



«Η σύντηξη έχει τη δυνατότητα να προσφέρει μια μόνιμη λύση στις παγκόσμιες προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής και της ενεργειακής ασφάλειας.»

Ανακοίνωση G7,
14 Ιουνίου 2024

“Η σύντηξη έχει τη δυνατότητα να προσφέρει μια μόνιμη λύση στις παγκόσμιες προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής και της ενεργειακής ασφάλειας.”

Με αυτή την εισαγωγική φράση ξεκινάει η αναφορά που έκαναν για 1^η φορά στη σύντηξη **οι ηγέτες της G7** στην [κοινή τους ανακοίνωση](#) από την Απουλία της Ιταλίας στις 14 Ιουνίου 2024.

Οι ηγέτες συμφώνησαν σε περαιτέρω προώθηση των διεθνών συνεργασιών στον τομέα της σύντηξης, ενώ ήδη η Ιτα-

Σε αυτό το τεύχος

- ITER: Νέο χρονοδιάγραμμα και αλλαγές στο βασικό πλάνο **Σ1**
- JET – Το κύκνειο άσμα **Σ3**
- Νέα από τη βιομηχανία σύντηξης **Σ4**
- Διεθνείς Εκδηλώσεις & Συνέδρια **Σ4**
- Νέα της ομάδας Τεχνολογίας Σύντηξης του «Δημόκριτου» **Σ5**

λική προεδρία της G7 ανακοίνωσε την [α-πόφασή](#) της, από κοινού με τον **Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας**, να φιλοξενήσει στη Ρώμη την εναρκτήρια σύνοδο του νεοσύστατου [Παγκόσμιου Ομίλου Ενέργειας Σύντηξης](#) τον ερχόμενο Νοέμβριο.

Η σύντηξη αποκτά όλο και περισσότερη δυναμική στο διεθνές γίγνεσθαι ως αναπόσπαστο μέρος της λύσης του ενεργειακού προβλήματος του πλανήτη.

Διαβάστε τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στο παρόν 3^ο τεύχος του “**Σύντηξη για Ενέργεια**”.

ITER: Νέο χρονοδιάγραμμα και αλλαγές στο βασικό πλάνο

Σαφέστερη στόχευση για βέλτιστη αξιοποίηση του αντιδραστήρα

Το [ITER](#), ο μεγαλύτερος πειραματικός αντιδραστήρας σύντηξης στον κόσμο που κατασκευάζεται τα τελευταία χρόνια στο Cadarache της Γαλλίας, αποκτά πλέον ένα αναθεωρημένο βασικό πλάνο κατασκευής (“baseline” project plan) και ένα νέο χρονοδιάγραμμα, όπως ανακοίνωσε ο Γενικός Διευθυντής του προγράμματος, Pietro Barabaschi, σε [συνέντευξη τύπου στις 3 Ιουλίου 2024](#).

Η αναθεώρηση δεν αλλάζει τους κύριους στόχους του ITER, οι οποίοι περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την παραγωγή άνω των 500 MW ισχύος από αντιδράσεις σύντηξης ξεκινώντας από 50 MW θερμική ισχύ εισόδου, δηλαδή επίτευξη συντελεστή απόδοσης $Q \geq 10$. Όμως, οι αλλαγές κρίνονται αναγκαίες ώστε να εξασφαλιστεί ότι



Ο νέος σχεδιασμός περιλαμβάνει τεχνικές αλλαγές που μειώνουν τον κίνδυνο αποτυχίας του ITER, όπως η αντικατάσταση του τοξικού βηρυλλίου με βολφράμιο για την επένδυση των εσωτερικών τοιχωμάτων του αντιδραστήρα



Τοποθέτηση των επί μέρους τμημάτων σχήματος D που αποτελούν το θάλαμο κενού του ITER (iter.org)

