

Χημικά

Χρονικά

ΤΕΥΧΟΣ ΙΟΥΛΙΟΥ - ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ 2026

**Νέες προσεγγίσεις
χημειοθεραπειών του
λεμφώματος**

**Συνθετικά καύσιμα - μέθοδος
Fischer-Tropsch**

Χημεία των Καρπανών



Η Διοικούσα Επιτροπή της Ε.Ε.Χ. (2025-2027)

Πρόεδρος: Παπαδόπουλος Αθανάσιος

Α' Αντιπρόεδρος: Κορίλλης Αναστάσιος

Β' Αντιπρόεδρος: Κουλός Βασίλειος

Γενικός Γραμματέας: Σιταράς Ιωάννης

Ειδικός Γραμματέας: Βαφειάδης Ιωάννης - Αλέξανδρος

Ταμίας: Σωτηρίου Πέτρος

Μέλη: Στεφανίδου Άννα, Παπαγιαννοπούλου Ειρήνη,

Στάικος Χρήστος, Ψαρουδάκης Νικόλαος, Σιδέρη

Τριανταφυλλένια

Περιφερειακά τμήματα της Ε.Ε.Χ.

Αττικής και Κυκλάδων (Πρόεδρος: Κορωνιά Αικατερίνη), Κάνιγγος 27, Τ.Κ. 10682 Αθήνα, τηλ.: 210 3821524, 210 3829266, fax: 2103833597, e-mail: ptak@eex.gr

Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας (Πρόεδρος: Κουλός Βασίλειος), Αριστοτέλους 6, Τ.Κ. 54623 Θεσσαλονίκη, τηλ./fax: 2310 278077, e-mail: ptkdm@eex.gr

Πελοποννήσου και Δυτικής Ελλάδας (Πρόεδρος: Παναγόπουλος Βασίλειος), Μαιζώνος 211, Τ.Κ. 26222 Πάτρα, τηλ./fax: 2610 362460, e-mail: eexpat@eex.gr

Κρήτης (Πρόεδρος: Σκουληκάρη Εμμανουέλα), Επιμενίδου 19, Τ.Κ. 71110 Ηράκλειο Κρήτης, Τ.Θ. 1335, τηλ./fax: 2810 220292, e-mail: crete@eex.gr, eexkritis@yahoo.com

Θεσσαλίας (Πρόεδρος: Γούναρης Στέργιος), Σκενδεράνη 2, Τ.Κ. 38221 Βόλος, τηλ./fax: 24210 37421, e-mail: eexthes@eex.gr

Ηπείρου - Κερκύρας - Λευκάδας (Πρόεδρος: Χασιώτης Γεώργιος), Γραφείο X2 - 109, Ισόγειο, Τμήμα Χημείας-Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Πανεπιστημιούπολη Ιωαννίνων, 45110 Ιωάννινα, Τηλ.: 26510 08358, e-mail: epiruseex@gmail.com

Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας Λεβαδίτου 2, Τ.Κ. 35100 Λαμία, τηλ.: 22310 25388, e-mail: eex.astereas@gmail.com

Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (Πρόεδρος: Κουτσιανόπουλος Φώτης), Τμήμα Χημείας ΔΙΠΑΕ, Άγιος Λουκάς, ΤΚ 654 04, Καβάλα, τηλ./fax: 25510 81002, e-mail: ptamth.eex@gmail.com

Νοτίου Αιγαίου Κλ. Πέππερ 1, Τ.Κ. 85100 Ρόδος, τηλ.: 22410 28638, 22410 37522, fax: 22410 35623, 22410 37522, e-mail: eex@rho.forthnet.gr

Βορείου Αιγαίου (Πρόεδρος: Τσεκούρα Ελένη), Ηλία Βενέζη 1, Τ.Κ. 81100 Μυτιλήνη, τηλ./fax: 22510 28183, e-mail: n.aegean@eex.gr

Ιδιοκτήτης: Ένωση Ελλήνων Χημικών

Εκδότης: Ο πρόεδρος της Ε.Ε.Χ. Παπαδόπουλος Αθανάσιος

Αρχισυντάκτης: Καραγιάννης Μιλτιάδης

Αναπληρωτής Αρχισυντάκτης: Κιτσινέλης Σπύρος

Μέλη Συντακτικής Επιτροπής: Κατσαφούρου Αγγελική, Κούσκουρα Μαρία, Κυριακού Ηρακλής, Παναγιώτης Πάντος, Τατάρογλου Αθανάσιος, Στέλλα Χατζημιχαλίδου, Χατζημητάκος Θεόδωρος

Εκπρόσωπος της Δ.Ε. της Ε.Ε.Χ. στη Συντακτική Επιτροπή: Σιταράς Ιωάννης

Βοηθός έκδοσης: Κιτσινέλης Σπύρος

Τιμή Τεύχους: 3 €

Συνδρομές: Τακτικά μέλη (ενεργά): 35€

Τακτικά μέλη (συνταξιούχοι): 35€

Άνεργοι, μεταπτυχιακοί φοιτητές και στρατευμένοι: 15€

Βιομηχανίες – Οργανισμοί: 74€

Συνδρομή Εξωτερικού: \$120

Σχεδίαση - Παραγωγή Έκδοσης: Adjust Lane

Ελευθερίας 51Α, 14235 Ν. Ιωνία

τηλ.: +306945594308

e-mail: panlampro@yahoo.gr

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

3 Σημείωμα του Εκδότη

4 Επικαιρότητα

9 Άρθρα

25 Δράσεις ΕΕΧ/ Δελτία Τύπου

Αγαπητές και αγαπητοί συνάδελφοι,

Το καλοκαίρι αποτελεί πάντοτε μια μικρή παρένθεση στην ένταση της καθημερινότητας. Είναι μια περίοδος ξεκούρασης αλλά και μια ευκαιρία να κάνουμε έναν απολογισμό, να δούμε με μεγαλύτερη καθαρότητα όσα προηγήθηκαν και να σκεφτούμε όσα έρχονται. Με την επιστροφή λοιπόν από τις καλοκαιρινές διακοπές ανοίγει ένας ακόμη κύκλος για την ελληνική χημική κοινότητα.

Η νέα περίοδος βρίσκει την Ένωση Ελλήνων Χημικών μπροστά σε σημαντικές προκλήσεις αλλά και σε σημαντικές ευκαιρίες. Ο ρόλος του Χημικού μεταβάλλεται διαρκώς καθώς η επιστήμη και η τεχνολογία εξελίσσονται με πρωτοφανή ταχύτητα. Η τεχνητή νοημοσύνη, η ενεργειακή ασφάλεια, τα νέα υλικά, η βιοτεχνολογία και η ψηφιοποίηση δημιουργούν νέες ανάγκες αλλά και νέες επαγγελματικές προοπτικές.

Ταυτόχρονα, η κοινωνία βρίσκεται αντιμέτωπη με προβλήματα στα οποία η χημεία έχει καθοριστική συμβολή όπως την κλιματική αλλαγή, την προστασία του περιβάλλοντος, την ποιότητα του νερού και των τροφίμων, τη διαχείριση των αποβλήτων, την ασφάλεια των χημικών προϊόντων και την ανάπτυξη βιώσιμων τεχνολογιών. Σε μια εποχή όπου η επιστημονική γνώση συχνά ανταγωνίζεται την παραπληροφόρηση, η φωνή των επιστημόνων αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα.

Μέσα σε αυτό το περιβάλλον, η Ένωση Ελλήνων Χημικών δεν είναι απλώς ένας επαγγελματικός ή επιστημονικός φορέας. Είναι ο θεσμικός εκπρόσωπος ενός ολόκληρου επιστημονικού κλάδου και έχει την ευθύνη να υπερασπίζεται τον ρόλο, την αξία και την επιστημονική υπόσταση του Χημικού στην ελληνική κοινωνία. Η ανάδειξη του επαγγέλματος, η διασφάλιση των επαγγελματικών δικαιωμάτων, η ποιότητα της εκπαίδευσης, η σύνδεση της εκπαίδευσης με την αγορά εργασίας και η συμμετοχή των Χημικών στον δημόσιο διάλογο αποτελούν ζητήματα που μας αφορούν όλους.

Μετά το καλοκαίρι λοιπόν, δεν επιστρέφουμε απλώς στην καθημερινότητα. Επιστρέφουμε σε μια νέα περίοδο με την ευκαιρία να επαναπροσδιορίσουμε τον ρόλο μας, να συνεργαστούμε περισσότερο και να κάνουμε τη φωνή των Ελλήνων Χημικών ακόμη πιο δυνατή.

