ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται και μαζί του, η ζήτηση για πρώτες ύλες.

Οι πηγές εφοδιασμού σημαντικών πρώτων υλών είναι περιορισμένες. Η πεπερασμένη διάθεση πρώτων υλών σημαίνει επίσης ότι ορισμένα χώρες της ΕΕ εξαρτώνται από άλλες για την κάλυψη των αναγκών τους. Σύμφωνα με την Eurostat, **η ΕΕ εισάγει το 50% περίπου των πρώτων υλών που καταναλώνει.**

Η ανακύκλωση πρώτων υλών μετριάξει τους κινδύνους που σχετίζονται με την προσφορά, όπως η αστάθεια τιμών, η διαθεσιμότητα και η εξάρτηση από τις εισαγωγές. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις κρίσιμες πρώτες ύλες, οι οποίες απαιτούνται για την παραγωγή τεχνολογιών που είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη κλιματικών στόχων, όπως οι μπαταρίες και οι ηλεκτρικοί κινητήρες.



Καταναλώνουμε περισσότερο από όσο παράγουμε.

Το 2003: ήταν ήδη 25% μεγαλύτερο.

...αν συνεχίσουμε έτσι...

Ως το 2050, ο πλανήτης θα χρειάζεται 2 έτη για να ανανεώσει ότι καταναλώνουμε σε 1 έτος!

(Living Planet Report, 2006)

Οφέλη στο ενεργειακό σύστημα με χρήση κυκλικής οικονομίας

➤ Προστασία του περιβάλλοντος

Η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση προϊόντων μπορεί να **ελαχιστοποιήσει τη χρήση φυσικών πόρων**, να μειώσει τη διαταραχή του τοπίου και των οικοτόπων, και να περιορίσει την **απώλεια βιοποικιλότητας**. Η κυκλική οικονομία συμβάλλει επίσης στη **μείωση των ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου**. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, οι βιομηχανικές διεργασίες και η χρήση προϊόντων ευθύνονται για το 9,10% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ, ενώ η διαχείριση των απορριμμάτων αντιπροσωπεύει το 3,32%. Η **εξαρχής παραγωγή** πιο αποδοτικών και βιώσιμων προϊόντων θα **μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και πόρων αλλά και την ποσότητα των απορριμμάτων** (εκτιμάται ότι >80 % όλων των επιπτώσεων των προϊόντων στο περιβάλλον καθορίζεται στο στάδιο σχεδιασμού).

- Μείωση CO₂ από εξόρυξη/επεξεργασία πρώτων υλών.
- Μείωση περιβαλλοντικών κινδύνων από απόρριψη σύνθετων υλικών.



Οφέλη στο ενεργειακό σύστημα με χρήση κυκλικής οικονομίας

► Τόνωση της οικονομίας

Η στροφή προς μια κυκλική οικονομία θα μπορούσε να αποφέρει οφέλη όπως την αύξηση της ανταγωνιστικότητας, την τόνωση της καινοτομίας, την προώθηση της οικονομικής ανάπτυξης και τη δημιουργία θέσεων εργασίας (700.000 θέσεις εργασίας μόνο στην ΕΕ έως το 2030). Εξασφαλίζει επίσης την **παροχή πιο ανθεκτικών και καινοτόμων προϊόντων** στους καταναλωτές, με αποτέλεσμα την **εξοικονόμηση σημαντικών ποσών** και την **βελτίωση της ποιότητας ζωής**.

- Μείωση κόστους πρώτων υλών μακροπρόθεσμα — λιγότερη έκθεση σε διακυμάνσεις τιμών μετάλλων.
- Δημιουργία νέων αγορών & θέσεων εργασίας σε ανακύκλωση και επανασχεδίαση προϊόντων.



Πως βελτιστοποιείται το ενεργειακό σύστημα από άποψη κυκλικής οικονομίας;

1. Χρήση πηγών ενέργειας



- Ανανεώσιμοι και μη φυσικοί πόροι για παραγωγή ενέργειας
- Φυσικοί πόροι για την παραγωγή ενεργειακών δικτύων και μονάδων παραγωγής ενέργειας

2. Χρήση πλευρικών ρευμάτων και περίσσεια ενέργειας

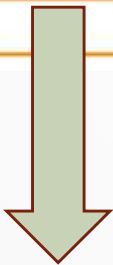


- Πλευρικά ρεύματα και καυσαέρια που παράγονται από μονάδες παραγωγής ενέργειας
- Πλευρικά ρεύματα που παράγονται από μονάδες παραγωγής σε άλλες βιομηχανίες
- Πλεονάζουσα θερμότητα που παράγεται σε μονάδες παραγωγής και ιδιότητες

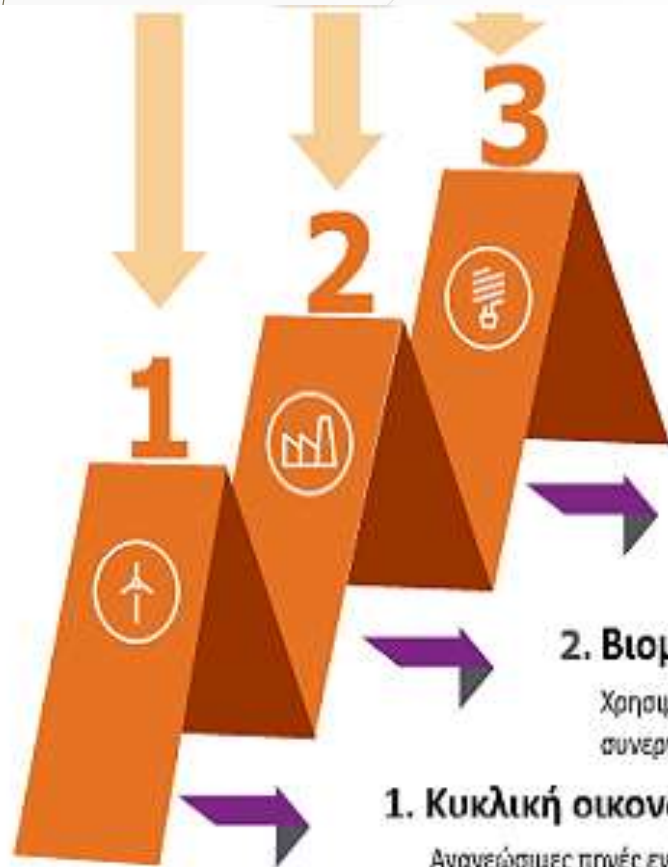
3. Τελική χρήση της ενέργειας



- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και ψύξης από επιχειρήσεις, κοινότητες και καταναλωτές
- Πλεονάζουσα θερμότητα τελικών χρηστών
- Χρήση ενεργειακών δικτύων



Πως βελτιστοποιείται το ενεργειακό σύστημα από άποψη κυκλικής οικονομίας;



Πώς βελτιστοποιείται το ενεργειακό σύστημα από την άποψη της κυκλικής οικονομίας;

Τακτικές κυκλικής οικονομίας της ενεργειακής βιομηχανίας

Η κυκλική οικονομία στον κλάδο της ενέργειας μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στην κυκλική οικονομία της παραγωγής ενέργειας, στην κυκλική οικονομία που διαμορφώνεται μέσω της συνεργασίας με άλλους φορείς και στην κυκλική οικονομία της διεπαφής με το πελάτη.

3. Κυκλική οικονομία στη διεπαφή με το πελάτη

Απόκριση ζήτησης, αμφίδρομη τηλεθέρμανση, ενέργεια ως υπηρεσία, ενεργειακή απόδοση του τελικού χρήστη

2. Βιομηχανική συμβίωση και συνεργασία κυκλικής οικονομίας σε επίπεδο δήμου

Χρησιμοποίηση της πλεονάζουσας ενέργειας και των παράπλευρων ρευμάτων της βιομηχανίας ενέργειας και άλλων βιομηχανιών - συνεργασία δήμων και βιομηχανίας

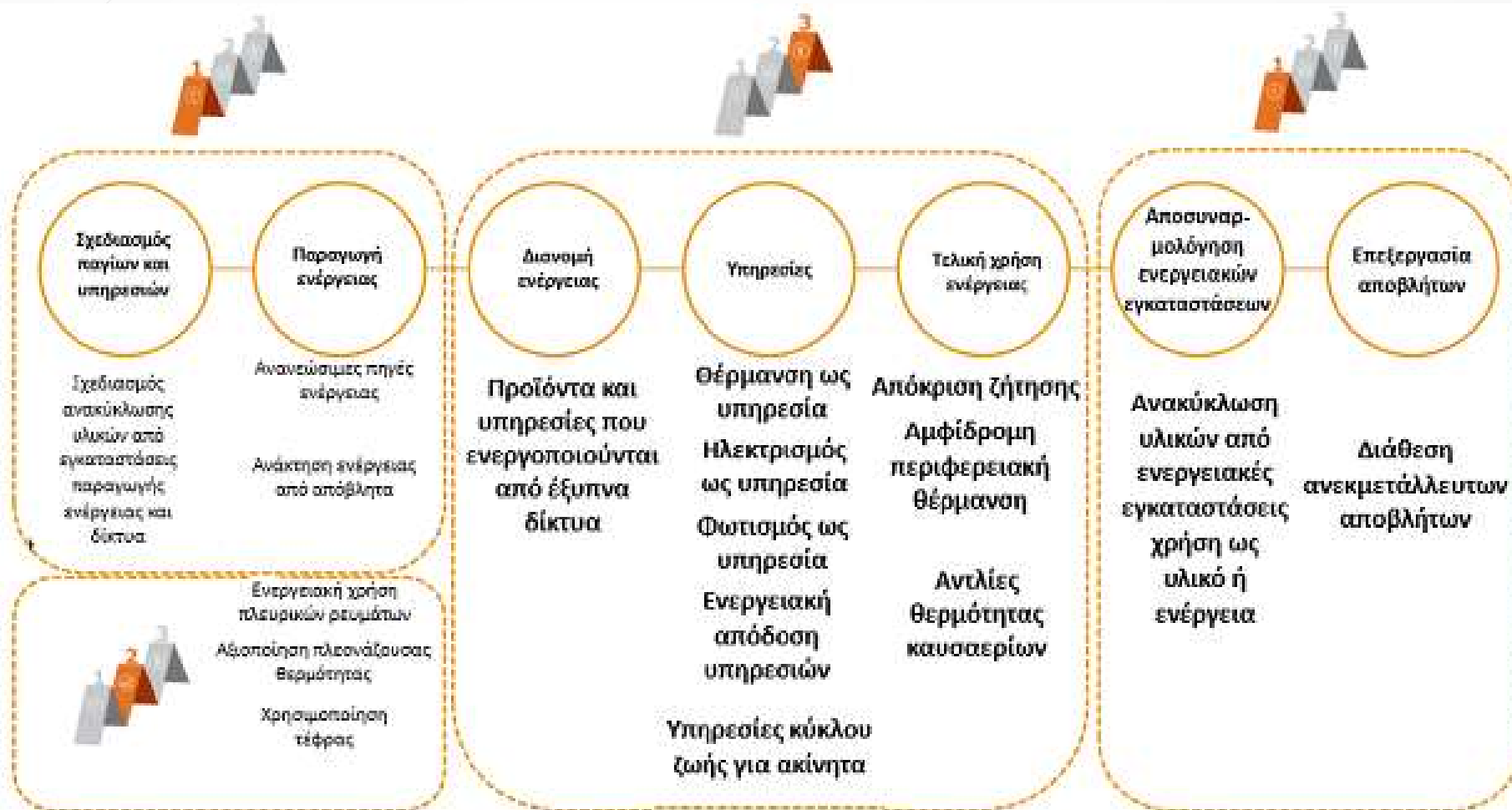
1. Κυκλική οικονομία παραγωγής ενέργειας

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παραγωγή ενέργειας από απόβλητα, ανακύκλωση υλικών από μονάδες παραγωγής ενέργειας

Πως βελτιστοποιείται το ενεργειακό σύστημα από άποψη κυκλικής οικονομίας;

Αλυσίδα αξίας ενέργειας

Παραδείγματα τακτικών κυκλικής οικονομίας



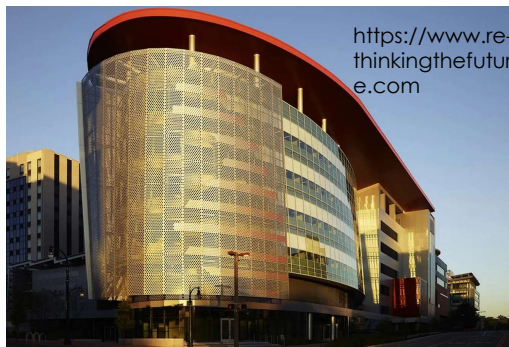
Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

- 1. Ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση: Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων, βιομηχανίας, μεταφορών (στόχος μεγιστοποίηση απόδοσης και ενίσχυση βιωσιμότητας)

1.1 Βελτίωση της Θερμομονωτικής ικανότητας κτιρίων & αναβάθμιση φωτισμού και συστημάτων HVAC

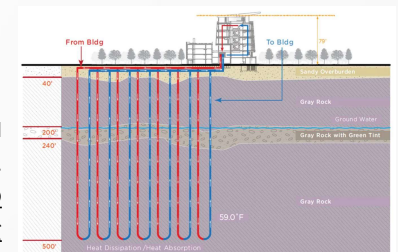
Εφαρμογή **υψηλής απόδοσης μονώσεων** για τη μείωση των απωλειών θερμότητας και ψύξης (θερμομονωτικές τοιχοποιίες, ηλιακή προστασία για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και κλιματισμό.