η πρώτη πειραματική φάση του αντιδραστήρα, αν και καθυστερημένη, θα αποδώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Το νέο σχέδιο [τέθηκε υπό αξιολόγηση](#) από τις χώρες-μέλη του προγράμματος: Κίνα, Ινδία, Ιαπωνία, Νότια Κορέα, Ρωσία, ΗΠΑ και Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η ιδέα του ITER γεννήθηκε τη δεκαετία του **1980**, ενώ το **2006** υπογράφηκε η διεθνής σύμβαση για την υλοποίησή του, με αναμενόμενη αρχή λειτουργίας έπειτα από 10 χρόνια. Η κατασκευή όμως των πολύπλοκων εξαρτημάτων του αντιδραστήρα σε διαφορετικά σημεία του πλανήτη επέφερε κάποια καθυστέρηση, με συνέπεια το **2016** να τεθεί **νέο χρονοδιάγραμμα** με προβλεπόμενη πρώτη χρήση καυσίμου **δευτερίου-τριτίου (D-T) το 2035**. Εντωμεταξύ, επιπλέον καθυστερήσεις προστέθηκαν τα τελευταία χρόνια, λόγω της πανδημίας του COVID-19 αλλά και της [διαδικασίας αδειοδότησης](#) από την Γαλλική Αρχή Πυρηνικής Ασφάλειας.

Ο νέος σχεδιασμός περιλαμβάνει τεχνικές αλλαγές που μειώνουν τον κίνδυνο αποτυχίας του εγχειρήματος, όπως η **αντικατάσταση του τοξικού βηρυλλίου με βολφράμιο** για την επένδυση των εσωτερικών τοιχωμάτων του αντιδραστήρα, αλλά και αλλαγές στον προγραμματισμό των εργασιών, με σκοπό όλα τα απαραίτητα συστήματα να είναι στη θέση τους και να υπάρξει **βέλτιστη αξιοποίηση** όταν ο αντιδραστήρας θα τεθεί σε λειτουργία. Σύμφωνα με το νέο χρονοδιάγραμμα, **η χρήση D-T μετατίθεται για το 2039** ενώ επιπλέον κόστος **5 δισ. €** προστίθεται στον προϋπολογισμό που ανέρχεται στα **20 δισ. €**.

Όλοι συμφωνούν ότι τα **πολύτιμα δεδομένα** και η εμπειρία που θα αποκομίσουμε από τα πειράματα στον ITER, σε αυτόν τον πολύπλοκο αντιδραστήρα, σε ευαίσθητους τομείς όπως η **διαχείριση του τριτίου** και η παρατεταμένη **καύση του πλάσματος**, θα εξασφαλίσουν την επιτυχία των μελλοντικών σταθμών παραγωγής ενέργειας από τη σύντηξη.

JET – Το κύκνειο άσμα

Στο τέλος του κύκλου ζωής και λειτουργίας του φτάνει η Κοινή Ευρωπαϊκή Συσκευή Σύντηξης JET (Joint European Torus) μετά από 4 δεκαετίες επιτυχημένης λειτουργίας και πρωτοποριακών πειραμάτων.



Στιγμιότυπα από την καύση του πλάσματος δευτερίου-τρίτιου (D-T) κατά την τελευταία πειραματική καμπάνια του JET (euro-fusion.org)

Το JET κατασκευάστηκε στο Culham της Οξφόρδης στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και μέχρι το τέλος του 2023 ήταν η μεγαλύτερη και πιο προηγμένη συσκευή σύντηξης τύπου tokamak στον κόσμο. Το JET **εγκαινιάστηκε το 1983** και το 1991 πραγματοποιήθηκαν τα **πρώτα πειράματα με τρίτιο**, καθιστώντας το JET τον πρώτο αντιδραστήρα που λειτουργεί με μίγμα δευτερίου-τρίτιου (D-T). Τα πειράματα συνεχίστηκαν έως τον Δεκέμβριο του 2023, οπότε το JET ολοκλήρωσε τη λειτουργία του και μπήκε σε φάση αποξήλωσης, η οποία αναμένεται να διαρκέσει έως το **2040**.