Καλή επιστροφή, καλή νέα περίοδο και πάνω απ' όλα, καλή και δημιουργική χημική χρονιά σε όλους!

Δρ Αθανάσιος Παπαδόπουλος
Πρόεδρος Ένωσης Ελλήνων Χημικών

ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΧΡΟΝΙΚΩΝ

Προκειμένου να βελτιωθεί τόσο η ποιότητα, όσο και η αισθητική της ύλης που δημοσιεύεται στο Περιοδικό ΧΗΜΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, η συντακτική επιτροπή παρακαλεί και προτείνει σε όλους τους συνεργάτες, ανταποκριτές και αναγνώστες του, που συνεισφέρουν στον εμπλουτισμό της ύλης, να λαμβάνουν υπόψη τους τα εξής:

- 1) Η συντακτική επιτροπή δέχεται ευχαρίστως συνεργασίες από αναγνώστες σε θέματα που αναφέρονται στους χημικούς, στην επιστήμη της χημείας (ειδήσεις, άρθρα, πληροφορίες κ.λπ.) και σε ανταποκρίσεις από εκδηλώσεις σχετικές με το αντικείμενο της χημείας, που συμβαίνουν σε οποιοδήποτε σημείο της Ελλάδας.
- 2) Πριν αποφασίσουν την αποστολή οποιασδήποτε συνεργασίας να λαμβάνουν υπόψη τον κανονισμό δημοσιεύσεων του περιοδικού ΧΗΜΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ που είναι αναρτημένος στον ιστότοπο του περιοδικού
www.eex.gr/library/ximika-xronika/kanonismos-ximikon-xronikon
- 3) Ιδιαίτερα παρακαλεί αυτούς που στέλνουν φωτογραφικό υλικό από εκδηλώσεις, αυτό να είναι κατά το δυνατόν λιτό, αντιπροσωπευτικό της εκδήλωσης και καλής ποιότητας από άποψη ανάληψης των φωτογραφιών.

Η χημεία ως πυλώνας της οικονομίας του 21ου αιώνα – Τα διδάγματα από τη νέα έκθεση της Royal Society of Chemistry

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

Για πολλές δεκαετίες η χημεία θεωρούνταν κυρίως η επιστήμη που υποστηρίζει τη βιομηχανία, την ιατρική και την τεχνολογία. Σήμερα όμως αναδεικνύεται ολοένα και περισσότερο ως ένας από τους σημαντικότερους μοχλούς οικονομικής ανάπτυξης. Αυτό είναι το βασικό συμπέρασμα της νέας έκθεσης **The Contribution of Chemistry**, που δημοσίευσε η Royal Society of Chemistry (RSC) τον Ιούλιο του 2026 και η οποία επιχειρεί να αποτυπώσει, με οικονομικούς δείκτες, την πραγματική αξία των χημικών επιστημών για το Ηνωμένο Βασίλειο.

Τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακά. Σύμφωνα με την έκθεση, η συνολική συνεισφορά της χημείας στην οικονομία του Ηνωμένου Βασιλείου έφθασε το 2023 στα 60,5 δισεκατομμύρια λίρες, μέγεθος που είναι αντίστοιχο με εκείνο ολόκληρου του βρετανικού τουριστικού τομέα. Η διαπίστωση αυτή ανατρέπει την εικόνα της χημείας ως μιας «αόρατης» επιστήμης που δρα μόνο στο παρασκήνιο της παραγωγής και αναδεικνύει τον καθοριστικό της ρόλο στην οικονομική ευημερία.

Ακόμη πιο ενδιαφέρουσα είναι η αναπτυξιακή δυναμική του κλάδου. Η Ακαθάριστη Προστιθέμενη Αξία (Gross Value Added – GVA) των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη χημεία αυξήθηκε κατά 18% μεταξύ 2019 και 2023, παρά το γεγονός ότι η περίοδος αυτή χαρακτηρίστηκε από την πανδημία COVID-19, την ενεργειακή κρίση, τον υψηλό πληθωρισμό και τις διεθνείς γεωπολιτικές αναταράξεις. Η εξέλιξη αυτή υποδηλώνει ότι οι χημικές επιστήμες αποτελούν έναν ιδιαίτερα ανθεκτικό και παραγωγικό κλάδο της οικονομίας.

Η παραγωγικότητα του ανθρώπινου δυναμικού επιβεβαιώνει την ίδια εικόνα. Κάθε εργαζόμενος σε επαγγέλματα που σχετίζονται με τη χημεία δημιουργεί κατά μέσο όρο 98.300 λίρες προστιθέμενης αξίας ετησίως, όταν ο μέσος όρος για το σύνολο της βρετανικής οικονομίας είναι 73.300 λίρες. Η διαφορά αυτή αποτυπώνει τη μεγάλη οικονομική αξία της εξειδικευμένης επιστημονικής γνώσης και της καινοτομίας.

Η επίδραση της χημείας, ωστόσο, δεν περιορίζεται στους οικονομικούς δείκτες. Σύμφωνα με την έκθεση, περίπου το 49% των αποφοίτων χημείας εργάζονται σε τομείς που αποτελούν κυβερνητικές στρατηγικές προτεραιότητες, όπως η καθαρή ενέργεια, η προηγμένη μεταποίηση (advanced manufacturing) και η αμυντική βιομηχανία. Η χημεία, επομέ-



The Contribution of Chemistry

ως, λειτουργεί ως βασικός τροφοδότης ανθρώπινου δυναμικού για τους κλάδους που αναμένεται να διαμορφώσουν την οικονομία των επόμενων δεκαετιών.

Παράλληλα, η RSC επισημαίνει έναν παράγοντα που συχνά παραβλέπεται: η χημεία συμβάλλει ουσιαστικά στην περιφερειακή ανάπτυξη. Οι χημικές βιομηχανίες, τα ερευνητικά κέντρα και οι επιχειρήσεις υψηλής τεχνολογίας είναι διασκορπισμένα σε πολλές περιοχές της χώρας και όχι μόνο στα μεγάλα αστικά κέντρα. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται ποιοτικές θέσεις εργασίας, ενισχύονται οι τοπικές οικονομίες και μειώνονται οι περιφερειακές ανισότητες.

Η οικονομική σημασία της χημείας εξηγείται από το γεγονός ότι αποτελεί θεμέλιο σχεδόν όλων των τεχνολογιών αιχμής. Η φαρμακοβιομηχανία, τα προηγμένα υλικά, οι μπαταρίες νέας γενιάς, οι τεχνολογίες υδρογόνου, οι ημιαγωγοί, η κυκλική οικονομία, τα νέα πολυμερή, η αγροδιατροφή και η πράσινη μετάβαση βασίζονται σε χημικές γνώσεις και σε συνεχή ερευνητική καινοτομία.

Παρά τα εντυπωσιακά αποτελέσματα, η έκθεση δεν παραλείπει να επισημάνει σημαντικές προκλήσεις. Η πρόεδρος της Royal Society of Chemistry, Dr Helen Pain, προειδοποιεί ότι η διατήρηση αυτής της αναπτυξιακής πορείας δεν είναι δεδομένη. Οι οικονομικές πιέσεις που αντιμετωπίζουν τα πανεπιστήμια απειλούν την εκπαίδευση και την παραγωγή νέων επιστημόνων, ενώ η γεωπολιτική αστάθεια και το αυξημένο

ενεργειακό κόστος επηρεάζουν άμεσα τη διεθνή ανταγωνιστικότητα της χημικής βιομηχανίας. Επιπλέον, η έκθεση υπογραμμίζει ότι πολλές νεοφυείς επιχειρήσεις δυσκολεύονται να αποκτήσουν πρόσβαση σε σύγχρονες εργαστηριακές εγκαταστάσεις και στις απαραίτητες υποδομές για τη βιομηχανική κλιμάκωση (scale-up), γεγονός που περιορίζει τη μετατροπή της επιστημονικής γνώσης σε εμπορική καινοτομία. Τα συμπεράσματα της έκθεσης έχουν ιδιαίτερη σημασία και για την Ελλάδα. Σε μια οικονομία που επιδιώκει να ενισχύσει την παραγωγικότητα και την εξωστρέφειά της, η χημεία μπορεί να αποτελέσει καταλύτη ανάπτυξης. Η ελληνική φαρμακοβιομηχανία, η παραγωγή προηγμένων υλικών, τα καλλυντικά, η αγροδιατροφή, η αξιοποίηση ορυκτών πρώτων

υλών, η ενεργειακή μετάβαση και η κυκλική οικονομία είναι τομείς στους οποίους η χημική γνώση μπορεί να δημιουργήσει προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας και νέες εξαγωγικές δυνατότητες.