Π.χ.: **Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίων** που στοχεύει στην αναβάθμιση εκατομμυρίων κτιρίων σε ενεργειακά αποδοτικά κτίρια.



<https://www.re-thinkingthefuture.com>

Το Unisphere συνδυάζει αυτοματισμούς όπως ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα, γεωθερμικά πηγάδια, ηλεκτρομαγνητικό κέλυφος υψηλής απόδοσης, σύστημα θέρμανσης-ψύξης με σύνδεση γης, θερμική πισίνα κ.λπ., βοηθώντας το κτίριο να λειτουργεί χωρίς αποτύπωμα άνθρακα. Το κτίριο πουλάει περισσότερη ενέργεια από όση αγοράζει με τη βοήθεια 3.000 ηλιακών πάνελ που πλεονάζουν ενέργεια



The Unisphere, Μέριλαντ, ΗΠΑ | Net Zero Buildings, 135.000 τετραγωνικά πόδια, **πλήρως βιώσιμη κατασκευή μηδενικού ενεργειακού ισοζυγίου**. Ολοκληρώθηκε το 2018, το μεγαλύτερο κτίριο γραφείων στον κόσμο που λειτουργεί με βάση την έννοια της μηδενικής ενέργειας

Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

- 1. Ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση: Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων, βιομηχανίας, μεταφορών (στόχος μεγιστοποίηση απόδοσης και ενίσχυση βιωσιμότητας)

1.2 Ενεργειακή Απόδοση και εξοικονόμηση στη Βιομηχανία

Εφαρμογή έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας (**Energy Management Systems- EMS**) για την παρακολούθηση και την βελτίωση της απόδοσης των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

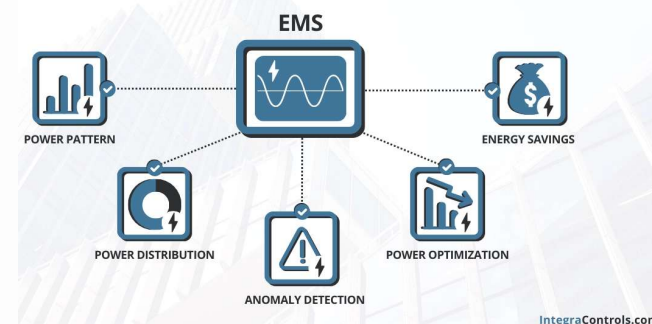
Π.χ.: Η Siemens παρέχει το σύστημα MindSphere, που συλλέγει δεδομένα και αναλύει την ενεργειακή απόδοση στις βιομηχανίες για τη μείωση της κατανάλωσης και την αύξηση της αποδοτικότητας.

Ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας

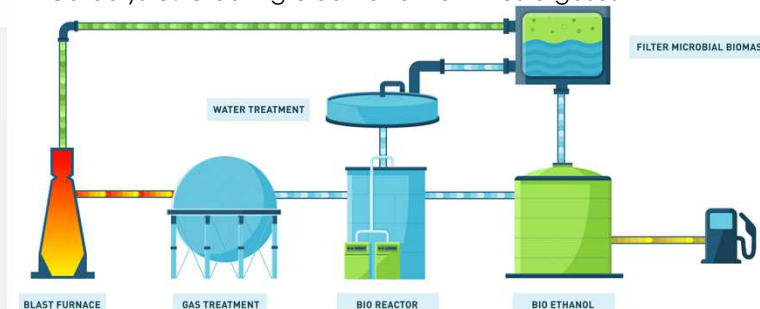
Αξιοποίηση απορριμμάτων και αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας μειώνοντας τις ανάγκες για πρώτες ύλες και την κατανάλωση ενέργειας.

Π.χ.: ArcelorMittal (η μεγαλύτερη εταιρεία χάλυβα στον κόσμο) εφαρμόζει τη μέθοδο της ανάκτησης θερμικής ενέργειας από την παραγωγή χάλυβα και τη χρήση αποβλήτων βιομάζας για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας στα εργοστάσια της

Energy Management System Benefits

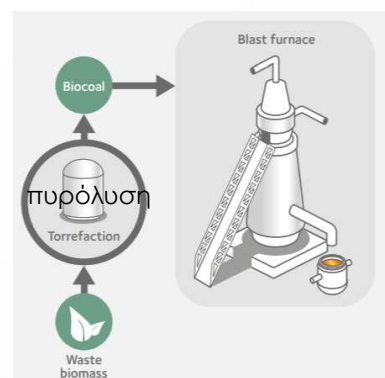


Carbalyst®: Creating bioethanol from waste gases



Πηγή καυσίμου: αέρια αποβλήτων από τη διαδικασία παραγωγής χάλυβα. Η τεχνολογία **Carbalyst®** χρησιμοποιεί έναν μικροοργανισμό που μπορεί να συλλέξει την ενέργεια που χρειάζεται από μόρια μονοξειδίου του άνθρακα. Ο μικροοργανισμός παράγει βιοαιθανόλη.

<https://automotive.arcelormittal.com/>



Torero: using biocarbon to fuel the blast furnace

Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

- 1. Ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση: Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων, βιομηχανίας, μεταφορών (στόχος μεγιστοποίηση απόδοσης και ενίσχυση βιωσιμότητας)

1.3 Ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση στις μεταφορές

Εφαρμογές:

- Προώθηση βιώσιμων μεταφορών (MMM, ποδηλασία)
- Ηλεκτροκίνηση και ανάπτυξη υποδομών φόρτισης
- Χρήση εναλλακτικών καυσίμων (βιοκαύσιμα, πράσινο υδρογόνο)
- Αναβάθμιση στόλου οχημάτων με οχήματα χαμηλής κατανάλωσης.
- Προώθηση βιώσιμων πόλεων.

Κυκλικά οφέλη:

- Μείωση κατανάλωσης καυσίμων.
- Μείωση ατμοσφαιρικής ρύπανσης και θορύβου.
- Προώθηση βιώσιμων πόλεων.



Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ): Ηλιακή, αιολική, βιομάζα, γεωθερμία, κυματική ενέργεια & Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση υλικών (π.χ. πάνελ, ανεμογεννήτριες)



Φωτοβολταϊκή συστοιχία

2.1 Η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω φωτοβολταϊκών πάνελ ή σε θερμότητα μέσω ηλιοθερμικών συστημάτων.

Κυκλικές εφαρμογές:

- Ανακύκλωση φωτοβολταϊκών πάνελ στο τέλος ζωής τους (ανάκτηση υλικών όπως γυαλί, πυρίτιο, αλουμίνιο, άργυρος).
- Επαναχρησιμοποίηση πάνελ με μειωμένη απόδοση σε εφαρμογές χαμηλότερων απαιτήσεων.
- Βελτίωση σχεδίασης (eco-design) για εύκολη αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση.
- Ανάπτυξη “πράσινων φωτοβολταϊκών” από μη τοξικά ή ανακυκλώσιμα υλικά.

Κυκλικά οφέλη:

- Μείωση αποβλήτων ηλεκτρονικού εξοπλισμού (e-waste).
- Ανάκτηση πολύτιμων πρώτων υλών.
- Βιώσιμη επέκταση του κύκλου ζωής της τεχνολογίας.

Ηλιοθερμικό παραβολικό πιάτο με κάτοπτρα. Συγκεντρώνει τις ακτίνες του ηλίου στη δεξαμενή μιας μηχανής Stirling. Το πιάτο ακολουθεί τον ήλιο κατά τη διάρκεια της μέρας.

<https://el.wikipedia.org/>



2.2 Η αιολική ενέργεια αξιοποιεί την κίνηση του αέρα για την παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω ανεμογεννητριών.



Κυκλικές εφαρμογές:

- Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση εξαρτημάτων (μέταλλα, μαγνήτες, ηλεκτρονικά).
- Διαχείριση πτερυγίων (blades) από σύνθετα υλικά – επεξεργασία και χρήση τους ως δομικά ή σύνθετα υλικά σε άλλες εφαρμογές (π.χ. οικοδομή, υποδομές).
- Επαναχρησιμοποίηση βάσεων και πύργων σε νέα έργα.
- Σχεδίαση για αποσυναρμολόγηση (modular design).

Κυκλικά οφέλη:

- Μείωση περιβαλλοντικού αποτυπώματος στο τέλος ζωής.
- Νέες αγορές για ανακυκλωμένα σύνθετα υλικά.
- Ενίσχυση κυκλικών αλυσίδων εφοδιασμού.

Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

2. Αναεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ): Ηλιακή, αιολική, βιομάζα, γεωθερμία, κυματική ενέργεια & Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση υλικών (π.χ. πάνελ, ανεμογεννήτριες)

2.3 Η βιομάζα προέρχεται από οργανικά υπολείμματα γεωργίας, τροφίμων ή βιομηχανίας και μπορεί να παράγει θερμότητα, ηλεκτρισμό ή βιοκαύσιμα.

Κύριες τεχνολογίες:

- Αξιοποίηση οργανικών αποβλήτων (αντί καύσης ορυκτών καυσίμων).
- Παραγωγή βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντίζελ, βιοαέριο) από απόβλητα τροφίμων ή φυτικά υπολείμματα.
- Επαναχρησιμοποίηση τέφρας ή υπολειμμάτων καύσης ως λίπασμα ή υλικό δόμησης.

Κυκλικά οφέλη:

- Μηδενικά απόβλητα μέσω ενεργειακής αξιοποίησης.
- Κυκλική χρήση άνθρακα (CO_2 που εκπέμπεται = CO_2 που απορροφάται από τη βιομάζα).
- Τοπική ενεργειακή αυτάρκεια.

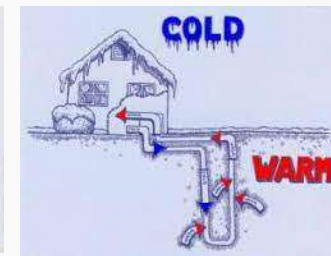
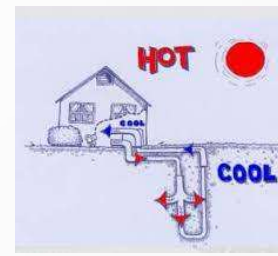
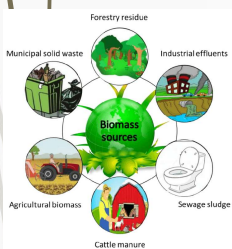
2.4 Η γεωθερμία αξιοποιεί τη θερμότητα του υπεδάφους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή θέρμανσης.

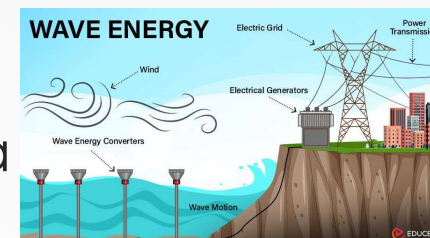
Κυκλικές εφαρμογές:

- Κλειστά κυκλώματα που αποτρέπουν τη ρύπανση υπόγειων υδάτων.
- Επαναχρησιμοποίηση γεωθερμικών ρευστών μετά τη χρήση τους.
- Συνδυασμός με τηλεθέρμανση και αγροτική παραγωγή (π.χ. θερμοκήπια).

Κυκλικά οφέλη:

- Ελαχιστοποίηση απωλειών ενέργειας.
- Τοπική, σταθερή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.
- Μηδενικά απόβλητα κατά τη λειτουργία.





2. **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ):** Ηλιακή, αιολική, βιομάζα, γεωθερμία, κυματική ενέργεια & Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση υλικών (π.χ. πάνελ, ανεμογεννήτριες)

2.5 Η ενέργεια των κυμάτων και των παλιρροιών είναι μια αναδυόμενη μορφή ΑΠΕ με σημαντικό δυναμικό.