Πριν όμως την οριστική παύση της λειτουργίας του, **το JET «έσπασε» άλλο ένα ρεκόρ** φέρνοντας την ανθρωπότητα ένα βήμα πιο κοντά στο όραμα για ανεξάντλητη καθαρή ενέργεια. Τον Οκτώβριο του 2023, κατά τη διάρκεια του τελευταίου πειράματος που διεξήχθη στο JET με πηγή πλάσματος D-T, παρήχθησαν **69 Megajoules** ενέργειας σε διάστημα πέντε δευτερολέπτων, τιμή τριπλάσια από αυτή που είχε επιτευχθεί στο αντίστοιχο πείραμα D-T το 1997.

Το αποτέλεσμα αυτό είναι τρομερά ενθαρρυντικό για τη συνέχεια του εγχειρήματος καθώς «...*Πέρα από τη δημιουργία ενός νέου ρεκόρ, πετύχαμε πράγματα που δεν έχουμε ξανακάνει και καταφέραμε να εμβαθύνουμε την κατανόησή μας για τη φυσική και τεχνολογία σύντηξης*», δήλωσε ο **Ambrogio Fasoli**, διευθυντής του προγράμματος EU-ROfusion.

Πράγματι, τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο JET, ιδιαίτερα την τριετία 2021-2023, προσέφεραν τεράστια εμπειρία και πρόοδο στην διαδικασία προετοιμασίας του ITER.

Όπως δήλωσε ο Andrew Bowie, Υπουργός για την Πυρηνική Ενέργεια και τα Δίκτυα του Ηνωμένου Βασιλείου:

*«Το τελευταίο πείραμα σύντηξης του JET είναι ένα κατάλληλο **κύκνειο άσμα** μετά από όλη την πρωτοποριακή δουλειά που έχει γίνει από το 1983. Είμαστε **πιο κοντά** από ποτέ στην **ενέργεια σύντηξης**, χάρη στη διεθνή ομάδα επιστημόνων και μηχανικών στο Oxfordshire».*

«Το τελευταίο πείραμα σύντηξης του JET είναι ένα κατάλληλο κύκνειο άσμα μετά από όλη την πρωτοποριακή δουλειά που έχει γίνει από το 1983.

Είμαστε πιο κοντά από ποτέ στην ενέργεια σύντηξης, χάρη στη διεθνή ομάδα επιστημόνων και μηχανικών στο Oxfordshire».

*Andrew Bowie,
Υπουργός για την
Πυρηνική Ενέργεια
και τα Δίκτυα,
Ηνωμένο Βασίλειο*

Νέα από τη βιομηχανία σύντηξης

Τα 7 δισ. \$ άγγιξαν εντός του 2024 οι επενδύσεις σε εταιρείες σύντηξης διεθνώς



Εταιρείες σύντηξης ανά τον κόσμο.
(Fusion Industry Association, 2024)

Σύμφωνα με στοιχεία που [δημοσίευσε](#) πρόσφατα ο Σύνδεσμος Βιομηχανιών Σύντηξης (ΣΒΣ), οι επενδύσεις σε εταιρείες σύντηξης αυξήθηκαν από 6.2 σε 7.1 δισ. \$ το τελευταίο έτος. Μέρος αυτών των κεφαλαίων προέρχονται και από κρατικές επιδοτήσεις, οι οποίες παρουσίασαν άνοδο **άνω του 50%**. Αυτό υποδηλώνει ότι οι κυβερνήσεις αναγνωρίζουν όλο και περισσότερο τη συμβολή του ιδιωτικού τομέα στην κούρσα για την επίτευξη της παραγωγής ενέργειας από τη σύντηξη.