Το βασικό μήνυμα της έκθεσης είναι σαφές: η χημεία δεν αποτελεί μόνο θεμελιώδη επιστήμη αλλά και στρατηγική οικονομική επένδυση. Η ενίσχυση της χημικής εκπαίδευσης, η στήριξη της έρευνας, η ανάπτυξη σύγχρονων ερευνητικών υποδομών και η στενότερη συνεργασία μεταξύ πανεπιστημίων, βιομηχανίας και πολιτείας δεν αποτελούν απλώς πολιτικές για την επιστήμη· αποτελούν προϋποθέσεις για μια πιο ανταγωνιστική και ανθεκτική οικονομία.

Πηγές

1. Royal Society of Chemistry. *The Contribution of Chemistry*. Royal Society of Chemistry, 2026.
2. Briggs, F. «Chemistry delivers £60.5 billion to the UK economy and makes local economies more resilient, says RSC report». *Chemistry World*, 7 July 2026.

Μια νέα θεώρηση του χημικού δεσμού αμφισβητεί την κλασική εικόνα

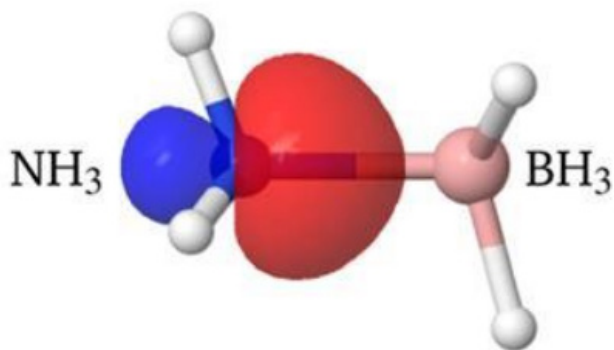
Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

Για περισσότερο από έναν αιώνα, η θεωρία του Gilbert N. Lewis αποτελεί έναν από τους θεμελιώδεις λίθους της σύγχρονης Χημείας. Από το 1916, οι χημικοί περιγράφουν τον ομοιοπολικό δεσμό ως το αποτέλεσμα της κοινής χρήσης ενός ζεύγους ηλεκτρονίων μεταξύ δύο ατόμων. Παρά την ανάπτυξη της Κβαντικής Χημείας, της θεωρίας των Μοριακών Τροχιακών και των ολοένα πιο εξελιγμένων υπολογιστικών μοντέλων, η βασική αυτή εικόνα παρέμεινε σχεδόν αδιαμφισβήτητη: δύο ηλεκτρόνια μοιράζονται ισότιμα τον δεσμό και είναι εξίσου υπεύθυνα για τη σταθερότητα του μορίου. Μια νέα θεωρητική μελέτη από ερευνητές ισπανικών πανεπιστημίων έρχεται, ωστόσο, να προτείνει μια διαφορετική οπτι-

κή. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά της, σε πολλές κατηγορίες χημικών δεσμών μόνο το ένα από τα δύο ηλεκτρόνια του ζεύγους συμμετέχει ουσιαστικά στη δημιουργία και τη σταθεροποίηση του δεσμού, ενώ το δεύτερο παραμένει σε μεγάλο βαθμό εντοπισμένο στο ένα από τα δύο άτομα ή μοριακά τμήματα. Οι ερευνητές ονομάζουν το πρώτο «ενεργό ηλεκτρόνιο» (active electron) και το δεύτερο «ηλεκτρόνιο-θεατή» (spectator electron).

Η νέα αυτή πρόταση δεν υποστηρίζει ότι οι χημικοί δεσμοί αποτελούνται κυριολεκτικά από ένα μόνο ηλεκτρόνιο. Τα δύο ηλεκτρόνια εξακολουθούν να υπάρχουν ως ζεύγος με αντίθετα spin, όπως προβλέπει η κβαντομηχανική. Εκείνο που αλλάζει είναι η λειτουργική συμμετοχή τους. Το ενεργό ηλεκτρόνιο αποδεσμεύεται μερικώς από το αρχικό του άτομο και αποεντοπίζεται ανάμεσα στα δύο άτομα του δεσμού, δημιουργώντας τη σταθεροποιητική αλληλεπίδραση. Αντίθετα, το δεύτερο ηλεκτρόνιο παραμένει κυρίως γύρω από το ένα άτομο, συμβάλλοντας ελάχιστα στην ίδια τη διαδικασία της σύνδεσης.

Για να διερευνήσουν αυτή την ασύμμετρη εικόνα του χημικού δεσμού, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν προηγμένες μεθόδους υπολογιστικής κβαντικής χημείας. Συνδύασαν τη θεωρία Γενικευμένου Δεσμού Σθένους (Generalized Valence Bond – GVB) με τεχνικές ανάλυσης πραγματικού χώρου, όπως η κατανομή της ηλεκτρονιακής πυκνότητας, οι δείκτες αποεντοπισμού (delocalization indices) και η ενεργειακή ανάλυση Interacting Quantum Atoms (IQA). Σε αντίθεση με την κλασική θεωρία



των μοριακών τροχιακών, οι μέθοδοι αυτές επιτρέπουν την απευθείας παρακολούθηση της κατανομής των ηλεκτρονίων στον πραγματικό χώρο, αποκαλύπτοντας λεπτομέρειες που παραμένουν κρυμμένες στις παραδοσιακές περιγραφές.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ασύμμετρη συμμετοχή των ηλεκτρονίων εμφανίζεται σε αρκετές διαφορετικές κατηγορίες χημικών δεσμών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σύμπλοκο αμμωνίας-βοράνιου (NH_3BH_3). Μέχρι σήμερα θεωρείται ότι το άτομο του αζώτου προσφέρει ένα ζεύγος ηλεκτρονίων στο βόριο. Η νέα ανάλυση, όμως, δείχνει ότι μόνο το ένα από τα δύο ηλεκτρόνια αποεντοπίζεται πραγματικά μεταξύ των δύο μορίων, ενώ το δεύτερο παραμένει κυρίως γύρω από το άζωτο. Παρόμοια εικόνα παρατηρήθηκε και στο υδρίδιο του λιθίου (LiH). Αν και η συμβατική περιγραφή θεωρεί ότι δύο ηλεκτρόνια συμμετέχουν στον δεσμό, οι υπολογισμοί δείχνουν ότι μόνο το ένα δρα ως πραγματικός σταθεροποιητικός παράγοντας. Η συμπεριφορά αυτή φαίνεται να είναι ιδιαίτερα έντονη σε δεσμούς μεταξύ ατόμων με μεγάλη διαφορά ηλεκτραρνητικότητας, σε έντονα πολωμένα μόρια, αλλά και σε σύμπλοκα όπου η κατανομή του ηλεκτρικού φορτίου είναι εξαιρετικά ασύμμετρη. Στις περιπτώσεις αυτές, η κλασική αναπαράσταση των δεσμών με μία απλή γραμμή Lewis δεν αποδίδει με ακρίβεια την πραγματική ηλεκτρονική δομή.

Η σημασία της ανακάλυψης εκτείνεται πέρα από τη θεωρητική χημεία. Εάν η ασύμμετρη αυτή κατανομή αποδειχθεί γενικό χαρακτηριστικό πολλών μορίων, θα μπορούσε να επηρεάσει σημαντικά την κατανόηση της χημικής δραστηριότητας, των μηχανισμών αντίδρασης, της κατάλυσης και της φωτοχημείας. Η γνώση του ποιο ηλεκτρόνιο είναι πραγματικά ενεργό στον δεσμό μπορεί να οδηγήσει σε ακριβέστερες προβλέψεις σχετικά με το ποιοι δεσμοί θα σπάσουν πρώτοι κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντίδρασης ή πώς θα συμπεριφερθούν

πολύπλοκα υλικά κατά την αλληλεπίδρασή τους με το φως. Παράλληλα, η νέα αυτή προσέγγιση μπορεί να συμβάλει στον πιο αποτελεσματικό σχεδιασμό καταλυτών, νέων λειτουργικών υλικών και μορίων με ειδικές ηλεκτρονικές ιδιότητες. Αντί να θεωρείται ότι όλα τα ηλεκτρόνια ενός δεσμού συμμετέχουν ισότιμα, οι ερευνητές ίσως χρειαστεί να εστιάζουν πλέον στο ηλεκτρόνιο που πραγματικά καθορίζει τη χημική συμπεριφορά του συστήματος.