Κυκλικές εφαρμογές:

- Σχεδίαση ανθεκτικών και ανακυκλώσιμων υλικών για θαλάσσιες εγκαταστάσεις.
- Ανακύκλωση μετάλλων και εξαρτημάτων μετά το τέλος ζωής.
- Συνδυασμένα έργα (π.χ. αιολικά-κυματικά-ηλιακά πάρκα) για μέγιστη αξιοποίηση υποδομών.



Κυκλικά οφέλη:

- Ελαχιστοποίηση περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

2.6 Επαναχρησιμοποίηση & Ανακύκλωση Υλικών στις ΑΠΕ

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ συνοδεύεται από μεγάλες ποσότητες υλικών (μέταλλα, γυαλί, σύνθετα υλικά). Η ενσωμάτωση κυκλικών πρακτικών επιτρέπει τη βιώσιμη διαχείριση αυτών σε όλο τον κύκλο ζωής τους, από την παραγωγή έως την απόσυρση.

Κυκλικές εφαρμογές:

- Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση πολύτιμων Α' υλών (αλουμίνιο, ασήμι, χαλκός, πυρίτιο).
- Ανακύκλωση εξοπλισμού στο τέλος ζωής (π.χ. πάνελ, πτερύγια, καλώδια).
- Σχεδιασμό υποδομών με βάση τον κύκλο ζωής (LCA).
- Χρήση ανακυκλωμένων υλικών στη νέα παραγωγή ενεργειακών συστημάτων.

Κυκλικά οφέλη:

- Μείωση αποβλήτων και εκπομπών CO₂ μέσω ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης υλικών.
- Μείωση κόστους παραγωγής και δημιουργία νέων «πράσινων» θέσεων εργασίας στην ανακύκλωση.
- Επέκταση του κύκλου ζωής των συστημάτων ΑΠΕ και μείωση του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος.



Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

3. Ενεργειακή αξιοποίηση αποβλήτων: Waste-to-energy, βιοαέριο, κυκλικά συστήματα στη γεωργία & βιομηχανία

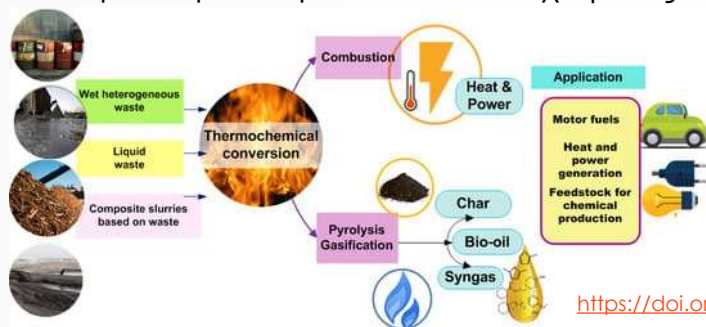
3.1 Η τεχνολογία Waste-to-Energy περιλαμβάνει διαδικασίες θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων για παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Κύριες τεχνολογίες:

- Καύση απορριμμάτων σε ελεγχόμενες συνθήκες με ανάκτηση θερμότητας (π.χ. για τηλεθέρμανση).
- Αεριοποίηση και πυρόλυση για παραγωγή συνθετικών καυσίμων ή αερίων (syngas).
- ΣΗΘ από τα παραγόμενα καύσιμα.

Κυκλικά οφέλη:

- Μείωση όγκου απορριμμάτων.
- Ανάκτηση ενέργειας από μη ανακυκλώσιμα υλικά.
- Μείωση εκπομπών μεθανίου από χώρους ταφής.



<https://doi.org/10.3390/app12031039>

3.2 Η αναερόβια χώνευση οργανικών αποβλήτων (τροφικά υπολείμματα, γεωργικά υποπροϊόντα, λύματα) παράγει βιοαέριο, ένα ανανεώσιμο καύσιμο που περιέχει κυρίως μεθάνιο (CH_4).

Κυκλικές εφαρμογές:

- Παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας σε μονάδες ΣΗΘ.
- Καθαρισμός και εμπλουτισμός για παραγωγή βιομεθανίου, που μπορεί να διοχετευτεί στο δίκτυο φυσικού αερίου ή να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.
- Αξιοποίηση υπολειμμάτων χώνευσης (digestate) ως βιολογικό λίπασμα στη γεωργία.

Κυκλικά οφέλη:

- Ενεργειακή αυτάρκεια σε αγροτικές και τοπικές κοινότητες.
- Μείωση εκπομπών μεθανίου από την ανεξέλεγκτη αποσύνθεση αποβλήτων.
- Παραγωγή ανανεώσιμων καυσίμων και λιπασμάτων.



<https://earth.org/>

Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

3. Ενεργειακή αξιοποίηση αποβλήτων: Waste-to-energy, βιοαέριο, κυκλικά συστήματα στη γεωργία & βιομηχανία

3.3 Η αγροδιατροφική αλυσίδα παράγει σημαντικές ποσότητες οργανικών αποβλήτων, τα οποία μπορούν να ενταχθούν σε κυκλικά συστήματα ενέργειας και υλικών.

Κυκλικές εφαρμογές:

- Αξιοποίηση ζωικών αποβλήτων για παραγωγή βιοαερίου.
- Επαναχρησιμοποίηση αγροτικών υπολειμμάτων (καλαμιά, κλαδέματα) ως βιομάζα.
- Παραγωγή κομπόστ και επιστροφή θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος.
- Συνεργατικά αγροενεργειακά πάρκα που συνδυάζουν παραγωγή τροφίμων και ενέργειας.

Κυκλικά οφέλη:

- Μηδενικά απόβλητα «από το χωράφι στην ενέργεια και πίσω στο χωράφι».
- Ενίσχυση ενεργειακής αυτάρκειας της γεωργίας.
- Βελτίωση γονιμότητας εδαφών μέσω επιστροφής οργανικής ύλης..

3.4 Η βιομηχανία μπορεί να εφαρμόσει συνεργατικά μοντέλα διαχείρισης αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας και πρώτων υλών

Κυκλικές εφαρμογές:

- Ανάκτηση θερμότητας από βιομηχανικές διεργασίες και επαναχρησιμοποίηση σε άλλες μονάδες.
- Χρήση οργανικών ή ενεργειακών αποβλήτων σε εγκαταστάσεις ΣΗΘ.
- Βιομηχανική συμβίωση: τα απόβλητα μίας επιχείρησης γίνονται πρώτες ύλες για μια άλλη.
- Παραγωγή πράσινων καυσίμων από υπολείμματα παραγωγής (π.χ. βιοντίζελ από χρησιμοποιημένα έλαια).

Κυκλικά οφέλη:

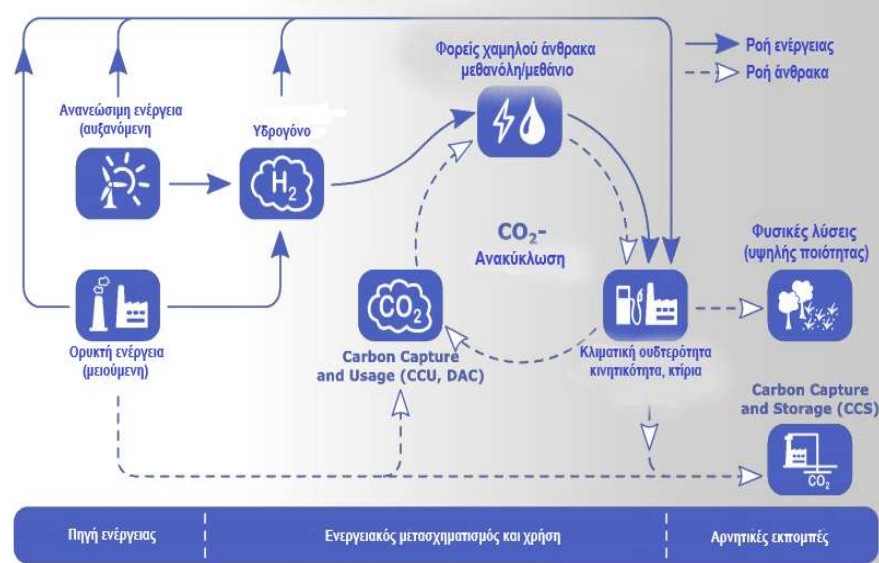
- Μείωση ενεργειακού κόστους και εκπομπών.
- Επαναξιοποίηση πόρων και υλικών.
- Δημιουργία νέων συνεργειών και επιχειρηματικών μοντέλων.

Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

- Σημαντικό στοιχείο αποτελεί η παραγωγή πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας**, για παράδειγμα στις ερήμους της γης γεμάτες ήλιο, με χαμηλό κόστος και σε όλο και μεγαλύτερες ποσότητες. Για πολλές εφαρμογές, η πράσινη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας. Κατ' άλλους, παράγεται πράσινο υδρογόνο (H_2), με ευρύ φάσμα πιθανών χρήσεων. **Το υδρογόνο και το CO_2 που δεσμεύονται από βιομηχανικές διεργασίες (carbon capture and utilization, CCU), χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κλιματικά ουδέτερων φορέων ενέργειας, ιδίως μεθανόλης (“υγρή ηλεκτρική ενέργεια”) και μεθανίου (“αέρια ηλεκτρική ενέργεια”).** Μια κατευθυντήρια αρχή είναι η μετατροπή των ενεργειακών διεργασιών που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα, προς κλιματικά ουδέτερους φορείς ενέργειας, έχοντας κατά νου πάντα την οικονομική και τεχνική σκοπιμότητα.

- Το φυσικό αέριο, σε συνδυασμό με τη δέσμευση και αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα (CCS),** θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο για τις επόμενες δεκαετίες. Με το φυσικό αέριο, μιλάμε για ηλεκτρική ενέργεια χαμηλών εκπομπών άνθρακα χωρίς προβλήματα αστάθειας, την παραγωγή κλιματικά ουδέτερου χάλυβα, τσιμέντου και πολλών χημικών προϊόντων, καθώς και την παραγωγή υδρογόνου χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

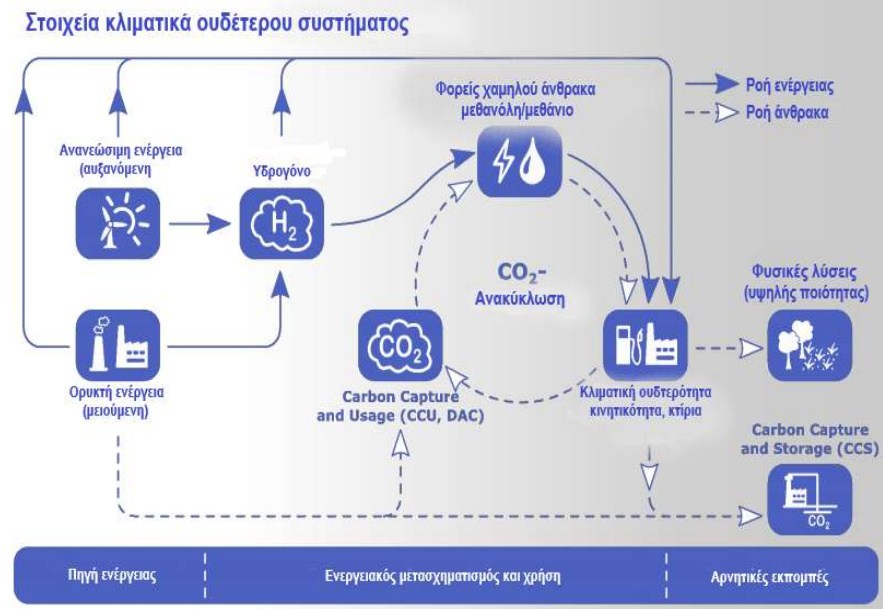
Στοιχεία κλιματικά ουδέτερου συστήματος



Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

- **Στην παραγωγή κλιματικά ουδέτερων φορέων ενέργειας**, η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε χημικά δεσμευμένη ενέργεια. Στη φύση, αυτή η διαδικασία ονομάζεται **φωτοσύνθεση**. Η **“τεχνική φωτοσύνθεση”** μετατρέπει το CO₂ σε πολύτιμο οικονομικό αγαθό σε μια κυκλική οικονομία άνθρακα. Περαιτέρω στάδια επεξεργασίας οδηγούν σε κλιματικά ουδέτερα συνθετικά καύσιμα και χημικά προϊόντα. Τα σημερινά οχήματα, αεροσκάφη και υποδομές μπορούν να συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται περαιτέρω, ενώ γίνονται κλιματικά ουδέτερα.

