

Open Schools Journal for Open Science

Vol 5, No 3 (2022)

Open Schools Journal for Open Science - Special Issue -IDEA Conference Proceedings



ΝΕΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΣΥΝΤΗΞΗ

*Σωκράτης Μπλάνας, Έκτορας Παπαδογιάννης,
Ηλίας Ποταμιάς*

doi: [10.12681/osj.32317](https://doi.org/10.12681/osj.32317)

Copyright © 2022, Σωκράτης Μπλάνας, Έκτορας Παπαδογιάννης,
Ηλίας Ποταμιάς



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

To cite this article:

Μπλάνας Σ., Παπαδογιάννης Έ., & Ποταμιάς Η. (2022). ΝΕΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΣΥΝΤΗΞΗ. *Open Schools Journal for Open Science*, 5(3). <https://doi.org/10.12681/osj.32317>

1^ο Μαθητικό Συνέδριο ΙΔΕΑ - Ελληνογερμανικής Αγωγής

ΝΕΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΣΥΝΤΗΞΗ

Σωκράτης Μπλάνας, Έκτορας Παπαδογιάννης, Ηλίας Ποταμιάς

Περίληψη

Με τον πόλεμο να μαίνεται στην Ουκρανία και την ενεργειακή κρίση να κορυφώνεται ραγδαία, ανάγεται σε μείζων ζήτημα η ενεργειακή απεξάρτηση της Ευρώπης από τα ορυκτά καύσιμα και η ούτως ή άλλως περιβαλλοντικά απαραίτητη στροφή προς καθαρότερες πηγές ενέργειας. Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στο ενεργειακό προφίλ της Ελλάδας, στην μεγάλη - αν και ολοένα μειούμενη - εξάρτηση της χώρας μας από τον λιγνίτη, και στο αναγκαίο πέρασμα της στην μεταλιγνιτική εποχή. Από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην πυρηνική σύντηξη, διαδικασία «παραγωγής» καθαρής ενέργειας (που πραγματοποιείται ανεμπόδιστα στον ήλιο), με ελάχιστο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, εξαιρετικά πλεονεκτήματα αλλά και μεγάλες δυσκολίες αξιοποίησής της στις συνθήκες της γης. Μέσα από μία μεγάλη πορεία δοκιμών, τα τελευταία επιτεύγματα ανάβουν το πράσινο φως και δημιουργούν υψηλές προσδοκίες για το άμεσο μέλλον.

Λέξεις κλειδιά: λιγνίτης, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, πυρηνική σύντηξη

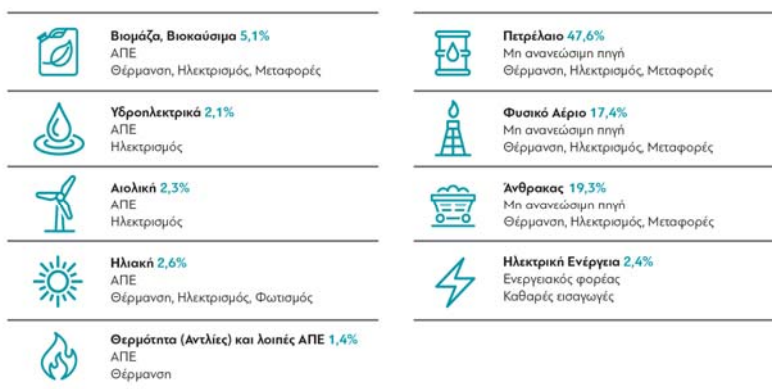
Εισαγωγή

Η πρόσφατη επιτυχία στον τομέα της πυρηνικής σύντηξης, αποτέλεσε το σημείο έναρξης για αυτήν την εργασία. Έτσι – και παράλληλα με τον απόηχο του πολέμου - αποφασίσαμε να ασχοληθούμε με τον τομέα της ενέργειας, με αφετηρία την Ελλάδα, και να συζητήσουμε για το «όνειρο» της πυρηνικής σύνταξης, ελπίζοντας ότι σύντομα θα γίνει πραγματικότητα.