Βεβαίως, οι ίδιοι οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση. Η εργασία βασίζεται σε προηγμένες θεωρητικές και υπολογιστικές προσεγγίσεις και θα πρέπει να επιβεβαιωθεί με επιπλέον υπολογισμούς αλλά και, όπου είναι δυνατόν, με πειραματικές τεχνικές υψηλής ακρίβειας. Ήδη η μελέτη έχει προκαλέσει έντονο ενδιαφέρον στην κοινότητα της θεωρητικής χημείας. Ορισμένοι επιστήμονες θεωρούν ότι προσφέρει μια περισσότερο ενοποιημένη εικόνα των ομοιοπολικών, δοτικών και ιοντικών δεσμών, ενώ άλλοι εκτιμούν ότι θα απαιτηθούν περισσότερα δεδομένα πριν αναθεωρηθούν τα καθιερωμένα πανεπιστημιακά εγχειρίδια. Σε κάθε περίπτωση, η νέα αυτή εργασία υπενθυμίζει ότι ακόμη και οι πιο θεμελιώδεις έννοιες της Χημείας δεν είναι αμετάβλητες. Περισσότερο από εκατό χρόνια μετά τη διατύπωση της θεωρίας του Lewis, ο χημικός δεσμός εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο ενεργού έρευνας και νέων ερμηνειών. Η εικόνα του ισοδύναμου ζεύγους ηλεκτρονίων, που για δεκαετίες θεωρούνταν δεδομένη, ίσως αποδειχθεί μια χρήσιμη αλλά απλουστευμένη προσέγγιση μιας πολύ πιο σύνθετης κβαντικής πραγματικότητας. Αν οι μελλοντικές μελέτες επιβεβαιώσουν τα νέα ευρήματα, η βασική μονάδα της χημικής σύνδεσης ενδέχεται να μην είναι πάντοτε ένα ισοδύναμο ζεύγος ηλεκτρονίων, αλλά ένα ζεύγος στο οποίο μόνο το ένα ηλεκτρόνιο αναλαμβάνει τον πρωταγωνιστικό ρόλο.

Πηγές

D. Barrena-Espés, E. Francisco, Á. Martín Pendás, *A one-electron perspective on dative and ionic bonding*, *Chemical Science* (2026).

Frankie Macpherson, *One-electron bonds may be more common than chemists thought*, *Chemistry World* (2026)

Τελικά ο χρυσός σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

Για περισσότερο από έναν αιώνα, οι δεσμοί υδρογόνου αποτελούν έναν από τους θεμελιώδεις πυλώνες της χημείας. Από τις μοναδικές ιδιότητες του νερού και τη σταθερότητα του DNA έως τη δομή των πρωτεϊνών και τον σχεδιασμό νέων φαρμάκων, οι δεσμοί αυτοί διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο σε αμέτρητα φυσικά και χημικά φαινόμενα. Η κλασική αντίληψη θέλει το άτομο του υδρογόνου, όταν είναι συνδεδεμένο με έντονα ηλεκτραρνητικά στοιχεία όπως το οξυγόνο, το άζωτο

ή το φθόριο, να αλληλεπιδρά με ένα δεύτερο ηλεκτραρνητικό άτομο που διαθέτει ελεύθερο ζεύγος ηλεκτρονίων.

Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, η εικόνα αυτή έχει διευρυνθεί σημαντικά. Χάρη στην πρόοδο της πειραματικής και υπολογιστικής χημείας, έχει καταστεί σαφές ότι η έννοια του δεσμού υδρογόνου δεν περιορίζεται αποκλειστικά στα «κλασικά»



στοιχεία. Μια πρόσφατη μελέτη έρχεται να προσθέσει ακόμη έναν απρόσμενο πρωταγωνιστή στη λίστα και αυτός είναι ο χρυσός.

Ερευνητές απέδειξαν ότι ο χρυσός μπορεί να λειτουργήσει ως πραγματικός δέκτης δεσμού υδρογόνου και ότι οι αλληλεπιδράσεις αυτές παρουσιάζουν ισχύ συγκρίσιμη με άλλους καθιερωμένους δεσμούς υδρογόνου που διδάσκονται στα πανεπιστημιακά συγγράμματα. Η ανακάλυψη αυτή δεν αποτελεί απλώς μια ενδιαφέρουσα εξαίρεση, αλλά συμβάλλει στη βαθύτερη κατανόηση της φύσης των ασθενών διαμοριακών αλληλεπιδράσεων.

Η παραδοσιακή θεώρηση των δεσμών υδρογόνου βασίζεται στις εργασίες του Linus Pauling και άλλων πρωτοπόρων του 20ού αιώνα. Σύμφωνα με αυτή, ο δεσμός σχηματίζεται όταν ένα υδρογόνο που είναι ομοιοπολικά συνδεδεμένο με ένα ισχυρά ηλεκτραρνητικό άτομο αλληλεπιδρά με ένα δεύτερο ηλεκτραρνητικό άτομο.

Με την πάροδο του χρόνου, όμως, πλήθος πειραματικών δεδομένων αποκάλυψε ότι δεσμοί υδρογόνου μπορούν να συμμετέχουν και στοιχεία όπως το θείο, το σελήνιο, τα αλογόνα, ακόμη και ορισμένα μεταβατικά μέταλλα. Για τον λόγο αυτό, η IUPAC το 2011 υιοθέτησε έναν ευρύτερο ορισμό, σύμφωνα με τον οποίο δεσμός υδρογόνου είναι κάθε ελκτική αλληλεπίδραση μεταξύ ενός ατόμου υδρογόνου και ενός ατόμου ή ομάδας ατόμων που παρουσιάζει χαρακτηριστικά σχηματισμού δεσμού υδρογόνου, ανεξάρτητα από τη φύση του στοιχείου. Η νέα αυτή θεώρηση άνοιξε τον δρόμο για την αναζήτηση νέων κατηγοριών δεσμών υδρογόνου.

Ο χρυσός είναι γνωστός κυρίως για την ευγενή χημική του συμπεριφορά. Σε αντίθεση με στοιχεία όπως το οξυγόνο ή το άζωτο, δεν διαθέτει την υψηλή ηλεκτραρνητικότητα που πα-

ραδοσιακά απαιτείται για να λειτουργήσει ως δέκτης δεσμού υδρογόνου. Έτσι, όταν σε κρυσταλλικές δομές παρατηρούνταν μικρές αποστάσεις μεταξύ ατόμων χρυσού και υδρογόνου, οι περισσότεροι ερευνητές θεωρούσαν ότι επρόκειτο για τυχαίες επαφές λόγω της διάταξης των μορίων στον κρυσταλλό ή για ασθενείς δυνάμεις van der Waals.

Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν έναν συνδυασμό προηγμένων τεχνικών χαρακτηρισμού και θεωρητικών υπολογισμών. Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις μονοκρυστάλλων με περίθλαση ακτίνων X και νετρονίων, οι οποίες επέτρεψαν τον ακριβή προσδιορισμό των θέσεων των ατόμων υδρογόνου και χρυσού. Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν υπολογισμοί κβαντικής χημείας υψηλής ακρίβειας (Density Functional Theory και μετα-Hartree-Fock μέθοδοι), ενώ η φύση της αλληλεπίδρασης εξετάστηκε μέσω της Θεωρίας Ατόμων σε Μόρια (Quantum Theory of Atoms in Molecules – QTAIM) και της Ανάλυσης Φυσικών Τροχιακών Δεσμού (Natural Bond Orbital Analysis – NBO). Οι μέθοδοι αυτές επέτρεψαν να εντοπιστούν κρίσιμα σημεία ηλεκτρονιακής πυκνότητας ανάμεσα στον χρυσό και το υδρογόνο, χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός πραγματικού δεσμού υδρογόνου. Παράλληλα, αναλύσεις έδειξαν ότι η αλληλεπίδραση δεν είναι απλώς ηλεκτροστατική αλλά περιλαμβάνει και σημαντική τροχιακή συνεισφορά, όπως συμβαίνει στους κλασικούς δεσμούς υδρογόνου.