* σύνολο τεχνολογιών που μιμούνται τη φυσική φωτοσύνθεση με σκοπό να μετατρέψουν το CO₂ και το H₂O σε καύσιμα, χημικές πρώτες ύλες και ενεργειακούς φορείς με τη χρήση ηλιακής ή ανανεώσιμης ενέργειας.



- **Οι εκπομπές CO₂ πρέπει να επανεισαχθούν στον τεχνικό κύκλο άνθρακα μέσω CCU ή πρέπει να αποθηκευτούν μόνιμα με τη χρήση CCS.** Εάν αυτό δεν είναι δυνατό, μπαίνει στο παιχνίδι ένας βιολογικός κύκλος άνθρακα. Μέσω της αναδάσωσης, της προστασίας των τροπικών δασών ή του σχηματισμού χούμου στη γεωργία, οι αντίστοιχες εκπομπές CO₂ απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα (λύσεις που βασίζονται στη φύση), χρηματοδοτούμενες από την αγορά πιστοποιητικών κλίματος υψηλής ποιότητας από τους παραγωγούς εκπομπών.

Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

* Blockchain: ένα αποκεντρωμένο, αμετάβλητο ψηφιακό μητρώο όπου καταγράφονται με ασφάλεια όλες οι συναλλαγές ή συμβάντα στη ζωή ενός προϊόντος.

4. Αποθήκευση και διαχείριση ενέργειας: Κυκλικός σχεδιασμός μπαταριών, επαναχρησιμοποίηση πρώτων υλών

Ο κυκλικός σχεδιασμός στοχεύει στο να παρατείνει τη διάρκεια ζωής των μπαταριών και να διευκολύνει την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωσή τους (χρήση βιώσιμων υλικών, σχεδίαση για εύκολη αντικατάσταση, ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση).

Κυκλικές εφαρμογές:

- Battery recycling hubs: κέντρα επεξεργασίας για συλλογή και ανακύκλωση.
- Hydrometallurgical & pyrometallurgical processes: σύγχρονες μέθοδοι ανάκτησης μετάλλων.
- Digital twins & blockchain: παρακολούθηση κύκλου ζωής και ιχνηλασιμότητα υλικών.
- Δεύτερη ζωή (second-life) μπαταριών: χρήση παλαιών μπαταριών EV σε σταθμούς αποθήκευσης ενέργειας ή μικροδίκτυα.

Κυκλικά οφέλη:

- Μείωση κατανάλωσης πρώτων υλών.
- Μείωση περιβαλλοντικού αποτυπώματος.
- Δημιουργία νέων αγορών και θέσεων εργασίας στην ανακύκλωση ενέργειας.



Το νέο εργοστάσιο της εταιρείας στο Covington της Georgία επεξεργάζεται χρησιμοποιημένες μπαταρίες ιόντων λιθίου και μετατρέπει scrap σε δευτερογενείς πρώτες ύλες.

<https://rawmathub.gr/>

Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

■ 5. Ψηφιακές τεχνολογίες: Smart grids, IoT, big data για αποδοτική διαχείριση ενέργειας

Οι ψηφιακές τεχνολογίες αποτελούν το εργαλείο-κλειδί για την υλοποίηση αυτών των στόχων, καθώς επιτρέπουν έξυπνη, ευέλικτη και βιώσιμη διαχείριση της ενέργειας.

• 1. Smart Grids (Έξυπνα Δίκτυα): αποτελούν την «ραχοκοκαλιά» της ψηφιακής ενεργειακής μετάβασης.

Εφαρμογές:

- Έξυπνοι μετρητές για συνεχή καταγραφή κατανάλωσης και ενημέρωση του καταναλωτή.
- Αυτοματισμοί σε κτίρια και βιομηχανίες (έλεγχος φωτισμού, θέρμανσης, ψύξης, μηχανών)
- Προγνωστική συντήρηση εξοπλισμού με βάση αισθητήρες απόδοσης.
- Διαχείριση μικροδικτύων (microgrids) και ενεργειακών κοινοτήτων.

Κυκλικά οφέλη:

- Μείωση κατανάλωσης ενέργειας με βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο.
- Παράταση διάρκειας ζωής εξοπλισμού μέσω προληπτικής συντήρησης.
- Αύξηση αποδοτικότητας στη χρήση πρώτων υλών και ενέργειας.

Πρακτικές Κυκλικής Οικονομίας στον Ενεργειακό Τομέα

5. Ψηφιακές τεχνολογίες: Smart grids, IoT, big data για αποδοτική διαχείριση ενέργειας (συνέχεια)

- **2. Internet of Things (IoT):** Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων συνδέει αισθητήρες, μετρητές, συσκευές και εγκαταστάσεις σε ένα δίκτυο που “μιλά” και “μαθαίνει”.

Εφαρμογές:

- Αυτοματοποιημένη Βελτιστοποίηση: Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες IoT τροφοδοτούν συνεχώς το σύστημα (π.χ., το EMS). Το **σύστημα “μαθαίνει”** από αυτά τα δεδομένα **και προσαρμόζει αυτόματα τη λειτουργία των συσκευών** (π.χ., ρυθμίζει τη θερμοκρασία του κλιματιστικού), οδηγώντας σε συνεχή βελτίωση της απόδοσης.
- Ανατροφοδότηση και Συνεχής Μάθηση.
- Προγνωστική Συντήρηση.
- Βελτιωμένη Ποιότητα και Άνεση: Τα συστήματα HVAC που ρυθμίζονται με ακρίβεια μέσω IoT εξασφαλίζουν σταθερά βέλτιστες συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, ποιότητα αέρα), βελτιώνοντας την άνεση των χρηστών.

Κυκλικά οφέλη:

- τα δεδομένα δημιουργούν πληροφορίες, οι πληροφορίες οδηγούν σε αυτοματοποιημένες δράσεις, οι δράσεις μετρούνται ξανά ως νέα δεδομένα, βελτιώνοντας συνεχώς το σύστημα σε έναν αέναο κύκλο απόδοσης..
- Αύξηση αποδοτικότητας στη χρήση πρώτων υλών και ενέργειας.

- **3. Big Data & Τεχνητή Νοημοσύνη (AI):** Η συλλογή, ανάλυση και αξιοποίηση μεγάλων δεδομένων επιτρέπει έξυπνη λήψη αποφάσεων σε όλο το ενεργειακό σύστημα.

Εφαρμογές:

- Ανάλυση ζήτησης και πρόβλεψη κατανάλωσης για αποφυγή αιχμών φορτίου.
- Βελτιστοποίηση δικτύων και λειτουργίας ΑΠΕ.
- Πρόβλεψη παραγωγής από ΑΠΕ (αιολικά, φωτοβολταϊκά).
- Ενεργειακές αγορές σε πραγματικό χρόνο (real-time energy trading).

Κυκλικά οφέλη:

- Ελαχιστοποίηση σπατάλης ενέργειας με βάση δεδομένα.
- Αποτελεσματική αξιοποίηση αποθηκευμένης ή πλεονάζουσας ενέργειας.
- Συνεχής βελτίωση αποδοτικότητας μέσω ανάλυσης κύκλου ζωής (LCA).

Παραδείγματα κυκλικής οικονομίας στον τομέα της ενέργειας: Πάρκο κυκλικής οικονομίας πρώην Fortum Recycling & Waste, πλέον NG Nordic
Δράση κυκλικής οικονομίας: Ανακύκλωση αποβλήτων και χρήση ενέργειας

Υπηρεσία	Οφέλη
Συλλογή & Διαχείριση Αποβλήτων	- Αξιόπιστη και βιώσιμη διαχείριση αποβλήτων. - Αποδέσμευση επικίνδυνων ροών αποβλήτων (hazardous waste) με ασφάλεια. - Διεθνής εξυπηρέτηση: υπάρχει δυνατότητα επεξεργασίας απαιτητικών ρευμάτων αποβλήτων διεθνώς.
Ανακύκλωση Υλικών	- Επαναφορά πολύτιμων υλικών στην κυκλική οικονομία. - Μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, καθώς λιγότερα υλικά καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής. - Παροχή ανακυκλωμένων πρώτων υλών (π.χ. μέταλλα, πλαστικά) υψηλής ποιότητας
Ανακύκλωση Τέφρας	- Επεξεργασία τέφρας (fly ash, bottom ash) από μονάδες καύσης και ανακατάληψη μετάλλων και ορυκτών. - Επαναχρησιμοποίηση παραπροϊόντων, μειώνοντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ενεργειακών εγκαταστάσεων.
Καθαρισμός Περιβάλλοντος / Περιβαλλοντικές Υπηρεσίες	- Παρακολούθηση δεδομένων αποβλήτων, βελτιστοποίηση ροών μέσα από ψηφιοποίηση. - Ανάλυση και βελτίωση διαδικασιών για αύξηση αποδοτικότητας και μείωση κόστους
CO ₂ -βασικά Υλικά / Καινοτόμα Προϊόντα	Μέσω της πρωτοβουλίας Carbon2x, αιχμαλωτίζει CO₂ από τη διαδικασία καύσης και το μετατρέπει σε πρώτες ύλες για νέα προϊόντα.
Διαχείριση Επικίνδυνων Αποβλήτων	- Εξειδικευμένη διαχείριση και επεξεργασία επικίνδυνων υλικών ώστε να μην επιβαρύνουν το περιβάλλον. - Πλήρης ιχνηλασιμότητα και ασφάλεια, με τεχνολογίες αιχμής



Πρόσθετα Οφέλη (σε επίπεδο κυκλικής οικονομίας - περιβαλλοντικό)

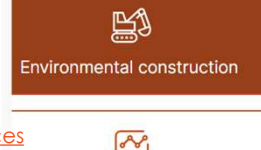
- Συνεισφέρει στη μείωση των εκπομπών CO₂, καθώς μέσω ανακύκλωσης υλικών αποφεύγεται η παραγωγή νέων πρώτων υλών.
- Συμβάλλει στην αποτοξίνωση της κυκλικής ροής υλικών, αφαιρώντας επικίνδυνες ουσίες από την κυκλοφορία.
- Ενθαρρύνει τη συνεργασία με πελάτες για τη βελτιστοποίηση των ροών αποβλήτων, γεγονός που μπορεί να μειώσει κόστος και περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

<https://www.ngnordic.com/services>

<https://services.ngnordic.com/waste-management>



NG
Nordic



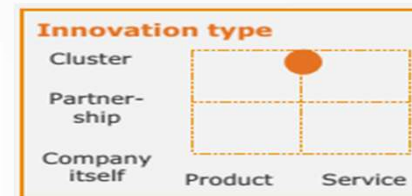
Παραδείγματα κυκλικής οικονομίας στον τομέα της ενέργειας: Πάρκο κυκλικής οικονομίας πρώην Fortum Recycling & Waste, πλέον NG Nordic

Από πού προέρχονται τα απόβλητα;

Χώρα	Από πού προέρχονται τα απόβλητα
Φινλανδία	Η NG Nordic έχει σημαντική παρουσία και διαχειρίζεται βιομηχανικά και αστικά απόβλητα στο εσωτερικό της.
Σουηδία	- Η NG Nordic έχει εγκαταστάσεις και διαχείριση αποβλήτων στη Σουηδία. - Το recycling / ανακύκλωση μέσω της “circular value chain” καλύπτει τη Σουηδία.
Δανία	Συμμετέχει σε διαχείριση αποβλήτων και υπηρεσίες ανακύκλωσης στη Δανία.
Νορβηγία	Η επιχείρηση λειτουργεί και στη Νορβηγία — στο δελτίο τύπου συγχώνευσης αναφέρεται η Νορβηγία ανάμεσα στις χώρες όπου είναι ενεργή

Παρέχουν υπηρεσίες κυκλικών υλικών, διαχείρισης αποβλήτων και περιβάλλοντος για οργανισμούς όλων των μεγεθών.

Δραστηριοποιούνται σε όλες τις Σκανδιναβικές χώρες, την Πολωνία και το Ηνωμένο Βασίλειο στις 90 εγκαταστάσεις επεξεργασίας που διαθέτουν.