Η εργασία στηρίχθηκε στην ανασκόπηση ελληνικής και ξένης βιβλιογραφίας.

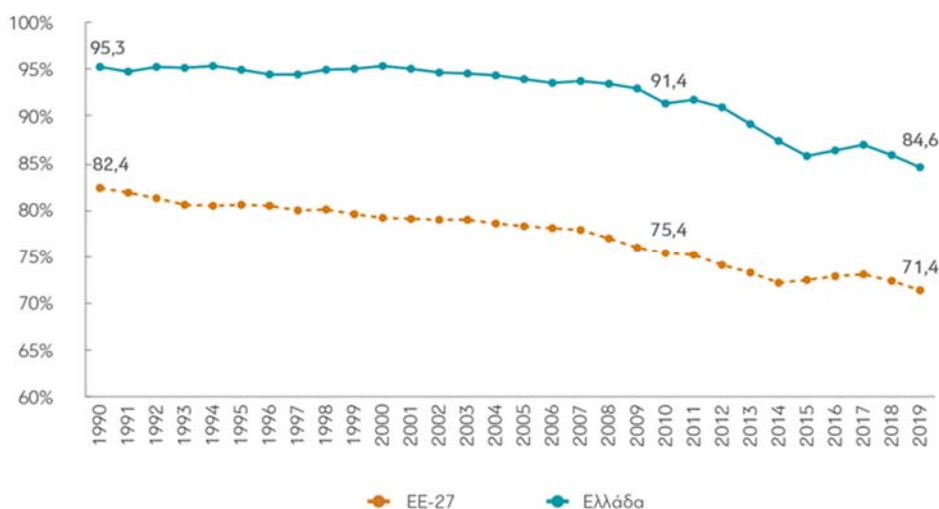
Πηγές ενέργειας στην Ελλάδα – Η χρήση του λιγνίτη

Ο ενεργειακός τομέας αποτελεί σημαντικό πυλώνα για την οικονομία κάθε χώρας, αφού καθορίζει όχι μόνο το παραγωγικό και βιομηχανικό μοντέλο της αλλά και την ποιότητα ζωής των πολιτών της. Σήμερα, η ελληνική οικονομία στηρίζεται στα ορυκτά καύσιμα, δηλαδή στον άνθρακα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο) (Πόσο εξαρτάται η Ελλάδα από τα ορυκτά καύσιμα, 2021), που αποτελούν μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πίνακας 1).



Πίνακας 1. Ακαθόριστη διαθέσιμη ενέργεια ανά πηγή στην Ελλάδα, 2018 (%)

Η κατάσταση αυτή αποτυπώνεται και στο διάγραμμα 1 της Eurostat, όπου παρατηρείται πως η Ελλάδα βρίσκεται σταθερά περίπου 10 μονάδες πάνω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο στη χρήση ορυκτών καυσίμων (Βέττας, Danchev, Μανιάτης, Παρατσιώκας, & Βαλάσκας, 2021).