Ένα από τα πλέον εντυπωσιακά αποτελέσματα της μελέτης ήταν η ισχύς των δεσμών. Οι υπολογισμοί έδειξαν ότι οι δεσμοί Au...H παρουσιάζουν ενέργειες αρκετών kcal/mol, τιμές που βρίσκονται στο ίδιο εύρος με πολλούς δεσμούς υδρογόνου μεταξύ θείου, αλογόνων ή άλλων «μη συμβατικών» δεκτών. Η σημασία αυτού του ευρήματος είναι μεγάλη, διότι

καταδεικνύει ότι ο χρυσός δεν συμμετέχει απλώς σε ασθενείς διαμοριακές επαφές, αλλά σχηματίζει αλληλεπιδράσεις με πραγματική χημική σημασία, ικανές να επηρεάσουν τη δομή και τη σταθερότητα μοριακών συστημάτων.

Η ιδιαίτερη χημική συμπεριφορά του χρυσού αποδίδεται εδώ και δεκαετίες στα σχετικιστικά φαινόμενα. Επειδή το άτομο του χρυσού διαθέτει μεγάλο πυρηνικό φορτίο, τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στιβάδων κινούνται με ταχύτητες που προσεγγίζουν σημαντικό ποσοστό της ταχύτητας του φωτός. Ως αποτέλεσμα, εμφανίζονται διορθώσεις που προβλέπει η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας.

Οι διορθώσεις αυτές προκαλούν συστολή των 6s τροχιακών και μεταβολή της ενέργειας των 5d τροχιακών, γεγονός που εξηγεί γιατί ο χρυσός εμφανίζει το χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα, γιατί ο υδράργυρος είναι υγρός σε θερμοκρασία δωματίου και γιατί ο χρυσός παρουσιάζει ασυνήθιστες χημικές ιδιότητες. Η νέα εργασία υποδηλώνει ότι οι ίδιες σχετικιστικές επιδράσεις ευνοούν και τον σχηματισμό δεσμών υδρογόνου με συμμετοχή του χρυσού.

Οι ενώσεις χρυσού χρησιμοποιούνται ευρέως ως ομογενείς καταλύτες στην οργανική σύνθεση. Πολλοί καταλυτικοί μηχανισμοί περιλαμβάνουν βραχύβια ενδιάμεσα σύμπλοκα, των οποίων η σταθερότητα εξαρτάται από λεπτές ενεργειακές διαφορές. Η αναγνώριση των δεσμών Au...H ως πραγματικών δεσμών υδρογόνου μπορεί να οδηγήσει σε αναθεώρηση των θεωρητικών μοντέλων που περιγράφουν τους μηχανισμούς αυτούς, επιτρέποντας ακριβέστερο σχεδιασμό καταλυτών με μεγαλύτερη εκλεκτικότητα και απόδοση.

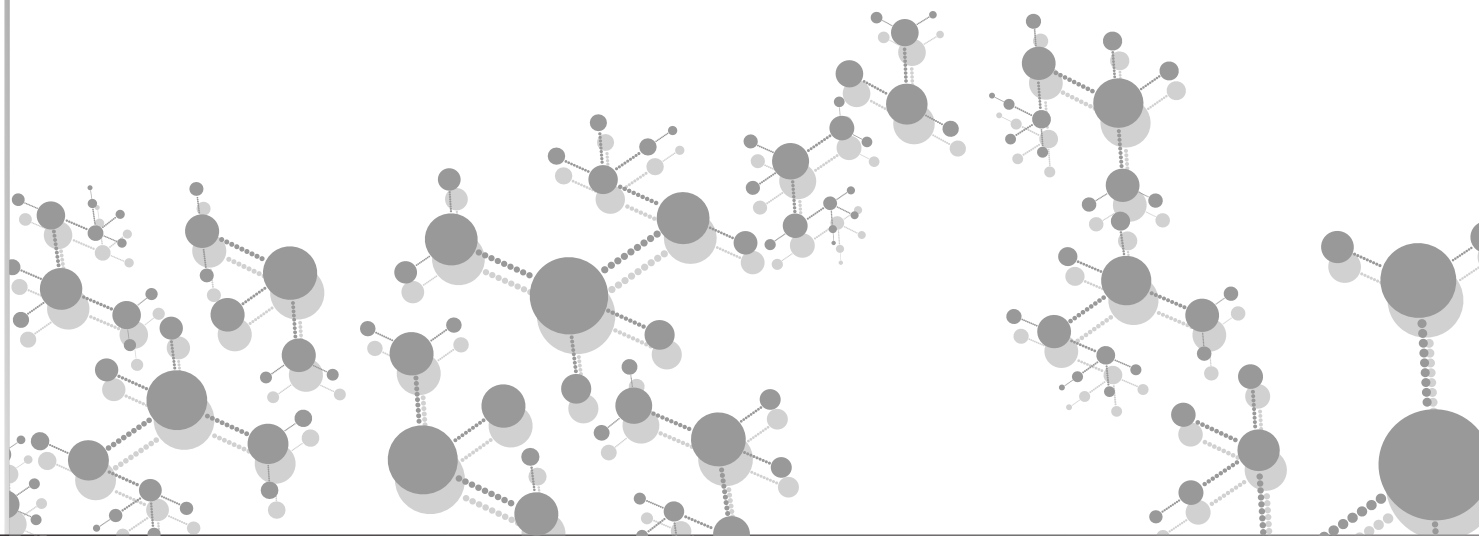
Οι δεσμοί υδρογόνου αποτελούν βασικό εργαλείο στον σχε-

διασμό υπερμοριακών δομών. Εάν ο χρυσός μπορεί να συμμετέχει σε τέτοιες αλληλεπιδράσεις, τότε ανοίγονται νέες δυνατότητες για την ανάπτυξη μεταλλο-οργανικών πλεγματών (MOFs), λειτουργικών υλικών, μοριακών αισθητήρων και νανοδομών με ελεγχόμενη αυτοοργάνωση. Παράλληλα, η νέα γνώση μπορεί να βελτιώσει τα υπολογιστικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη σχεδίαση υλικών, καθώς πολλές υπάρχουσες προσεγγίσεις δεν λαμβάνουν υπόψη τέτοιες αλληλεπιδράσεις.

Η ανακάλυψη δεν καταρρίπτει τη θεωρία των δεσμών υδρογόνου. Αντίθετα, επιβεβαιώνει ότι η επιστήμη εξελίσσεται καθώς αποκτούμε εργαλεία μεγαλύτερης ακρίβειας. Η σύγχρονη Χημεία δεν βασίζεται πλέον αποκλειστικά στην ηλεκτρωνικότητα για την περιγραφή των δεσμών υδρογόνου. Η ηλεκτρονιακή πυκνότητα, η πολωσιμότητα, οι τροχιακές αλληλεπιδράσεις και τα σχετικιστικά φαινόμενα παίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο. Ο χρυσός, ένα στοιχείο που επί δεκαετίες θεωρούνταν απίθανος υποψήφιος για τέτοιου είδους αλληλεπιδράσεις, αποδεικνύεται σήμερα ότι μπορεί να συμμετέχει σε δεσμούς υδρογόνου συγκρίσιμης ισχύος με άλλους ήδη αποδεκτούς «μη συμβατικούς» δεσμούς. Η εργασία αυτή αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του πώς οι εξελίξεις στην υπολογιστική χημεία και στις τεχνικές χαρακτηρισμού οδηγούν σε αναθεώρηση ακόμη και εννοιών που θεωρούνταν πλήρως εδραιωμένες. Ταυτόχρονα, υπενθυμίζει ότι οι ασθενείς διαμοριακές αλληλεπιδράσεις εξακολουθούν να κρύβουν εκπλήξεις, με πιθανές εφαρμογές στην κατάλυση, στη χημεία υλικών και στον ορθολογικό σχεδιασμό νέων μοριακών συστημάτων.

Πηγές

1. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). *Definition of the Hydrogen Bond*. Pure and Applied Chemistry, 2011, 83(8), 1637–1641.
2. Desiraju, G. R., Steiner, T. *The Weak Hydrogen Bond*. Oxford University Press.
3. Bader, R. F. W. *Atoms in Molecules: A Quantum Theory*. Oxford University Press.
4. Weinhold, F., Landis, C. *Discovering Chemistry with Natural Bond Orbitals*. Wiley.
5. Chemistry World. *Gold hydrogen bonds found to be as strong as other similar textbook interactions* (2026).