Σήμερα υπάρχουν **συνολικά 45 εταιρείες** σε όλο τον κόσμο που εργάζονται για αυτό το σκοπό. Οι περισσότερες (25) έχουν έδρα τις ΗΠΑ, ενώ στην Ευρώπη δραστηριοποιούνται 11 και στην Ασία 6. Εκτός του πλήθους, ση-

μαντικές διαφορές παρουσιάζουν και τα οικονομικά μεγέθη. Οι αμερικανικές εταιρείες συγκεντρώνουν κεφάλαια άνω των **5 δισ. €** ενώ το αντίστοιχο ποσό στην Ευρώπη είναι μόλις **200 εκατ. €**.

Παράλληλα, θεαματικά αυξάνεται και η απασχόληση. Από **1.000** άτομα περίπου το 2021, το ανθρώπινο δυναμικό στη βιομηχανία σύντηξης αριθμεί σήμερα πάνω από **4.000**, κυρίως επιστήμονες και μηχανικούς.

Οι εταιρείες σύντηξης αξιοποιούν τις πιο πρόσφατες ανακαλύψεις στη φυσική και την επιστήμη υλικών με στόχο να παράξουν αποτελέσματα πολύ πιο γρήγορα από τα μεγάλα επιστημονικά πειράματα, όπως το ITER. Σε έρευνα που διεξήχθη το 2023, το **65% των εταιρειών** εξέφρασαν την πεποίθηση ότι έως το **2035** ενέργεια σύντηξης θα έχει διοχετευθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Όμως πολλοί επιστήμονες αντιμετωπίζουν αυτές τις εξαγγελίες με δυσπιστία, καθώς, όπως υποστηρίζουν, ακόμα και αν η βιωσιμότητα της σύντηξης αποδεικνυόταν σήμερα, η ανάπτυξη της αναγκαίας τεχνολογίας για την εμπορική της αξιοποίηση θα χρειαζόταν πολύ πάνω από μια δεκαετία.

Διεθνείς Εκδηλώσεις & Συνέδρια

COP28 | FUSION24

Η σημασία της σύντηξης για το κλίμα συζητήθηκε εκτενώς στην τελευταία Παγκόσμια Σύνοδο του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή ([COP28](#)), που πραγματοποιήθηκε στο **Ντουμπάι** τον Δεκέμβριο 2023. Ο ειδικός απεσταλμένος των ΗΠΑ **John Kerry** [ανακοίνωσε](#) ένα [σχέδιο 5 σημείων](#) για διεθνή συνεργασία, δηλώνοντας παράλληλα πως «η σύντηξη **μπορεί να φέρει επανάσταση στον κόσμο μας**».

Η Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας του Ην. Βασιλείου (UKAEA) διοργάνωσε στις 18 Ιουνίου την ημερίδα [FUSION24](#). Η εκδήλωση έγινε στο Μουσείο Επιστημών του Λονδίνου και συγκέντρωσε ερευνητές, επιχειρηματίες και πολιτικούς από όλο τον κόσμο. Το κύριο μήνυμα της εκδήλωσης, όπως το συνόψισε ο [καθ. Μ.](#)

[Maslin](#), ήταν ότι «**Πρέπει να προχωρήσουμε την επιστήμη και την τεχνολογία και να πραγματοποιήσουμε το όνειρο της *άφθονης καθαρής ενέργειας*, επειδή αυτό θα μας επιτρέψει να αντιμετωπίσουμε την κλιματική αλλαγή, την ακραία φτώχεια και θα μας οδηγήσει σε ένα πιο *φωτεινό μέλλον σύντηξης*».**



Σε έρευνα που διεξήχθη το 2023, το 65% των εταιρειών εξέφρασαν την πεποίθηση ότι έως το 2035 ενέργεια σύντηξης θα έχει διοχετευθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Τα νέα της ομάδας Τεχνολογίας Σύντηξης του «Δημόκριτου»

Ημερίδα για τα 25 χρόνια του
Ελληνικού Προγράμματος Σύντηξης



Την **Πέμπτη 24 Οκτωβρίου 2024** στο κεντρικό κτήριο του Πανεπιστημίου Αθηνών, στο αμφιθέατρο Ι. Δρακόπουλος, θα πραγματοποιηθεί ημερίδα με τίτλο **«25 years of the Hellenic Fusion Programme: Achievements and Prospects towards Fusion Energy in Europe»**.