Διάγραμμα 1. Ποσοστό (%) ορυκτών καυσίμων στην Ακαθόριστη Διαθέσιμη Ενέργεια

Στην χώρα μας ο λιγνίτης αποτελεί τον στυλοβάτη του ηλεκτρικού μας συστήματος, με την κύρια εκμετάλλευσή του να πραγματοποιείται από την ΔΕΗ. Αποτελεί καύσιμο χαμηλής θερμιδικής αξίας (χαμηλότερης έως και 10 φορές από αυτήν του πετρελαίου). Ο λιγνίτης είναι το μοναδικό εγχώριο ενεργειακό προϊόν της Ελλάδας, έχει στηρίξει ποικιλοτρόπως την ελληνική οικονομία και την περιφερειακή ανάπτυξη, προσφέρει σταθερότητα και ασφάλεια όσον αφορά στον ανεφοδιασμό και στην τιμή του καυσίμου, ενώ συντελεί στην αύξηση του ΑΕΠ (Τσαντσάν, 2012; Δημητριάδου, 2020). Η Ελλάδα έχει φτάσει έτσι να κατέχει την 6η θέση στον κόσμο και την 5η στην ΕΕ στην εξόρυξη του λιγνίτη, ενώ τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα της χώρας υπολογίζονταν πως επαρκούν για πάνω από 45 χρόνια. Ωστόσο, η αξιοποίηση του λιγνίτη επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, καθώς υποβαθμίζει την ποιότητα εδάφους και υδάτων, ενώ ελευθερώνει κατά την καύση του επιβλαβείς ουσίες όπως διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, μικροσωματίδια, βαρέα μέταλλα και πολύ μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (Καθημερινή, 2007; Δημητριάδου, 2020). Παράλληλα το οικονομικό κόστος από τις υπερβάσεις των ευρωπαϊκών ορίων αποτιμάται σε πολλά εκατομμύρια ευρώ, με τη χώρα μας να καλείται να καταβάλλει υπέρογκα ποσά εξαιτίας των προστίμων που επιβάλλει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, καθώς ξεπερνά τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως και 10 φορές (ΔΕΗ: Ζημιές 683 εκατ. ευρώ από το λιγνίτη, 2019; Δημητριάδου, 2020). Συνεπώς και σε συνδυασμό με την κλιματική-ενεργειακή κρίση καθίσταται επιτακτική η ανάγκη μετάβασης της χώρας στην μετα-λιγνιτική εποχή. Η Ελλάδα, λοιπόν, στα πλαίσια μιας κοινής ευρωπαϊκής προσπάθειας, στοχεύει στην επίτευξη της διατήρησης της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας (Οικονομίδης, Δαλαμαρίνης, Φιλ, & Λέοναρντ, 2017). Αυτή θα επιτευχθεί μέσω της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αιολική ενέργεια πρωταγωνιστεί στην ανάπτυξη των ΑΠΕ και παρουσιάζει σημαντικές επενδυτικές δυνατότητες συνδυάζοντας το χαμηλό κόστος λειτουργίας με το υψηλό αποδοτικό όφελος. (Τζένκινς & Γουόκερ, 2007)

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και Οφέλη

Είναι επομένως επιτακτικό παγκοσμίως - και για την χώρα μας ειδικότερα - το πέρασμα σε νέες μορφές ενέργειας, εκτός των ορυκτών καυσίμων. Σε αυτές κυρίαρχη θέση έχουν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Οι ΑΠΕ δεν εξαντλούνται και είναι φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς δεν περιλαμβάνουν διαδικασίες εξόρυξης, άντλησης, καύσης ή

απελευθέρωσης ουσιών που το επιβαρύνουν. Συγκαταλέγονται έτσι στις «καθαρές» μορφές ενέργειας και μπορούν να συνοψιστούν στις ακόλουθες (Καμζέλης & Κατσίκας, 2018):

- Αιολική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Ενέργεια μέσω Βιομάζας
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ενέργεια από παλίρροιες
- Ενέργεια από κύματα

Στα επιπρόσθετα πλεονεκτήματά των ΑΠΕ συγκαταλέγονται τα ακόλουθα (Τσαντσάν, 2012):

- Συμβάλλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, καλύπτοντας τις ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο και περιορίζοντας τις απώλειες από τη μεταφορά άλλων μορφών ενέργειας.
- Έχουν σημαντικό πλεονέκτημα ως προς την ταχύτητα κατασκευής των αντίστοιχων ενεργειακών μονάδων.
- Το μηδενικό κόστος της πρώτης ύλης, σε συνδυασμό με τις χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης, συνεπάγεται ιδιαίτερα περιορισμένο κόστος λειτουργίας, γεγονός που ισοσταθμίζει σημαντικά το μεγάλο κόστος εγκατάστασης των μονάδων αυτών.