Markets

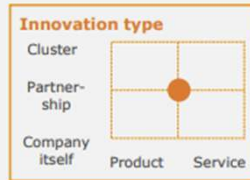
Denmark Finland Global Norway Sweden

Services

Ash recycling Cable recycling Demolition & construction Digital solutions
 Drill & cut services Electronic waste (WEEE) Environmental services
 Hazardous waste management Industrial cleaning Medical waste Metal
 Plastics Waste management Water treatment

Παραδείγματα κυκλικής οικονομίας στον τομέα της ενέργειας: Αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση αιολικού πάρκου

Δράση κυκλικής οικονομίας: Ανακύκλωση μονάδας παραγωγής ενέργειας



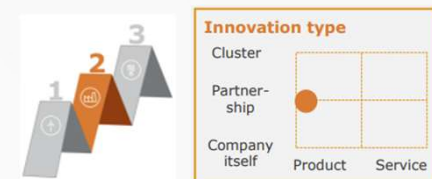
- Η **Delete Finland** ολοκλήρωσε την αποσυναρμολόγηση του παλαιότερου αιολικού πάρκου της Φινλανδίας, το οποίο ανήκε στην VS Tuulivoima. Το 26χρονο, πρώτο φινλανδικό αιολικό πάρκο που κατασκευάστηκε έφτασε στο τέλος του κύκλου ζωής του. Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής των αιολικών πάρκων είναι συνήθως περίπου 20-25 χρόνια και αρκετές επισκευές και αντικαταστάσεις εξαρτημάτων είχαν ήδη γίνει σε αυτό το αιολικό πάρκο όλα αυτά τα χρόνια.
- Σύμφωνα με την Delete,
 - περίπου το **85% των αποβλήτων κατεδάφισης ανακυκλώνεται**.
 - Το ανακυκλώσιμο υλικό αποτελείται κυρίως από **μέταλλο**, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για νέα προϊόντα.
 - Άλλα ανακυκλώσιμα εξαρτήματα: είναι οι **ηλεκτροκινητήρες**, τα **καλώδια**, τα **γρανάζια** και τα **λάδια γραναζιών**.
 - Τα **κιβώτια ταχυτήτων** αφέθηκαν άθικτα κατά τη φάση της αποσυναρμολόγησης, προκειμένου να διευκολυνθεί η ανακύκλωση των λαδιών στο εσωτερικό τους.
 - Οι **ίνες γυαλιού** είναι το πιο δύσκολο υλικό για ανακύκλωση σε αιολικούς σταθμούς. Μέρη αυτών μπορούν παρόλα αυτά να χρησιμοποιηθούν ως ενέργεια.



Παραδείγματα βιομηχανικών συμβιώσεων και συνεργασίας κυκλικής οικονομίας σε επίπεδο δήμου: Λίπασμα τέφρας Naturlan από την Naraapiirin Energia ja Vesi

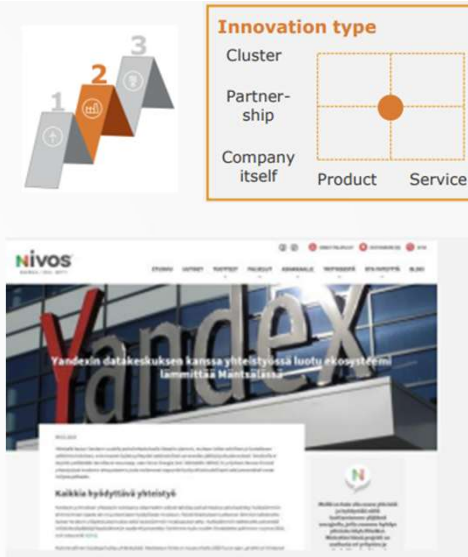
Δράση κυκλικής οικονομίας: Αξιοποίηση της τέφρας

- Η **Naraapiirin Energia ja Vesi (Neve)** παράγει δασικά λιπάσματα από την τέφρα που δημιουργείται κατά τη διαδικασία αποτέφρωσης του εργοστασίου συμπαραγωγής και ηλεκτρισμού (CHP).
- Η Neve επέτρεψε τις πωλήσεις του προϊόντος λιπάσματος τέφρας Naturlan δημιουργώντας μια διαδικασία για τον χειρισμό της τέφρας και σε συνεργασία με τοπικές εταιρείες μεταφορών και πωλήσεων.
- Η τέφρα προέρχεται από το Rovaniemi, όπου ξύλο και τύρφη καίγονται στον ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό και τον λέβητα νερού της Suosiola.
- Το λίπασμα Naturlan επιστρέφει τα θρεπτικά συστατικά της τέφρας που προέρχονται από την καύση ξύλου και τύρφης πίσω στο δάσος.
- Σύμφωνα με τον Neve, ο φόρος επί των αποβλήτων, που εισήχθη το 2011, επιτάχυνε την αναζήτηση νέων χρήσεων της τέφρας που προέρχεται από την παραγωγή ενέργειας. Το 2012, η καταχώριση της τέφρας στο μητρώο ελέγχου της Φινλανδικής Αρχής Ασφάλειας Τροφίμων επέτρεψε τη χρήση της τέφρας ως δασικού λιπάσματος.



Παραδείγματα βιομηχανικών συμβιώσεων και συνεργασίας κυκλικής οικονομίας σε επίπεδο δήμου: Ανάκτηση πλεονάζουσας θερμότητας από κέντρο δεδομένων στο δίκτυο τηλεθέρμανσης

Δράση κυκλικής οικονομίας: Ανάκτηση πλεονάζουσας θερμότητας

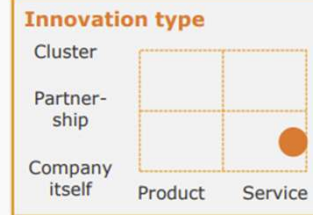


- Η θερμότητα που παράγεται από τον εξοπλισμό του ρωσικού κέντρου δεδομένων Yandex στο Mäntsälä συλλέγεται στο δίκτυο τηλεθέρμανσης του Mäntsälä από την **Nivos Energia**.
- Η ανάκτηση της θερμότητας μειώνει τόσο το κόστος συντήρησης της Yandex όσο και την ανάγκη για καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην τηλεθέρμανση. Έτσι, η λύση μειώνει σημαντικά και τις εκπομπές CO₂ από την παραγωγή τηλεθέρμανσης.
- Η Calefa, μια εταιρεία που επικεντρώνεται στην αξιοποίηση της πλεονάζουσας θερμότητας, παρέδωσε τον εξοπλισμό.
- Κάθε δευτερόλεπτο, το κέντρο δεδομένων παράγει την αντίστοιχη ποσότητα θερμότητας με περίπου 1000 σόμπες σάουνας. Η Nivos αγοράζει τη θερμική ενέργεια του κέντρου δεδομένων και έτσι μπορεί να λάβει την θερμική ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση 1000 κατοικιών.
- Η λύση δεν θα είχε γεννηθεί χωρίς τη στενή συνεργασία μεταξύ της Yandex, της Nivos και της Calefa.

Καινοτομίες κυκλικής οικονομίας στη διεπαφή του πελάτη: Oulun Energia Urakointi Oy's Valoa

Δράση κυκλικής οικονομίας: Ενέργεια ως υπηρεσία (Energy-as-a-service)

- Η Oulun Energia προσφέρει υπηρεσίες φωτισμού σε οικιστικούς συνεταιρισμούς, εταιρείες και δημόσιους φορείς.
- Το πακέτο υπηρεσιών Valoa περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, απογραφή του τρέχοντος φωτισμού, χαρτογράφηση και τεκμηρίωση, σχεδιασμό, κατασκευή και συντήρηση ενός νέου συστήματος.
- Οι πελάτες μπορούν να αναθέσουν τον σχεδιασμό και την υλοποίηση μεγάλων έργων φωτισμού στην Oulun Energia.
- Η υπηρεσία φωτισμού πληρώνεται σύμφωνα με μια μηνιαία αμοιβή για την περίοδο της σύμβασης, κατά την οποία η Oulun Energia είναι επίσης υπεύθυνη για τη συντήρηση και τις επισκευές.
- Σε ένα νέο έργο φωτισμού, τα φώτα LED μπορούν να εξοικονομήσουν έως και 50% στο ενεργειακό κόστος σε σύγκριση με τα παραδοσιακά φώτα.
- Επιπλέον, τα συστήματα νυχτερινού χρονισμού και ελέγχου μπορούν να βοηθήσουν στην επίτευξη πρόσθετης εξοικονόμησης.

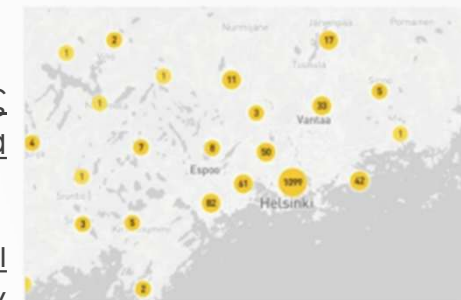
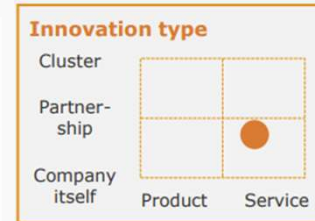


Καινοτομίες κυκλικής οικονομίας στη διεπαφή του πελάτη: Η Δέσμευση Θερμότητας της Ελένης

Δράση κυκλικής οικονομίας: Απόκριση στη ζήτηση

- Συμμετέχοντας στην καμπάνια «**Helen's Heat Pledge**», οι καταναλωτές υποσχέθηκαν να μειώσουν την κατανάλωση θερμότητας στο σπίτι τους κατά τις χρονικές στιγμές που ανακοίνωσε η Ελένη.
- Η καμπάνια επιδίωξε να μειώσει την ποσότητα καυσίμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή τηλεθέρμανσης και, ως εκ τούτου, να μειώσει και την ποσότητα των εκπομπών που παράγονται κατά τις ώρες αιχμής της χειμερινής κατανάλωσης. Κατά τις ώρες αιχμής του χειμώνα 2016-2017, στάλθηκαν λεπτομερείς οδηγίες στους καταναλωτές που δεσμεύτηκαν για τη δέσμευση.
- Σύμφωνα με την καμπάνια,
 - όταν 10.000 άτομα μειώνουν στιγμιαία τη θέρμανση του σπιτιού τους, οι εκπομπές μειώνονται κατά το ισοδύναμο ποσό περίπου 10.000 λίτρων πετρελαίου.
 - Κατά τη διάρκεια του χειμώνα 2016-2017, περισσότεροι από 2.800 δεσμευτές εξοικονόμησαν συνολικά 2.200 λίτρα πετρελαίου.

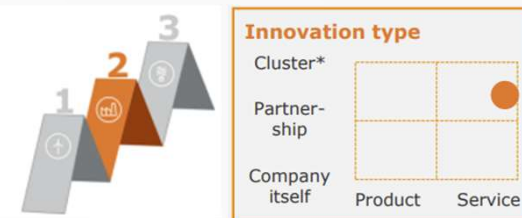
Η Ελένη ήθελε να δοκιμάσει την ευελιξία του ενεργειακού συστήματος με την καμπάνια, καθώς και την προθυμία των καταναλωτών να συμμετάσχουν στην απόκριση ζήτησης.



Παραδείγματα κυκλικής οικονομίας στον τομέα της ενέργειας: Ο εικονικός σταθμός παραγωγής ενέργειας του “**Savon Voima**” και “**Energy2market**”

Δράση κυκλικής οικονομίας: Εικονικός σταθμός παραγωγής ενέργειας*

- Η **Savon Voima** κατασκευάζει έναν εικονικό σταθμό παραγωγής ενέργειας για τις φινλανδικές αγορές εξισορρόπησης και εφεδρείας μαζί με τη γερμανική εταιρεία “**Energy2market (e2m)**”.
- Η λύση παρέχει έναν αξιόπιστο και εύκολο τρόπο για τις εταιρείες να συμμετάσχουν στην αγορά εξισορρόπησης.
- Σύμφωνα με την Savon Voima, εταιρείες και κοινότητες που καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να ενσωματωθούν στον εικονικό σταθμό παραγωγής ενέργειας.
- Η λύση επιτρέπει σε ολοένα και περισσότερους παίκτες να συμμετάσχουν στην αγορά εξισορρόπησης και εφεδρείας που διατηρεί η **Fingrid**.
- Η Energy2market (e2m) έχει εμπειρία από διάφορες παρόμοιες λύσεις στη Γερμανία, την Πολωνία, την Αυστρία και την Ιταλία.



* Ένας **εικονικός σταθμός παραγωγής ενέργειας** είναι μια εγκατάσταση (συνήθως φωτοβολταϊκή) που επιτρέπει σε έναν «αυτοπαραγωγό» να συμψηφίζει την ενέργεια που παράγει με την ενέργεια που καταναλώνει από το δίκτυο, ακόμα κι αν οι δύο εγκαταστάσεις δεν βρίσκονται στον ίδιο φυσικό χώρο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού (virtual net metering) ή του εικονικού ταυτοχρονισμένου ενεργειακού συμψηφισμού (virtual net billing), όπου η ενέργεια που παράγεται εγχέεται στο δίκτυο και στη συνέχεια πιστώνεται στον λογαριασμό κατανάλωσης του αυτοπαραγωγού.