Ο διευθυντής του Ευρωπαϊκού Προγράμματος EUROfusion, Καθηγητής **Ambrogio Fasoli**, θα παρουσιάσει τον Ευρωπαϊκό οδικό χάρτη για την επίτευξη ενέργειας μέσω σύντηξης. Οι **ελληνικές ερευνητικές ομάδες** από τα Πανεπιστήμια και Ερευνητικά Κέντρα θα περιγράψουν τις ερευνητικές τους δραστηριότητες στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Σύντηξης, ενώ **νέοι Έλληνες Ερευνητές** που δραστηριοποιούνται στο εξωτερικό στο χώρο της Σύντηξης θα παρουσιάσουν την ερευνητική τους διαδρομή και τη ματιά τους στο μέλλον της ενέργειας μέσω σύντηξης.

Περισσότερες πληροφορίες στην ιστοσελίδα της εκδήλωσης

<https://www.eventora.com/en/Events/25-years-Hellenic-Fusion-Programme>

Ενεργοποίηση ψυκτικών μέσων σε μελλοντικούς αντιδραστήρες σύντηξης

Ερευνητές της ομάδας τεχνολογίας σύντηξης του ΕΚΕΦΕ “Δ” συμμετέχουν στο [πείραμα ενεργοποίησης του νερού](#) στην εγκατάσταση KATANA του αντιδραστήρα JSI TRIGA στην Σλοβενία, με σκοπό τον πειραματικό προσδιορισμό των προϊόντων που προκύπτουν από την ενεργοποίηση του ψυκτικού μέσου σε κλειστά κυκλώματα αντιδραστήρων και την επιβεβαίωση των αντίστοιχων προβλέψεων για το ITER.

Μελέτη της διάβρωσης του εκτροπέα

Τη **διάβρωση** της επιφάνειας του **εκτροπέα** (divertor) από σωματίδια του πλάσματος σύντηξης μελετούν ερευνητές της ομάδας Τεχνολογίας Σύντηξης του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος». Τα πειράματα έκθεσης στο πλάσμα διεξάγονται στο **WEST tokamak**, σε τύπο εκτροπέα ίδιο με αυτόν που θα χρησιμοποιηθεί στο ITER. Ο εκτροπέας εξαγεί θερμότητα και τέφρα που παράγονται από την αντίδραση σύντηξης, ελαχιστοποιεί τη μόλυνση του πλάσματος και προστατεύει τα γύρω τοιχώματα από θερμικά και νετρονικά φορτία. Αποτελείται από βολφράμιο το οποίο περιβάλλει σωλήνες κράματος **CuCrZr** ψυχόμενους με νερό που κυκλοφορεί στο εξωτερικό τους.



Μονάδα του εκτροπέα τύπου ITER που χρησιμοποιείται στο **WEST**, αποτελούμενο από βολφράμιο και σωλήνα ψύξης του κράματος **CuCrZr** (<https://irfm.cea.fr/en/west/>).



Από τα εγκαίνια της εγκατάστασης KATANA στο Jozef Stefan Institute της Σλοβενίας (euro-fusion.org)

Ημερίδα:
«25 χρόνια Ελληνικού Προγράμματος Σύντηξης: Επιτυχίες και Προοπτικές για Ενέργεια Σύντηξης στην Ευρώπη»,
24 Οκτωβρίου 2024,
Πανεπιστήμιο Αθηνών

Συντακτική Επιτροπή

Δρ Γιώργος Αποστολόπουλος, gapost@ipta.demokritos.gr
Δρ Δώρα Βασιλοπούλου, dora@ipta.demokritos.gr

Δρ Κωνσταντίνα Μεργιά, kmergia@ipta.demokritos.gr
Δρ Ίων Σταματελάτος, ion@ipta.demokritos.gr