Η πυρηνική σύντηξη

Στις νέες και «καθαρές» μορφές ενέργειας περιλαμβάνονται δύο ακόμα κατηγορίες: η πυρηνική σχάση και η πυρηνική σύντηξη. Στην εργασία αυτή θα εστιάσουμε στην σύντηξη, καθώς η ιστορική της διαδρομή είναι πολύχρονη και ενδιαφέρουσα, τα άλματα των τελευταίων ετών σημαντικά, ενώ συγκαταλέγεται στις πιθανές βιώσιμες τεχνικές για την ηλεκτροπαραγωγή μεγάλης κλίμακας (Δαπόντα, 2018).

Κατά την σύντηξη, ελαφριά στοιχεία – κυρίως υδρογόνου, όπως είναι τα ισότοπα δευτέριο και τρίτιο - προσεγγίζονται μεταξύ τους, ώστε να μπορούν να συντηχθούν και να σχηματίσουν βαρύτερα στοιχεία, με ταυτόχρονη απελευθέρωση νετρονίων. Οι βαρύτεροι πυρήνες που προκύπτουν έχουν ελαφρώς μικρότερη μάζα, συγκρινόμενοι με τους αρχικούς πυρήνες που αντιδρούν και σε αυτήν την διαφορά μάζας οφείλεται η απελευθέρωση εξαιρετικά μεγάλων ποσών (πυρηνικής) ενέργειας.

Η σύντηξη αποτελεί τον φυσικό τρόπο με τον οποίο παράγεται η ενέργεια στον ήλιο, σε θερμοκρασίες που φτάνουν τα 10-15 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου και υπό εξαιρετικά μεγάλες πιέσεις. Εάν πραγματοποιηθεί στις συνθήκες της γης, η εκλυόμενη ενέργεια μπορεί θεωρητικά να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ευρείας κλίμακας (Δαπόντα, 2018; Κατσιπής, 2013).

Βασικά εμπόδια στην εκμετάλλευση της πυρηνικής σύντηξης

Η εκπεμπόμενη κατά την σύντηξη ενέργεια είναι τεράστια. Υπάρχει, ωστόσο, ένα θεμελιώδες ζήτημα. Για να πραγματοποιηθεί η σύντηξη θα πρέπει τα πρωτόνια να πλησιάσουν σε πολύ μικρές αποστάσεις, ώστε να συνδεθούν. Ως ομώνυμα όμως σωματίδια απωθούνται με τεράστιες ηλεκτροστατικές δυνάμεις. Για να υπερνικηθεί αυτό το «ηλεκτροστατικό φράγμα», θα πρέπει να επιτευχθούν εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες, που στις συνθήκες της γης φτάνουν τους 100.000.000°C περίπου. Σε αυτές τις θερμοκρασίες η ύλη βρίσκεται πλέον με την μορφή ιονισμένου θερμού αερίου, που ονομάζεται πλάσμα,

αποτελεί την τέταρτη κατάσταση της ύλης και είναι εξαιρετικά δύσκολο να περιοριστεί (Θεοφίλου, 2006).

Έτσι, οι καθοριστικοί παράγοντες – αλλά και τα εμπόδια - για την επιτυχή έκβαση της σύντηξης στις συνθήκες της γης είναι το τρίπτυχο **nTt**: πυκνότητα των ιόντων του πλάσματος (n), οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται (T) και ο λεγόμενος χρόνος περιορισμού, δηλαδή ο χρόνος διατήρησης του πλάσματος σε θερμοκρασία ίση ή μεγαλύτερη από την κρίσιμη θερμοκρασία ανάφλεξης (t). Τα δύο τελευταία μεγέθη πρέπει να είναι τόσο μεγάλα, ώστε να ικανοποιούν το λεγόμενο κριτήριο Lawson (Κατσιπής, 2013).