Νέες προσεγγίσεις χημειοθεραπειών του λεμφώματος

Σκαφίδα Γεωργία¹, Τζιωρτζιώτη Δήμητρα¹, Μαυρομούστακος Θωμάς¹

¹ Τμήμα Χημείας, ΕΚΠΑ

Το άρθρο αφιερώνεται στη σύζυγο μου Χημικό Μαρίνα Μαυρομούστακου η οποία απεβίωσε πρόσφατα αφού ασθένησε από λέμφωμα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα λεμφοκύτταρα διακρίνονται ανάλογα με τη δράση τους σε δύο κατηγορίες: τα Β- λεμφοκύτταρα και τα Τ- λεμφοκύτταρα. Τα πρώτα είναι υπεύθυνα για την παραγωγή αντισωμάτων, ενώ τα δεύτερα εμπλέκονται σε ανοσολογικές αντιδράσεις. Η φυσιολογική λειτουργία τους βασίζεται στην ισορροπία μεταξύ κυτταρικού πολλαπλασιασμού, διαφοροποίησης και απόπτωσης, διεργασίες που ρυθμίζονται από πολυπλοκά γονίδια. Επιπλοκές και διαταραχές στους μηχανισμούς αυτούς οδηγούν συχνά σε παθολογικές καταστάσεις, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται το λέμφωμα.

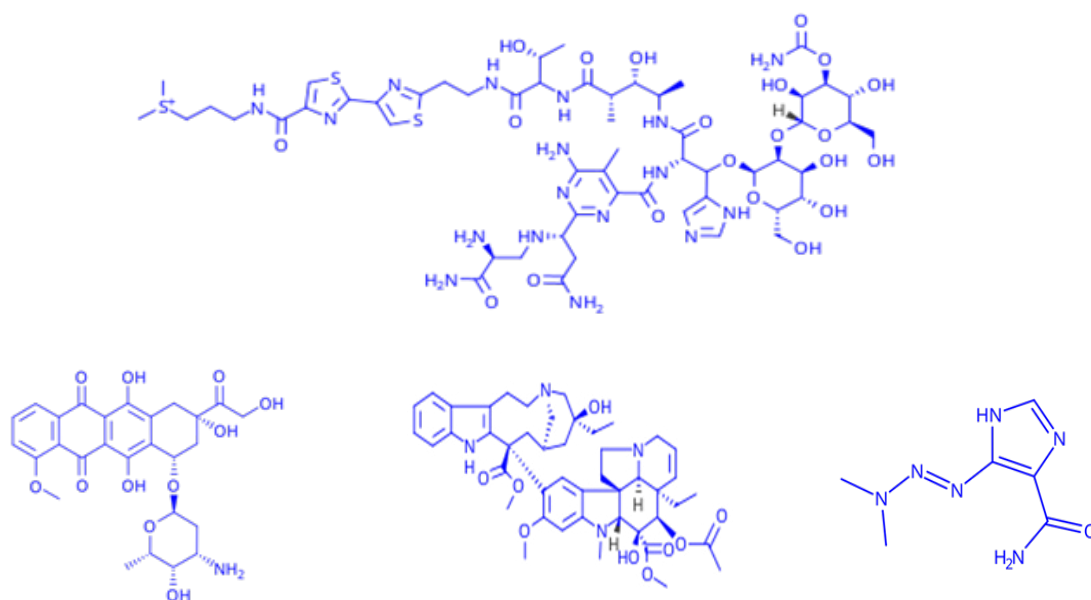
ΛΕΜΦΩΜΑ

Τα λεμφώματα είναι ετερογενείς ομάδες κακοηθειών που προκύπτουν από τον άτυπο πολλαπλασιασμό των λεμφοκυττάρων σε διαφορετικά στάδια ωρίμανσης. Το λέμφωμα αναπαριστά περίπου το 5% των κακοηθειών και διακρίνεται σε δύο τύπους: το λέμφωμα Hodgkin, που χαρακτηρίζεται από την παρουσία των Reed-Sternberg κυττάρων και το μη-Hodgkin λέμφωμα, που περιλαμβάνει πολλούς υπότυπους με διαφορετική βιολογική συμπεριφορά. Η μοριακή κατανόηση

των υποτύπων είναι καθοριστική για τη διάγνωση και την επιλογή θεραπείας, οδηγώντας στην ανάπτυξη στοχευμένων και λιγότερο τοξικών προσεγγίσεων.^[1]

Φάρμακα που χρησιμοποιούνται στη χημειοθεραπεία του Hodgkin λεμφώματος

- Μπλεομυκίνη:** αντικαρκινικός αντιβιοτικός παράγοντας, που σχηματίζει σύμπλοκα με Fe^{2+} και, παρουσία O_2 , παράγει ελεύθερες ρίζες που προκαλούν θραύσεις DNA. Η αλληλεπίδραση με το γενετικό υλικό οφείλεται στα αρωματικά και ετεροκυκλικά τμήματά της, τα οποία διευκολύνουν την πρόσδεση της στη μικρή αλυσίδα του DNA και επιτρέπουν την τοπική δράση των παραγόμενων ελεύθερων ριζών.^[1]
- Δοξορουβικίνη:** ανθρακυκλίνη με αντικαρκινική δράση^[1]. Χαρακτηρίζεται από επίπεδη αρωματική τετρακυκλική δομή, η οποία επιτρέπει την παρεμβολή της μεταξύ των ζευγών βάσεων της διπλής έλικας του DNA^[2], γεγονός που παρεμποδίζει την αντιγραφή του DNA και οδηγεί σε αναστολή της σύνθεσης πρωτεϊνών. Η παρουσία της κινονοειδούς ομάδας στο μόριο της συμβάλλει στον σχηματισμό



Εικόνα 1: Οι δομές της μπλεομυκίνης (άνω), δοξορουβικίνης (κάτω, αριστερά), βινβλαστίνης (κάτω, μεσαία) και καρβαζίνης (κάτω δεξιά)

ελεύθερων ριζών οξυγόνου, οι οποίες προκαλούν οξειδωτικό στρες και κυτταρική βλάβη.

3. Βινβλαστίνη: αλκαλοειδές φυτικής προέλευσης με αντικαρκινική δράση.^[1] Συγκεκριμένα, η στερεοχημική της δομή επιτρέπει εκλεκτική δέσμευση στη β-τουμπουλίνη, αναστέλλοντας τον πολυμερισμό των μικροσωληνίσκων και οδηγώντας σε διακοπή της μίτωσης στο στάδιο της μετάφασης ^[2].

4. Δακαρβαζίνη: παράγωγο τριαζίνης με αντικαρκινική δράση. Ειδικότερα, προκαλεί αλκυλίωση και διασταύρωση (cross-linking) του DNA κατά τη διάρκεια του κυτταρικού κύκλου, οδηγώντας σε διαταραχή της λειτουργίας του. Οι βλάβες αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την επαγωγή της απόπτωσης των καρκινικών κυττάρων. Η ισχυρή δράση της, οφείλεται στο ιμιδαζόλιο^[2], το οποίο προσφέρει σταθερότητα στο μόριο, αλλά και στη μέθυλοκαρβαμιδική ομάδα, που είναι υπεύθυνη για την αλκυλιωτική δράση (Εικόνα 1).

5. ABVD. Το σχήμα ABVD αποτελεί συνδυασμό των παραπάνω τεσσάρων φαρμάκων και χρησιμοποιείται ευρέως ως θεραπεία πρώτης γραμμής στην περίπτωση του Hodgkin λεμφώματος ^[1].