Παραδείγματα κυκλικής οικονομίας στον τομέα της ενέργειας: Υβριδικό σύστημα θέρμανσης "Etelä-Savon Energia" s»

Δράση κυκλικής οικονομίας: Ηλιακοί συλλέκτες στην παραγωγή τηλεθέρμανσης

- Η **Etelä-Savon Energia (ESE)** υλοποίησε ένα πιλοτικό έργο για το σύστημα τηλεθέρμανσης της Ristiina, όπου το φορτίο του σταθμού βιοενέργειας μειώνεται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού με τη βοήθεια ηλιακής θερμότητας.
- Το ηλιακό σύστημα θέρμανσης για το πιλοτικό πρόγραμμα παρείχε η **Savosolar**.
- Η συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται σε έναν σταθμό βιοενέργειας με τη βοήθεια **ρευστού μεταφοράς θερμότητας.**
- Μια δεξαμενή νερού 300 λίτρων, μια μονάδα άντλησης και ένα κέντρο ελέγχου βρίσκονται στον **σταθμό βιοενέργειας.**
- Χάρη στον συσσωρευτή, η ηλιακή θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί στο δίκτυο τηλεθέρμανσης όταν χρειάζεται.
- Η περίσσεια θερμότητας μπορεί να αποβληθεί στο δίκτυο με παρόμοιο τρόπο όπως μια μπαταρία.



Innovation type

Cluster*		
Partnership	●	
Company itself		
	Product	Service



Προκλήσεις κυκλικής οικονομίας στις ΑΠΕ

► Φωτοβολταϊκά

► Τεχνικές προκλήσεις

- Τα πάνελ αποτελούνται από πολλαπλά στρώματα (γυαλί, EVA, πυρίτιο, μέταλλα, πλαστικά) τα οποία δυσχεραίνουν την αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση.
- Η τεχνολογία ανακύκλωσης για λεπτό φιλμ (CdTe, CIGS) απαιτεί εξειδικευμένες εγκαταστάσεις (ειδικά πρωτόκολλα ασφαλείας και χειρισμού τοξικών ουσιών).
- Περιορισμένες δυνατότητες επισκευής ή ανακατασκευής (τα πάνελ δεν σχεδιάζονται για “modular repair”).
- Οι ενσωματωμένες ενώσεις (π.χ. κόλλες EVA) χρειάζονται θερμική επεξεργασία υψηλής ενέργειας για να διαχωριστούν.

► Περιβαλλοντικές προκλήσεις



- Κίνδυνος τοξικότητας από βαρέα μέταλλα (π.χ. κάδμιο, μόλυβδος) σε πάνελ παλαιάς τεχνολογίας.
- Μελλοντικά αναμένονται μεγάλοι όγκοι αποβλήτων (έως 78 εκατ. τόνοι το 2050, IRENA).
- Έλλειψη υποδομών ασφαλούς συλλογής και διαχείρισης αποβλήτων PV σε πολλές χώρες.

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, **μπορούμε να προμηθευτούμε πρώτες ύλες αξίας ~450 εκατομμυρίων δολαρίων από παλιά πάνελ παγκοσμίως στο τέλος του 2030.** Αυτό το ποσό ισοδυναμεί με το κόστος των υλικών για την κατασκευή τουλάχιστον **60 εκατομμυρίων νέων ηλιακών πάνελ.** Σε περίπτωση μη ανακύκλωσης, **60 εκατομμύρια τόνοι αποβλήτων φωτοβολταϊκών πάνελ** θα επηρεάσουν τους **χώρους υγιεινομικής ταφής έως το έτος 2050**, καθώς όλα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία περιέχουν έναν ορισμένο αριθμό τοξικών ουσιών, οι οποίες θα αποτελούσαν πραγματικά έναν **μη βιώσιμο τρόπο προμήθειας ενέργειας.**

► Οικονομικές προκλήσεις

- Το κόστος ανακύκλωσης (20–30 €/πάνελ) συχνά υπερβαίνει την αξία των ανακτημένων υλικών (<5 €).
- Απουσία οικονομίας κλίμακας σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης.
- Περιορισμένη αγορά για δευτερογενή γυαλί ή πυρίτιο.

► Ρυθμιστικές προκλήσεις

- Σε πολλές χώρες δεν υφίστανται υποχρεωτικά συστήματα συλλογής PV μετά το τέλος ζωής.
- Απουσία πλήρους Εκτεταμένης Ευθύνης Παραγωγού (Extended Producer Responsibility, EPR) πλαισίου για παραγωγούς.
- Ανεπαρκής παρακολούθηση της ροής πάνελ (εισαγωγές, εξαγωγές, εγκατάσταση, διάθεση).

Προκλήσεις κυκλικής οικονομίας στις ΑΠΕ

Αιολικά συστήματα – Ανεμογεννήτριες

Τεχνικές προκλήσεις

- Τα πτερύγια αποτελούνται από σύνθετα πολυμερή (fiberglass, εποξικές ρητίνες) που είναι δύσκολα ή αδύνατο να ανακυκλωθούν με τις υπάρχουσες τεχνολογίες.
- Ο όγκος και μέγεθος των πτερυγίων καθιστά δύσκολη τη μεταφορά και τη διάθεση.
- Η διάλυση των βάσεων και των πύργων απαιτεί βαριά μηχανήματα και ενέργεια.
- Περιορισμένες δυνατότητες “repowering” (αντικατάσταση μόνο των απαραίτητων μερών).

Περιβαλλοντικές προκλήσεις

- Απόρριψη πτερυγίων σε χώρους υγειονομικής ταφής (landfill) σε πολλές χώρες.
- Δυσκολία επαναχρησιμοποίησης των ινών λόγω μόλυνσης με ρητίνες.
- Μεγάλο αποτύπωμα άνθρακα στην παραγωγή των σύνθετων υλικών.

Composites and Polymers/Blades and Nacelles



Steel and Its Alloying Elements/Towers, Nacelles, Drivetrains



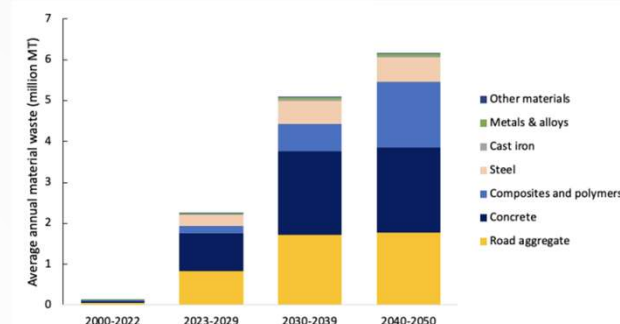
Rare Earth Permanent Magnets/Turbine Generators



Foundations and Substructures



Other Systems-Level Priorities



Οικονομικές προκλήσεις

- Υψηλό κόστος μεταφοράς και ανακύκλωσης των πτερυγίων (λόγω όγκου και βάρους).
- Ελλιπής αγορά για δευτερογενή υλικά σύνθετων (fiberglass recycilate).
- Η ανακύκλωση χαλύβδινων πύργων είναι σχετικά εύκολη, αλλά συχνά μη επικερδής χωρίς επιδότηση.

Ρυθμιστικές προκλήσεις

- Έλλειψη ειδικών οδηγιών ΕΕ ή διεθνών προτύπων για διαχείριση πτερυγίων στο τέλος ζωής.
- Ασαφείς ευθύνες μεταξύ ιδιοκτητών έργου, κατασκευαστών και διαχειριστών.
- Ανάγκη για νομικό πλαίσιο που να επιβάλλει προδιαγραφές “eco-design”.

<https://docs.nrel.gov/docs/fy25osti/87970.pdf>

<https://repository.tudelft.nl/>

Προκλήσεις κυκλικής οικονομίας στις ΑΠΕ

■ Αποθήκευση ενέργειας - μπαταρίες

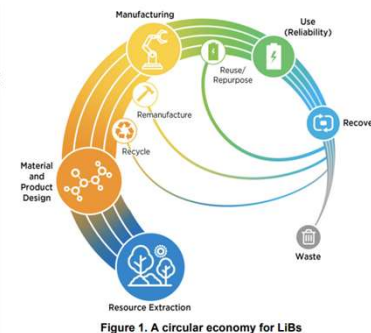
■ Τεχνικές προκλήσεις

- Σύνθετη χημική σύσταση (Li, Co, Ni, Mn, Al, γραφίτης) που απαιτεί επεξεργασία πολλών βημάτων.
- Οι υπάρχουσες μέθοδοι (πυρομεταλλουργία, υδρομεταλλουργία) έχουν χαμηλή απόδοση ανάκτησης λιθίου (<50%).
- Ανάγκη για πρότυπα "second-life" ώστε να επαναχρησιμοποιούνται σε μικρότερες εφαρμογές.
- Έλλειψη τεχνολογιών για ασφαλή αποσυναρμολόγηση σε μεγάλη κλίμακα.

■ Περιβαλλοντικές προκλήσεις

- Κίνδυνοι τοξικών εκπομπών (HF, βαρέα μέταλλα) κατά την ανακύκλωση.
- Ανασφαλής αποθήκευση ή διάθεση μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιές ή διαρροές.
- Υψηλό αποτύπωμα άνθρακα στην εξόρυξη και επεξεργασία πρώτων υλών.

A circular economy for LiBs
(large-format lithium-ion batteries)



■ Οικονομικές προκλήσεις

- Ασταθής αξία των ανακτημένων μετάλλων, καθιστώντας την ανακύκλωση οικονομικά οριακή.
- Απουσία επενδύσεων σε υποδομές ανακύκλωσης.
- Ανάγκη για νέα επιχειρηματικά μοντέλα (Battery-as-a-Service) που ενσωματώνουν κυκλικότητα.

■ Ρυθμιστικές προκλήσεις

- Εφαρμογή νέου Κανονισμού ΕΕ για Μπαταρίες (EU 2023/1542) ακόμη σε μεταβατικό στάδιο.
- Έλλειψη εναρμόνισης προτύπων για σήμανση, ιχνηλασιμότητα και πιστοποίηση ανακυκλωμένου περιεχομένου.
- Ανάγκη για καθολικό σύστημα EPR για όλους τους τύπους μπαταριών.

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emerging-waste-streams-opportunities-and-challenges-of-the-clean-energy-transition-from-a-circular-economy-perspective>
<https://www.weforum.org/publications/powering-the-future-overcoming-battery-supply-chain-challenges-with-circularity/>
<https://docs.nrel.gov/docs/fy21osti/77035.pdf>

Προκλήσεις κυκλικής οικονομίας στις ΑΠΕ

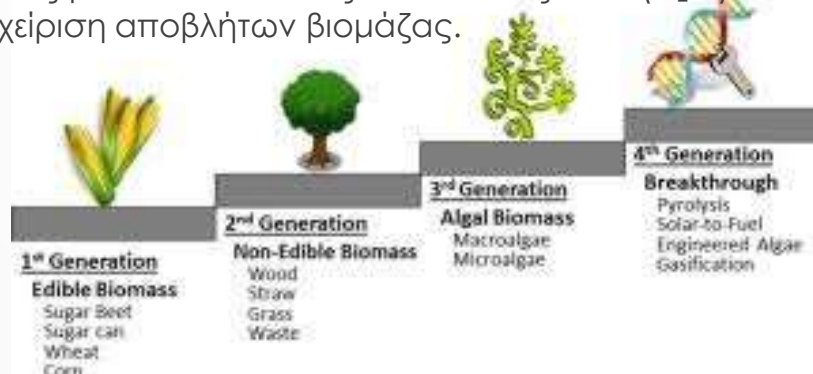
■ Βιομάζα - βιοενέργεια

■ Τεχνικές προκλήσεις

- Μεταβλητή ποιότητα και υγρασία πρώτης ύλης επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση.
- Απαιτείται τεχνολογική βελτίωση για παραγωγή προηγμένων βιοκαυσίμων (2ης και 3ης γενιάς).

■ Περιβαλλοντικές προκλήσεις

- Κίνδυνος υπερεκμετάλλευσης γεωργικών εκτάσεων και αποδάσωσης.
- Ανταγωνισμός με παραγωγή τροφίμων ("food vs fuel").
- Εκπομπές μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου (N_2O) από τη διαχείριση αποβλήτων βιομάζας.