Τέλος, για να είναι ενεργειακά βιώσιμη μία αντίδραση σύντηξης, θα πρέπει το ποσό ενέργειας που παράγεται κατά την σύντηξη να είναι έστω και οριακά μεγαλύτερο από το ποσό ενέργειας που απαιτείται για την θέρμανση του «καύσιμου» υλικού (Δαπόντα, 2018).

Είδη πυρηνικών αντιδραστήρων (Κατσιπής, 2013; Δαπόντα, 2018; Θεοφίλου, 2006)

Η αναγκαιότητα ανάπτυξης τόσο υψηλών θερμοκρασιών με ταυτόχρονη συμπίκνωση του θερμού πλάσματος στα όρια ενός γήινου αντιδραστήρα έχουν οδηγήσει την επιστημονική κοινότητα σε δύο κυρίως τεχνολογικές προσεγγίσεις - τον *αδρανειακό* και τον *μαγνητικό* περιορισμό - και στην κατασκευή των αντίστοιχων αντιδραστήρων.

- **Μαγνητικός περιορισμός:**
Η τεχνική του περιορισμού του πλάσματος σε μαγνητικό πεδίο χρησιμοποιείται στα περισσότερα πειράματα επίτευξης θερμοπυρηνικής σύντηξης. Ο αντίστοιχος πυρηνικός αντιδραστήρας -τύπου *tokamak* - έχει σχήμα τόρου (σαμπρέλας). Το πλάσμα περιορίζεται από την υπέρθεση δύο μαγνητικών πεδίων - του κλασικού μαγνητικού πεδίου των δακτυλίων και ενός ασθενέστερου μαγνητικού πεδίου που ονομάζεται πολοειδές – οπότε δεν έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα του αντιδραστήρα, και έτσι δεν τίθεται θέμα τήξης του υλικού του.
- **Αδρανειακός περιορισμός:**
Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιείται πλάσμα πολύ μεγάλης πυκνότητας, το οποίο συμπιέζεται σε μικροσκοπικές κάψουλες σε υψηλή θερμοκρασία. Ο χρόνος περιορισμού είναι πάρα πολύ μικρός, και σε αυτόν πραγματοποιείται ταχεία ανάφλεξη με τη βοήθεια ακτίνων λέιζερ ή δέσμης επιταχυνόμενων ιόντων. Έτσι, λόγω της δικής τους αδράνειας, τα σωματίδια δεν προλαβαίνουν να απομακρυνθούν από τις αρχικές τους θέσεις.

Πλεονεκτήματα της πυρηνικής σύντηξης

Τα πλεονεκτήματα της πυρηνικής σύντηξης είναι τεράστια, καθώς πρόκειται για καθαρή, ακίνδυνη μορφή ενέργειας με ελάχιστο περιβαλλοντικό αποτύπωμα (Δαπόντα, 2018; Κατσιπής, 2013). Πιο συγκεκριμένα:

- Κατά την πραγματοποίησή της δεν απελευθερώνονται βλαβερά προϊόντα καύσης όπως το διοξείδιο του άνθρακα, άρα αποτελεί ιδανική λύση για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή.
- Υπάρχει αφθονία πρώτων υλών, καθώς το μεν δευτέριο υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες στο θαλασσινό νερό ενώ το τρίτιο μπορούμε να το παράξουμε, εάν με

τα νετρόνια που ελευθερώνονται από την σύντηξη βομβαρδίσουμε πυρήνες λιθίου, που βρίσκεται σε αφθονία.