Φάρμακα που χρησιμοποιούνται στη χημειοθεραπεία του non-Hodgkin λεμφώματος

I.R-CHOP

Το R-CHOP αποτελεί το πλέον καθιερωμένο θεραπευτικό σχήμα για την αντιμετώπιση επιθετικών τύπων μη-Hodgkin

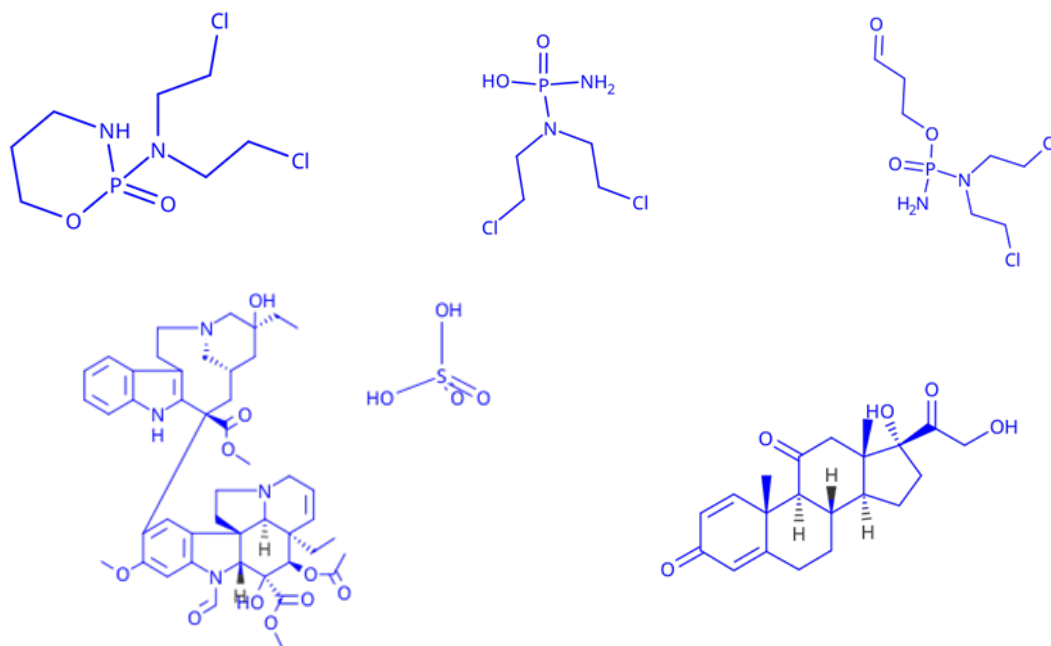
λεμφώματος. Η υψηλή αποτελεσματικότητα και η ευρεία κλινική χρήση του οφείλονται στον συνδυασμό πέντε δραστικών ουσιών με συμπληρωματικούς μηχανισμούς δράσης: ριτουξιμάμμη, κυκλοφωσφαμίδη, δοξορουβικίνη (ως υδροχλωρικό άλας), βινκριστίνη (ως θειικό άλας) και πρεδνιζόνη.^[1]

1. Ριτουξιμάμμη: χιμαιρικό μονοκλωνικό αντίσωμα που στοχεύει το αντιγόνο CD20, το οποίο εκφράζεται περίπου στο 95% των Β-καρκινικών κυττάρων. Όταν εισέλθει στον οργανισμό, αναγνωρίζει το αντιγόνο-στόχο, προσδένεται στον υποδοχέα του και επάγει απόπτωση.^[3]

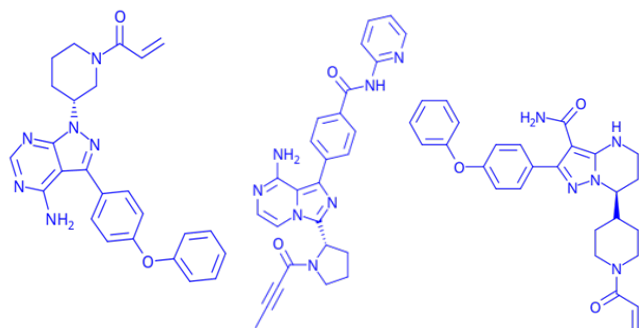
2. Κυκλοφωσφαμίδη: συνθετικός αλκυλιωτικός παράγοντας, ο οποίος λειτουργεί ως πρόδρομο φάρμακο. Το προϊόν του μεταβολισμού της (μυστάρδα φωσφοραμίδης) σχηματίζει διασταυρωμένους δεσμούς με τις βάσεις του DNA, εμποδίζοντας έτσι τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό και οδηγώντας σε απόπτωση.^[1]

3. Βινκριστίνη: φυτικό αλκαλοειδές, που χορηγείται ως θειικό άλας και παρουσιάζει ισχυρή αντιμιτωτική δράση. Συνδέεται αντιστρέψιμα με τη β-τουμπουλίνη, αναστέλλοντας τον πολυμερισμό των μικροσωληνίσκων και τη δημιουργία της μιτωτικής ατράκτου και οδηγώντας σε διακοπή του κυτταρικού κύκλου. ^[1]

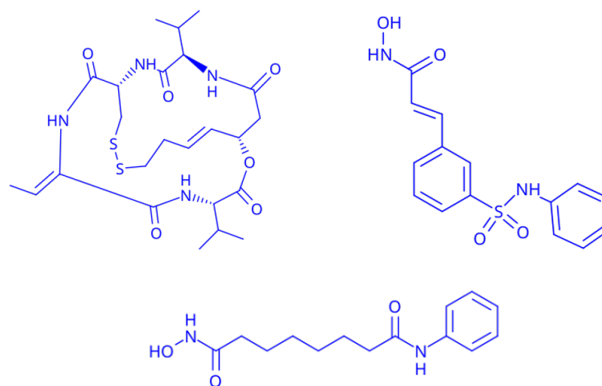
4. Πρεδνιζόνη: συνθετικό γλυκοκορτικοειδές με αντικαρκινικές ιδιότητες. Η πρεδνιζόνη μειώνει τον αριθμό των κυκλοφορούντων λεμφοκυττάρων, αναστέλλει την παραγωγή κυτοκινών και επάγει απόπτωση σε ευαίσθητα καρκινικά κύτταρα (Εικόνα 2) ^[1]



Εικόνα 2: (άνω αριστερά) κυκλοφωσφαμίδη (άνω μεσαία) ιφωσφαμίδη (άνω δεξιά) μουστάρδα φωσφοραμίδης (μεσαία) θειική βινκριστίνη (κάτω αριστερά) πρεδνιζόνη (κάτω δεξιά)



Εικόνα 3: (αριστερά) ιμπρουτινίμη (μεσαία) ακαθαμπρουτινίμη (δεξιά) ζανουμπρουτινίμη



Εικόνα 4: (αριστερά) ρομιδεψίνη (δεξιά) βελινοστάτη (κάτω) βορινοστάτη

Σύγχρονες Θεραπείες

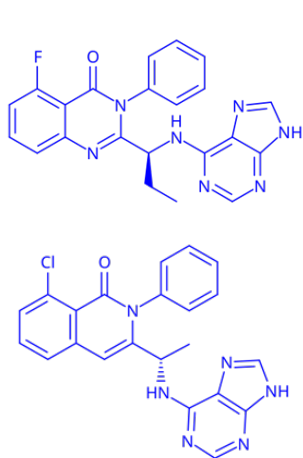
I. Αναστολείς της BTK (ιμπρουτινίμη, ζανουμπρουτινίμη, ακαθαμπρουτινίμη): αναστέλλουν την τυροσινική κινάση Bruton, βασικό στοιχείο της σηματοδότησης BCR.^[4] Δεσμεύονται ομοιοπολικά στο Cys481, προκαλώντας μη αναστρέψιμη αναστολή και οδηγώντας σε απόπτωση (Εικόνα 3).^[5,6]

II. Αναστολείς HDAC (ρομιδεψίνη, βελινοστάτη, βορινοστάτη): Οι αποακετυλάσες των ιστονών (HDACs) είναι μια ομάδα ενζύμων που απομακρύνουν τις ακετυλομάδες από τις θυσίνες των ιστονών, με αποτέλεσμα την συμπύκνωση της χρωματίνης και την καταστολή της μεταγραφής.^[6] Οι αναστολείς HDAC φέρουν υδροξυαμικό τμήμα, που συμπλέκει το Zn^{2+} στο καταλυτικό κέντρο του ενζύμου, οδηγώντας σε υπερακετυλίωση ιστονών και ενεργοποίηση αντικαρκινικών γονιδίων.^[7] Μέσω αυτού του μηχανισμού, αναστέλλεται ο κυτταρικός πολλαπλασιασμός και επάγεται η απόπτωση (Εικόνα 4).