■ Οικονομικές προκλήσεις

- Αστάθεια τιμών πρώτης ύλης (βιομάζας).
- Υψηλό κόστος μεταφοράς, συλλογής και αποθήκευσης βιομάζας.
- Εξάρτηση από επιδοτήσεις ή φορολογικά κίνητρα

■ Ρυθμιστικές προκλήσεις

- Πολύπλοκα συστήματα πιστοποίησης βιωσιμότητας.
- Έλλειψη μηχανισμών παρακολούθησης του κύκλου άνθρακα σε όλη την αλυσίδα παραγωγής.
- Ανεπαρκείς πολιτικές για χρήση υπολειμμάτων αντί καλλιεργειών.

Προκλήσεις κυκλικής οικονομίας στις ΑΠΕ

■ Πράσινο Υδρογόνο

Παραγωγή: Με ηλεκτρόλυση νερού (διαδικασία διάσπασης των μορίων του H_2O σε H_2 και O_2 , μέσω της διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος) χρησιμοποιώντας αποκλειστικά ΑΠΕ (ήλιο, άνεμο, υδροηλεκτρικά).

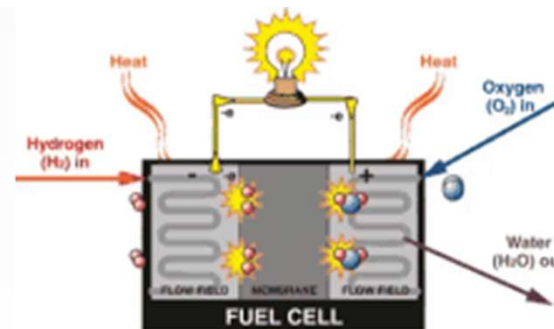
■ Τεχνικές προκλήσεις

- Η παραγωγή με ηλεκτρόλυση απαιτεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας και πολύτιμα υλικά (π.χ. πλατίνα, ιρίδιο).
- Οι υποδομές (σωληνώσεις, δεξαμενές) έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής και χαμηλή δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης.
- Έλλειψη τεχνολογιών ανακύκλωσης καταλυτών και ηλεκτρολυτών.

■ Περιβαλλοντικές προκλήσεις

- Αν και μηδενικών εκπομπών κατά τη χρήση, η παραγωγή και αποθήκευση μπορεί να έχει σημαντικό ενεργειακό αποτύπωμα.
- Κίνδυνος διαρροών υδρογόνου (συνεισφέρει στο φαινόμενο θερμοκηπίου έμμεσα).
- Ελλείψεις δεδομένων για κύκλο ζωής και περιβαλλοντική απόδοση.

ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια ενός καυσίμου (συνήθως υδρογόνου) απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα και νερό, χωρίς καύση.



■ Οικονομικές προκλήσεις

- Πολύ υψηλό κόστος παραγωγής "πράσινου" υδρογόνου (4–6 €/kg έναντι <2 €/kg "γκρι").
- Ανάγκη μεγάλων αρχικών επενδύσεων σε υποδομές και δίκτυα.
- Περιορισμένη αγορά για ανακυκλωμένα ή ανακατασκευασμένα εξαρτήματα.

■ Ρυθμιστικές προκλήσεις

- Έλλειψη παγκόσμιων προτύπων βιωσιμότητας (Green Hydrogen Standards).
- Ανάγκη για κανονιστικό πλαίσιο κυκλικότητας εξοπλισμού (π.χ. κυψέλες καυσίμου).
- Ελλιπής διασύνδεση πολιτικών υδρογόνου με τις πολιτικές κυκλικής οικονομίας.

<https://hydrogencouncil.com/en/sufficiency-sustainability-and-circularity-of-critical-materials-for-clean-hydrogen/>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s44373-025-00043-9>
<https://www.mdpi.com/1996-1073/18/17/4476>

Προκλήσεις κυκλικής οικονομίας στις ΑΠΕ

► Πράσινο Υδρογόνο

Figure ES1: Modelled average annual primary demand from clean hydrogen production and consumption to 2050 as a percentage of current primary production

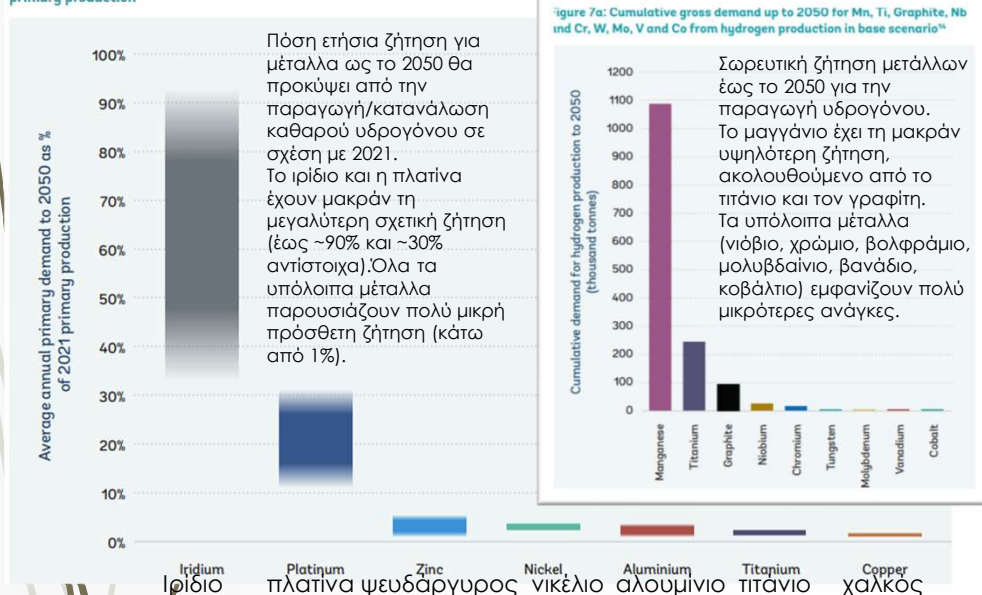
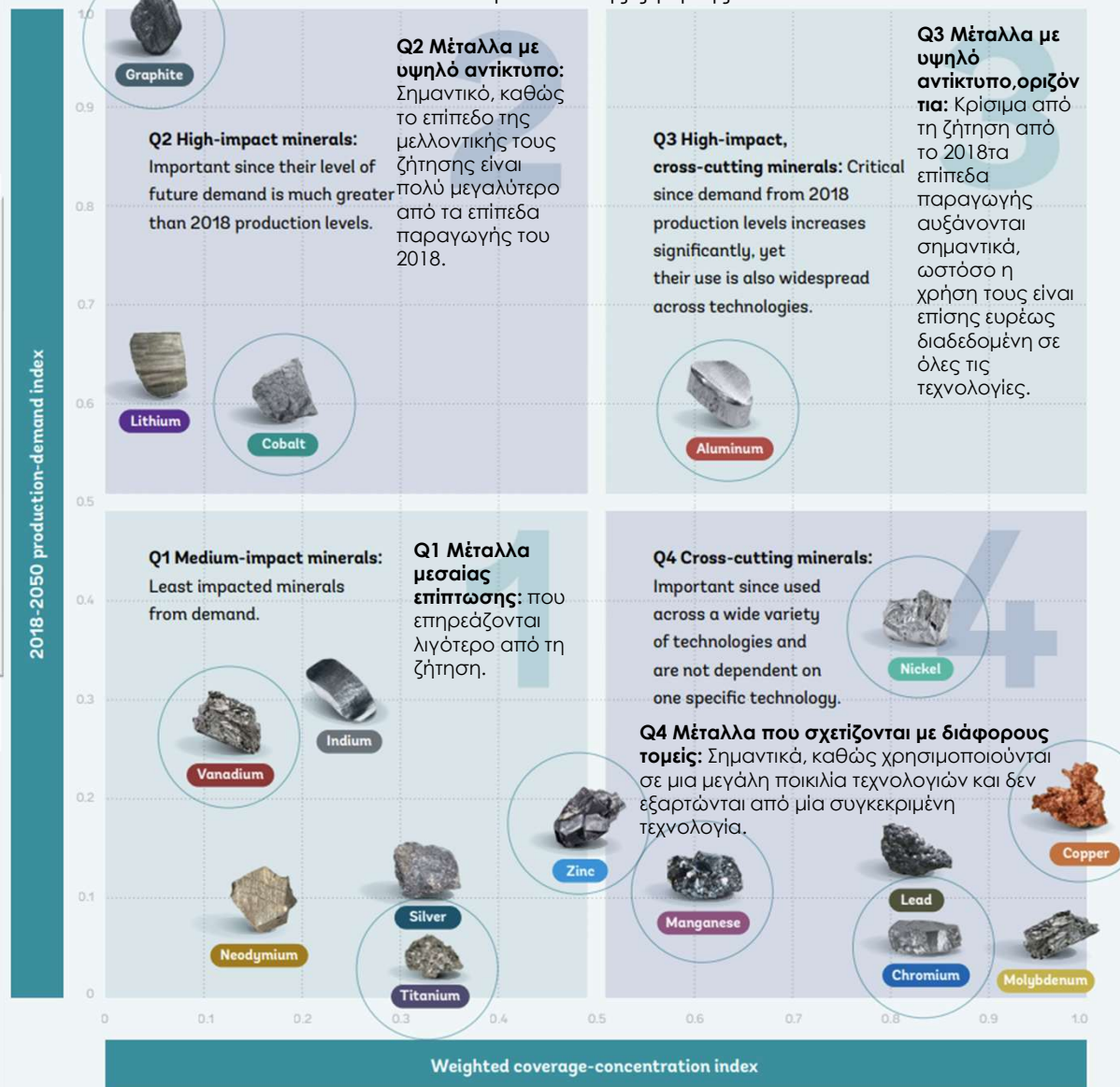


Figure 8: Demand risk matrix and materials needed for the hydrogen economy

Το διάγραμμα ταξινομεί κρίσιμα μέταλλα για την οικονομία του υδρογόνου βάσει της μελλοντικής ζήτησης.



Προκλήσεις κυκλικής οικονομίας στις ΑΠΕ

■ Υδραυλική Ενέργεια (Υδροστρόβιλοι – Υδροηλεκτρικοί σταθμοί)

■ Τεχνικές προκλήσεις

- Παλαιώση υποδομών: λειτουργούν >40–50 χρόνια, απαιτούν ανακαίνιση ή αποξήλωση.
- Υδροστρόβιλοι και μηχανικός εξοπλισμός (μεταλλικά κράματα, χαλύβδινες κατασκευές) έχουν περιορισμένες δυνατότητες ανακύκλωσης χωρίς ρύπανση (π.χ. λιπαντικά, βαφές).
- Δύσκολη αποσυναρμολόγηση (μεγάλο μέγεθος, ενσωμάτωσης σε δομές σκυροδέματος).
- Σκυρόδεμα φραγμάτων: δύσκολη ανακύκλωση, περιορισμένη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των αδρανών.
- Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός περιέχει χαλκό, αλουμίνιο, σπάνια μέταλλα — η ανάκτηση απαιτεί εξειδικευμένες διαδικασίες.

■ Περιβαλλοντικές προκλήσεις

- Απόβλητα σκυροδέματος, μετάλλων και λιπαντικών από ανακαίνιση/αποξήλωση μονάδων.
- Αλλοίωση οικοσυστημάτων και ιχθυοπανίδας λόγω λειτουργίας φραγμάτων.
- Συσσώρευση ιζημάτων στους ταμιευτήρες, που μειώνει την αποδοτικότητα και απαιτεί διαχείριση.
- Ενεργειακό αποτύπωμα κατασκευής φραγμάτων (υλικά, εκσκαφές, μεταφορές).
- Κίνδυνος διαρροής λιπαντικών ή άλλων ρύπων από μηχανές και υδροστρόβιλους.

■ Οικονομικές προκλήσεις

- Υψηλό κόστος αποκατάστασης/αποσυναρμολόγησης παλαιών φραγμάτων και εξοπλισμού.
- Περιορισμένα οικονομικά κίνητρα για επαναχρησιμοποίηση υλικών ή “repowering” μικρών φραγμάτων.
- Η ανακύκλωση μετάλλων (π.χ. στροβίλων) συχνά μη επικερδής χωρίς επιδοτήσεις ή φοροελαφρύνσεις.
- Έλλειψη αγοράς για ανακυκλωμένα δομικά υλικά (π.χ. από σκυρόδεμα φραγμάτων).