- Η αντίδραση είναι ενδογενώς ασφαλής, καθώς δεν περιλαμβάνει αλυσιδωτές αντιδράσεις. Παράλληλα, χρησιμοποιείται πολύ μικρή ποσότητα ραδιενεργού καυσίμου ανά χρονική στιγμή, ενώ ο αντιδραστήρας σύντηξης δεν μπορεί να υποστεί τήξη και άρα να πάθει ζημιά.
- Δεν έχει ως παραπροϊόντα ραδιενεργά ισότοπα με μεγάλους χρόνους παραμονής στο περιβάλλον και γενικά τα όποια απόβλητα είναι χαμηλής ραδιοτοξικότητας.
- Είναι κατάλληλη για παραγωγή ενέργειας μεγάλης κλίμακας, και μπορεί να ανταποκριθεί στην ολοένα αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση παγκοσμίως

Προσπάθειες για αξιοποίηση της πυρηνικής σύντηξης – Ιστορική Αναδρομή

Η αρχή της έρευνας για την παραγωγή ενέργειας μέσω σύντηξης τοποθετείται χρονικά το 1920, οπότε με βάση το έλλειμα μάζας και την εξίσωση ενέργειας του $E = mc^2$, γεννήθηκε η ιδέα αξιοποίησης της αντίστοιχης πυρηνικής ενέργειας. Τα πρώτα πειράματα χρήσης μαγνητικών πεδίων σχεδιάστηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1938, ενώ η πρώτη πετυχημένη προσπάθεια πραγματοποιήθηκε από τους Thompson και Blackman, του Πανεπιστημίου του Λονδίνου. Κατά την διάρκεια του ψυχρού πολέμου οι όποιες απόπειρες χαρακτηρίστηκαν ως άκρως απόρρητες, με την εμπλοκή των δύο υπερδυνάμεων αλλά και πολλών άλλων χωρών (Βρετανία, Γαλλία, Γερμανία, Ιαπωνία) (Κατσιπής, 2013; Καρασαρίνης, 2021)

Κατά την περίοδο 1958 – 1968 δημιουργήθηκαν σημαντικές συνεργασίες, αλλά και διεθνείς οργανισμοί ερευνών (EFDA, πρόγραμμα ITER). Μετά το 1968 επικράτησαν οι αντιδραστήρες τύπου tokamak (ρωσικής προέλευσης αρχικά και γαλλικής στην συνέχεια) ή εναλλακτικά stellarator (με μικρότερη όμως απόδοση). Στα μέσα της δεκαετίας του 70 ξεκίνησε η κατασκευή μεγάλων και μοντέρνων αντιδραστήρων τύπου tokamak (πρόγραμμα JET) με ενθαρρυντικά αποτελέσματα, ενώ το 1988 η Γαλλία κατασκεύασε τον TORE SUPRA, οπότε η Ευρώπη εισήλθε δυναμικά σε μία νέα εποχή δοκιμών στις αντιδράσεις σύντηξης.

Ρεκόρ παραγωγής ενέργειας

Τα τελευταία χρόνια, τα επιτεύγματα γύρω από τις αντιδράσεις σύντηξης είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά. Στις προσπάθειες αυτές πρωτοστατεί το αμερικανικό ινστιτούτο NIF, το οποίο μέσω αδρανειακού περιορισμού, επιτυγχάνει ήδη από το 2018 ολοένα και μεγαλύτερες αποδόσεις ενέργειας, καθώς και ο Πειραματικός Προηγμένος Υπεραγώγιμος Tokamak της Κίνας (EAST) (Καρασαρίνης, 2021).

Το ρεκόρ παραγωγής ενέργειας μέσω αντίδρασης σύντηξης – 17 mW το 1997 – ωστόσο καταρρίφθηκε μόλις τον Φεβρουάριο του 2022, οπότε:

«Ομάδα επιστημόνων του Joint European Torus (JET), του μεγαλύτερου αντιδραστήρα πυρηνικής σύντηξης στον κόσμο που βρίσκεται στην Οξφόρδη, πέτυχε την παραγωγή 59 megajoules ενέργειας σε διάστημα 5 δευτεροπλέπτων, υπερδιπλασιάζοντας το προηγούμενο ρεκόρ, σύμφωνα με την Βρετανική Αρχή Ατομικής Ενέργειας» (euronews, 2022)