■ Ρυθμιστικές προκλήσεις

- Δεν υπάρχουν ειδικές κατευθυντήριες γραμμές κυκλικής οικονομίας για τον υδροηλεκτρικό τομέα (IRENA, 2023).
- Απουσία υποχρεωτικής αποτίμησης “τέλους ζωής” για έργα μεγάλης κλίμακας.
- Έλλιπείς κανονισμοί για επαναχρησιμοποίηση ή αποσυναρμολόγηση φραγμάτων.
- Ανάγκη για LCA (Life Cycle Assessment) σε νέες άδειες υδροηλεκτρικών έργων.

Προκλήσεις κυκλικής οικονομίας στις ΑΠΕ

■ Γεωθερμία (γεωθερμική ενέργεια)

■ Τεχνικές προκλήσεις

- Διάβρωση και απόθεση αλάτων σε σωληνώσεις και εναλλάκτες μειώνουν τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού.
- Οι γεωτρήσεις είναι δύσκολο να αποσυναρμολογηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν — η αποκατάσταση απαιτεί εξειδικευμένα υλικά και τεχνικές.
- Ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση σωληνώσεων, χαλύβδινων δομών και εναλλακτών θερμότητας απαιτεί καθαρισμό από επικαθίσεις και χημικά.
- Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει σπάνια ή ειδικά κράματα μετάλλων, περιορίζοντας την ανακύκλωση χωρίς απώλεια ιδιοτήτων.
- Η τεχνολογία γεωθερμικών αντλιών (αντλίες θερμότητας) έχει δυναμικό για κυκλικό σχεδιασμό, αλλά ακόμη μικρή εφαρμογή.

■ Περιβαλλοντικές προκλήσεις

- Απόρριψη ρευστών (μεταλλοφόρα, θειούχα, ραδιενεργά) μπορεί να ρυπάνει έδαφος και υπόγεια ύδατα.
- Αντιμετώπιση ιλύος, επικαθίσεων και φίλτρων ως επικίνδυνα απόβλητα.
- Κατανάλωση νερού για ψύξη ή επανεισαγωγή στο υπέδαφος.
- Εκπομπές CO₂ και H₂S από ορισμένα γεωθερμικά πεδία (ιδίως υψηλής θερμοκρασίας).
- Δυσκολία στην περιβαλλοντική αποκατάσταση γεωτρήσεων μετά τη διακοπή λειτουργίας.

■ Οικονομικές προκλήσεις

- Υψηλό αρχικό κόστος γεωτρήσεων καθιστά μη βιώσιμη την επαναχρησιμοποίηση εξοπλισμού.
- Έλλειψη κινήτρων για ανακύκλωση σωληνώσεων και εναλλακτών.
- Περιορισμένη αγορά για ανακυκλωμένα υλικά υψηλής θερμικής αντοχής.
- Αστάθεια κόστους εξοπλισμού και σπανιότητα υλικών αυξάνουν το ρίσκο επένδυσης.

■ Ρυθμιστικές προκλήσεις

- Απουσία πλαισίου EPR για γεωθερμικό εξοπλισμό και σωληνώσεις.
- Περιορισμένες απαιτήσεις παρακολούθησης αποβλήτων και ρευστών (ιδίως σε μικρά γεωθερμικά έργα).
- Έλλειψη προτύπων για επαναχρησιμοποίηση γεωτρήσεων ή μεταλλικών εξαρτημάτων.
- Ανάγκη για ενσωμάτωση κυκλικών αρχών στις εθνικές στρατηγικές βιώσιμης ενέργειας.

<https://www.epa.ie/publications/corporate/submissions--position-papers/draft-policy-statement-on-geothermal-energy-for-a-circular-economy-and-associated-sea-environmental-report.php>

Κρίσιμα σημεία και εμπόδια για τη μετάβαση στη κυκλική ενεργειακή οικονομία

- Η κυκλική οικονομία είναι αναγκαία, όχι μόνο επιθυμητή, για να στηρίξει τη μαζική διάδοση ΑΠΕ χωρίς να δημιουργήσει νέα «κρίση πρώτων υλών».
- Χρειάζεται **συνδυασμός** τεχνολογίας (ανακύκλωση), πολιτικής (EPR, πρότυπα), και επιχειρηματικών μοντέλων (leasing, second-life).
- Τα «δύσκολα» απόβλητα (λεπίδες, σύνθετα) απαιτούν ειδικές λύσεις — και ήδη υπάρχουν πιλοτικά projects και βιομηχανικοί παίκτες που εργάζονται πάνω σε αυτά.
- Η τοπικοποίηση των ρευμάτων ανακύκλωσης (regional recycling hubs) μειώνει κόστος μεταφοράς και αυξάνει την ανθεκτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας.
- Τεχνικά, οικονομικά και θεσμικά εμπόδια.
- Ανάγκη για εκπαίδευση και αλλαγή κουλτούρας.
- Ρόλος καινοτομίας & συνεργειών δημόσιου-ιδιωτικού τομέα.

Προοπτικές για το μέλλον της κυκλικής οικονομίας στην ενεργειακή βιομηχανία



Η **μετάβαση στη κυκλική οικονομία στον ενεργειακό τομέα** είναι μια **αναγκαία** και μελλοντική **στρατηγική**, η οποία υπόσχεται να μειώσει τη συνεχιζόμενη εξάρτηση από τις πρώτες ύλες και τα ορυκτά, να περιορίσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εξόρυξη και την κατανάλωση ενέργειας, και να υποστηρίξει τη βιωσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. **Ωστόσο, για να συμβεί αυτό με επιτυχία,** απαιτείται η μετάβαση σε έναν ολοκληρωμένο μετασχηματισμό σε επίπεδο τεχνολογιών, πολιτικών και επιχειρηματικών μοντέλων.

Κύριες προοπτικές για το μέλλον:

- **1. Αύξηση του Στρατηγικού Σχεδιασμού για Κυκλικότητα "Design for Circularity" στον Σχεδιασμό Ενεργειακών Υποδομών** (ανάπτυξη προϊόντων εύκολα 100% ανακυκλώσιμων ή και πλήρως επαναχρησιμοποιήσιμα).
- **2. Επικείμενη Ανάπτυξη Τεχνολογιών Ανακύκλωσης και Αναγεννητικής Ενέργειας** (Ανακύκλωση Μπαταριών και Σπάνιων Γαιών, Ανάκτηση Σπάνιων Γαιών και Ανακυκλωσιμότητα Μακροχρόνιας Ενέργειας).
- **3. Ανάπτυξη Κυκλικών Επιχειρηματικών Μοντέλων** (Μοντέλα «Product-as-a-Service» ενοικίαση, επισκευή/ανακατασκευή ενεργειακών υποδομών αντί για πωλήσεις, συνεργασίες μεταξύ διαφορετικών τομέων-κλειστοί κύκλοι παραγωγής και διαχείρισης πόρων).
- **4. Πολιτικές και Νομοθετικές Εξελίξεις** (προώθηση Σχεδίου Δράσης για την Κυκλική Οικονομία, ανακύκλωση στον τομέα των ΑΠΕ).
- **5. Αντίκτυπος στη Δημόσια Συνείδηση και στην Εκπαίδευση** (εκπαιδευτικά προγράμματα και πανεπιστημιακές συνέργειες).
- **6. Ευκαιρίες για Νέες Αγορές και Καινοτομία** (πιο αποδοτικές τεχνολογίες και πιο κυκλικούς ενεργειακούς πόρους, επιχειρηματικό μοντέλο Energy-as-a-Service, Eaas: διάθεση ενεργειακών λύσεων ως υπηρεσία και όχι ως παραδοσιακή πώληση προϊόντων)

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Σημειώσεις μαθήματος Διαχείριση Φυσικών Πόρων και Κυκλική Οικονομία Θ.Ε. 'Κυκλική οικονομία και ενεργειακός τομέας Ι', Σπηλιώτης, 2024.
- <https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20151201STO05603/kukliki-oikonomia-chrisimopoiise-to-xana>
- <https://ypen.gov.gr/perivallon/kykliki-oikonomia/>
- https://pacecircular.org/sites/default/files/2021-04/CircularIndicatorsForGovernments_FINAL.pdf
- <https://www.visualcapitalist.com/charted-how-top-economies-generated-electricity-in-2024/>
- <https://www.iea.org/countries/greece/energy-mix>
- <https://www.iea.org/regions/Europe>
- <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/executive-summary%20>
- <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/minerals-used-in-clean-energy-technologies-compared-to-other-power-generation-sources>
- <https://www.usgs.gov/media/images/usgs-science-supports-low-carbon-energy-transition-infographic>
- https://www.researchgate.net/figure/infographic-Industry_fig8_324587582
- <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/critical-minerals-data-explorer>
- <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/contribution-of-recycling-and-reuse-of-batteries-to-reducing-primary-supply-requirement-for-selected-minerals-by-sustainable-development-scenario-2030-2040>
- <https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20151201STO05603/kukliki-oikonomia-chrisimopoiise-to-xana>
- <https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20151201STO05603/kukliki-oikonomia-chrisimopoiise-to-xana>
- <https://edozoume.gr/viopoikilotita/>
- <https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20151201STO05603/kukliki-oikonomia-chrisimopoiise-to-xana>
- https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Deloitte_2018_-_Circular_economy_in_the_energy_industry_-_Summary_report.pdf
- https://automotive.arcelormittal.com/sustainability/circular_carbon_steelmaking
- <https://en.bfpe.org/wp-content/uploads/sites/5/2020/07/SUSTAINABLE-URBAN-MOBILITY-1-1.pdf>
- https://www.researchgate.net/publication/355021083_Slow_pyrolysis_of_agro-food_waste_to_produce_biochar_and_activated_carbon_for_adsorption_of_pollutants_from_model_wastewater/figures?lo=1
- <https://impact.economist.com/ocean/ocean-and-climate/harnessing-wave-energy-along-with-offshore-wind>
- <https://doi.org/10.3390/app12031039>
- <https://greener4life.com/Blog/Anaerobic-Wastewater-Treatment-For-More-Renewable-Energy>
- <https://rawmathub.gr/enimerosi-gia-ti-viosimi-anaptyksi/enimerosi-gia-ti-diaxeirisi-apoviliton/neo-ergostasio-anakyklosis-batarion-stis-ipa-apo-fin-ascend-elements>
- <https://services.ngnordic.com/waste-management>
- https://www.fortum.com/sites/default/files/investor-documents/fortum_sustainability2020.pdf
- https://environment.ec.europa.eu/strategy_en
- <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/fit-for-55/>
- <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/council-adopts-energy-efficiency-directive/>
- https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu_el
- <https://www.econlaw.gr/el/%ce%bd%cf%8c%ce%bc%ce%bf%cf%82-5037-2023-%ce%b1%ce%bb%ce%bb%ce%b1%ce%b3%ce%ad%cf%82-%cf%83%cf%84%ce%bf-%ce%b5%ce%bd%ce%b5%cf%81%ce%b3%ce%b5%ce%b9%ce%b1%ce%ba%cf%8c-%ce%b4%ce%af%ce%ba%ce%b1%ce%b9%ce%bf/>
- <https://circulargreece.gr/bilateral-agreements-between-the-ministry-of-environment-and-energy-and-the-mediterranean-institute-for-nature-and-anthropos-medina-within-the-framework-of-the-circular-economy/>
- <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/paris-agreement-climate/>
- <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels/>
- <https://www.irena.org/Energy-Transition/Policy/Circular-economy>
- <https://solarsme.com/recycling-solar-panels/>
- <https://repository.tudelft.nl/record/uuid%3A1383dfa9-a9db-4133-a5f0-cba0be210c35>
- <https://docs.nrel.gov/docs/fy25osti/87970.pdf>
- <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emerging-waste-streams-opportunities-and-challenges-of-the-clean-energy-transition-from-a-circular-economy-perspective>
- <https://www.weforum.org/publications/powering-the-future-overcoming-battery-supply-chain-challenges-with-circularity/>
- <https://docs.nrel.gov/docs/fy21osti/77035.pdf>
- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35964915/>
- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36773474/>
- <https://www.eea.europa.eu/highlights/integrating-circular-economy-and-bioeconomy>
- <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-021-01939-5>
- <https://task36.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/34/2022/04/Final-Report.pdf>
- <https://www.mdpi.com/2673-8783/4/3/40>
- <https://hydrogencouncil.com/en/sufficiency-sustainability-and-circularity-of-critical-materials-for-clean-hydrogen/>
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s44373-025-00043-9>
- <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/17/4476>
- <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2022/12/W8-Hydrogen-Report-2022.pdf>
- <https://www.ewadirect.com/proceedings/ace/article/view/14488>
- <https://www.epa.ie/publications/corporate/submissions--position-papers/draft-policy-statement-on-geothermal-energy-for-a-circular-economy-and-associated-sea-environmental-report.php>