Στην παρούσα φάση, κυρίαρχο στον τομέα της σύντηξης είναι το πρόγραμμα ITER, το οποίο αποτελεί ένα μεγάλης κλίμακας διεθνές πείραμα, σχεδιασμένο να αποδείξει το επιστημονικά και τεχνολογικά εφικτό της σύντηξης ως νέας πηγής ενέργειας, βιομηχανικά

εκμεταλλεύσιμης. Ο ITER αναμένεται να αρχίσει να λειτουργεί στη Νότια Γαλλία το 2025 και να τεθεί σε πλήρη λειτουργία το 2035. (ITER, χ.χ.; Καθημερινή, Γαλλία: Ξεκίνησε η συναρμολόγηση του αντιδραστήρα που θα παράγει ανεξάντλητη ενέργεια, 2022).

Παράλληλα, το αμερικανικό MIT στοχεύει μέσα επόμενα 15 χρόνια να κατασκευάσει σε πρώτη φάση έναν νέο υπερσύγχρονο αντιδραστήρα «τσέπης» - πολύ μικρότερο από αυτόν του ITER, αλλά εξαιρετικά ισχυρό, φθηνότερο και εύχρηστο - και δευτερευόντως το πρώτο πιλοτικό εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής μέσω σύντηξης. Ο πολλά υποσχόμενος αυτός αντιδραστήρας με την ονομασία SPARC αναμένεται να λειτουργήσει νωρίτερα από τον ITER (Η συσκευή σύντηξης SPARC του MIT, 2021; «Καθαρή» ηλεκτρική ενέργεια από πυρηνική σύντηξη σε 15 χρόνια, 2018).

Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, είναι σαφές ότι η κλιματική αλλαγή και η ενεργειακή κρίση επιβάλλουν μια δραστική μείωση στην χρήση των ορυκτών καυσίμων. Παρόλο που στην χώρα μας οι ενεργειακές ανάγκες θα καλυφθούν σε μεγάλο ποσοστό από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εντούτοις σε παγκόσμιο επίπεδο η χρήση της πυρηνικής σύντηξης για παραγωγή ενέργειας μπορεί να αποτελέσει μια όχι μόνο αποδοτική αλλά και συνάμα οικολογική λύση, συμβάλλοντας στην επίτευξη των στόχων για μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Μέχρι σήμερα παρατηρούνται ολοένα και περισσότερες προσπάθειες εκμετάλλευσης της πυρηνικής σύντηξης από διάφορους οργανισμούς και προγράμματα σε παγκόσμια κλίμακα.

Βιβλιογραφία

1. Βέττας, Ν., Danchev, S., Μανιάτης, Γ., Παρασιώκας, Ν., & Βαλάσκας, Κ. (2021). *Ο Τομέας Ενέργειας στην Ελλάδα: Τάσεις, προοπτικές και προκλήσεις*. IOBE.
2. Δαπόντα, Χ. (2018). *Μελέτη της δυνατότητας εκμετάλλευσης της ενέργειας των σωματιδίων άλφα, που παράγονται από αντιδράσεις σύντηξης*. Μεταπτυχιακή διατριβή, Χανιά.
3. Δημητριάδου, Ζ. (2020). *Αναπτυξιακές Προοπτικές της Περιφερειακής Ενότητας Κοζάνης τη Μεταλιγνιτική Εποχή*. Διπλωματική Εργασία, Αθήνα.
4. Θεοφίλου, Α. (2006, Δεκέμβριος). Η ευφορία γύρω από την πυρηνική σύντηξη. *ΟΥΤΟΠΙΑ*, σσ. 15-19.
5. Καμζέλης, Η., & Κατσίκας, Γ. (2018). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και πράσινη οικονομία*. Πρέβεζα: Μαΐος.
6. Καρασαρίνης, Μ. (2021, Οκτώβριος 8). *Πυρηνική σύντηξη: η ενέργεια του μέλλοντος*. Ανάκτηση από Το Βήμα: <https://www.tovima.gr/2021/10/08/vimagazino/pyriniki-syntiksi-i-energeia-tou-mellontos/>
7. Κατσιπής, Μ. Ι. (2013). *Πυρηνικοί Αντιδραστήρες Σύντηξης*. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Αθήνα.
8. Οικονομίδης, Μ., Δαλαμαρίνης, Π., Φιλ, Ρ., & Λέοναρντ, Κ. (2017). *Το ενεργειακό μέλλον και το περιβάλλον*. Γερμανός.
9. Πολύζος, Σ. (2022). *Διαχείριση φυσικών πόρων και βιώσιμη ανάπτυξη*. Τζιόλας.
10. *Πόσο εξαρτάται η Ελλάδα από τα ορυκτά καύσιμα*. (2021, Σεπτέμβριος 20). Ανάκτηση από CNN greece: <https://www.cnn.gr/oikonomia/sustainable-news/story/282191/poso-exartatai-i-ellada-apo-ta-orykta-kaysima>
11. Τζένκινς, Ν., & Γουόκερ, Τ. Φ. (2007). *Αιολική ενέργεια και Ανεμογεννήτριες*. ΙΟΝ.
12. Τσαντσάν, Ι. (2012). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

13. ΧΡΗΣΤΟΣ, Λ. Α. (2017). *Πέρα από τα ορυκτά καύσιμα*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
14. *Αποθέματα και χαρακτηριστικά του ελληνικού λιγνίτη*. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://gr.boell.org/el/2015/12/15/apothemata-kai-haraktiristika-toy-ellinikoy-ligniti>.
15. ΔΕΗ: *Ζημιές 683 εκατ. ευρώ από το λιγνίτη*. (2019, Σεπτέμβριος 3). Ανάκτηση από Πρώτο ΘΕΜΑ: Οικονομία: <https://www.protothema.gr/economy/article/921524/dei-zimies-683-ekat-euro-aro-to-ligniti/>
16. Καθημερινή. (2007, 9 30). Ανάκτηση από <https://www.kathimerini.gr/economy/local/299866/o-vromikos-lignitis-kai-i-dei/>
17. Καθημερινή. (2022). Γαλλία: Ξεκίνησε η συναρμολόγηση του αντιδραστήρα που θα παράγει ανεξάντλητη ενέργεια. *Καθημερινή*.
18. MIT. (2018, Μάρτιος 9). Ανάκτηση από ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ: <https://www.kathimerini.gr/life/science/952806/mit-kathari-ilektriki-energeia-apo-pyriniki-syntixi-se-15-chronia/>
19. *Η συσκευή σύντηξης SPARC του MIT*. (2021, Μάιος 06). Ανάκτηση από Physics4u: <http://physics4u.gr/blog/2021/05/06/%CE%B7-%CF%83%CF%85%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AE-%CF%83%CF%8D%CE%BD%CF%84%CE%B7%CE%BE%CE%B7%CF%82-sparc-%CF%84%CE%BF%CF%85-mit/>
20. CNN. (2022). Πυρηνική σύντηξη: Άλμα των επιστημόνων για φθηνή και καθαρή ενέργεια.
21. euronews. (2022). Ρεκόρ παραγωγής ενέργειας με πυρηνική σύντηξη.
22. ITER. (χ.χ.). Ανάκτηση από Ευρωπαϊκή Επιτροπή: https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes/iter_el#-
23. wikipedia. (2022). Πυρηνική σύντηξη.
24. (2019). Ανάκτηση από https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal_el
25. (2021). Ανάκτηση από <https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2022/01/2022-01-28-HWEA-Statistics-Greece-s2-2021-f.pdf>
26. (2021). Ανάκτηση από <https://www.rae.gr/>