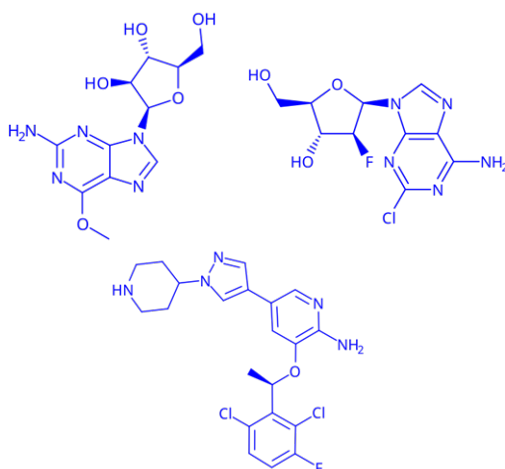
III. Αναστολείς της PI3K (ιδελασιόμη, δουβελιόμη): Η PI3K είναι ένα ένζυμο, το οποίο συμμετέχει στη σηματοδότηση για την ανάπτυξη και την επιβίωση των καρκινικών κυττάρων. Η αναστολή του ενζύμου οδηγεί σε διαταραχή των παραπάνω βιοχημικών οδών, με αποτέλεσμα την επαγωγή του κυτταρικού θανάτου, δηλαδή της απόπτωσης (Εικόνα 5).^[7]

IV. Αναστολείς της POLA (νελαραβίνη, κλοφαραβίνη, κριζοτινίμη): διαταράσσουν την αντιγραφή του γενετικού υλικού, οδηγώντας σε παρεμπόδιση του κυτταρικού πολλαπλασιασμού και τελικά σε απόπτωση (Εικόνα 6).^[6]

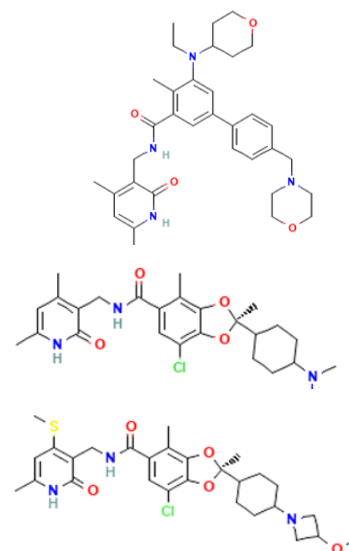
V. Αναστολείς της EZH2 (ταζεμετοστάτη, βαλεμετοστάτη, τουλμιμετοστάτη): Η δυσρύθμιση των επιγενετικών μηχανισμών, και ιδιαίτερα οι ανώμαλες μεθυλίωσεις θυσίνης στις ιστονικές πρωτεΐνες, αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα της ογκογένεσης και της εξέλιξης των καρκινικών όγκων. Οι μεθυλοτρανσφεράσες θυσίνης (PKMTs) καταλύουν τη μεταφορά ομάδων μεθυλίου σε ιστόνες, δημιουργώντας σήματα που μπορούν να ενεργοποιήσουν ή να κατα-



Εικόνα 5: (πάνω) ιδελασιόμη (κάτω) δουβελιόμη



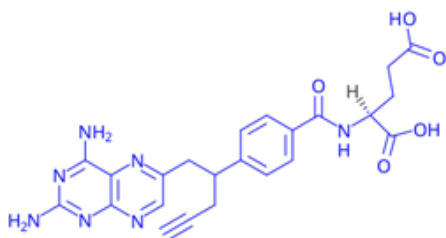
Εικόνα 6: (αριστερά) νελαραβίνη (δεξιά) κλοφαραβίνη (κάτω) κριζοτινίμη



Εικόνα 7: (Πάνω) ταζεμετοστάτη, (μεσαία) βαλεμετοστάτη, (κάτω) τουλμιμετοστάτη

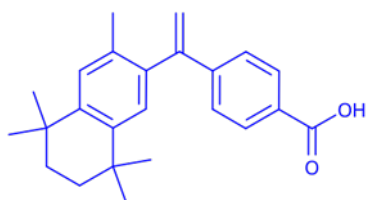
στέλλουν τη μεταγραφή. Κεντρικό ρόλο σε αυτή τη διεργασία παρουσιάζει το σύμπλοκο καταστολής Polycomb 2 (PRC2), το οποίο καταστέλλει τη γονιδιακή έκφραση. Η EZH2, ως καταλυτική υπομονάδα του PRC2, παρουσιάζει μεταλλάξεις ή υπερέκφραση σε πλήθος καρκίνων (Εικόνα 7).^[8]

VI.Προλατρεξάτη: Δρα ως ισχυρός αναστολέας της διυδροφιλικής ρεδοκτάσης (DHFR) (Εικόνα 8).^[9]



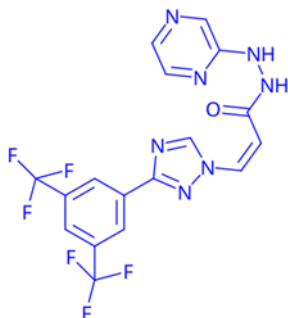
Εικόνα 8: προλατρεξάτη

VII.Βηξαροτένιο: Δρα ειδικά ως αγωνιστής των υποδοχέων ρετινοειδούς X (*Retinoid X receptors, RXRs*), οι οποίοι λειτουργούν ως μεταγραφικοί παράγοντες^[2]. Η ενεργοποίηση των RXRs από το βηξαροτένιο οδηγεί σε κυτταρική διαφοροποίηση, μειωμένο κυτταρικό πολλαπλασιασμό και τελικά σε απόπτωση (Εικόνα 9).^[1]



Εικόνα 9: βηξαροτένιο

VIII.Σελινεξόρη: αναστολέας της πρωτεΐνης XPO1, η οποία μεταφέρει πρωτεΐνες από τον πυρήνα στο κυτταρόπλασμα και αντίστροφα. Στην περίπτωση του λεμφώματος, παρατηρείται αυξημένη έκφραση της πρωτεΐνης και η αναστολή της οδηγεί σε υπερέκφραση γονιδίων που καταστέλλουν όγκους (Εικόνα 10).^[1]



Εικόνα 10: σελινεξόρη

Υπάρχουν και άλλες ενώσεις όπως η **βενδαμουστίνη**: παράγωγο μουστάρδας αζώτου με αλκυλιωτική δράση. Όταν εισέλθει στον οργανισμό προκαλεί διασταυρωμένους δεσμούς στο DNA, οδηγώντας σε αναστολή της σύνθεσης DNA, RNA και πρωτεϊνών και τελικά σε απόπτωση. Ο μηχανισμός της δράσης της οφείλεται στη χημική της δομή, η οποία έναν αλκυλιωτικό παράγοντα, έναν δακτύλιο βενζιμιδαζολίου, που δρα ως ανάλογο πουρίνης, και μια πλευρική αλυσίδα βουτυρικού οξέος^[1]. Επίσης η **δαριναπαρσίνη**: Όταν εισέλθει στον οργανισμό, διαταράσσει τη λειτουργία των μιτοχονδρίων, οδηγεί στον σχηματισμό αντιδραστικών μορφών οξυγόνου (ROS) και ρυθμίζει την ενδοκυτταρική σηματοδότηση. Κατ' αυτό τον τρόπο, προκαλεί απόπτωση και παρουσιάζει αντικαρκινική δράση^[6].

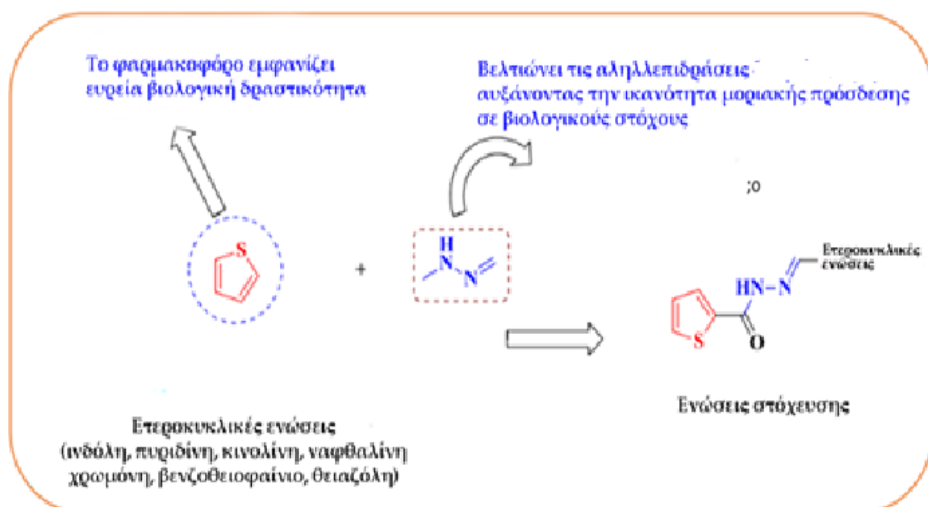
MDR

Η πολυφαρμακευτική αντοχή MDR (Multidrug Resistance) χαρακτηρίζεται από την ικανότητα των καρκινικών κυττάρων να αναπτύσσουν αντίσταση σε πολλά και διαφορετικά φάρμακα, ακόμα και όταν αυτά έχουν διαφορετικό μηχανισμό δράσης. Οι κύριοι μηχανισμοί παρουσιάζουν απομάκρυνση των φαρμάκων από το εσωτερικό των κυττάρων αλλά και παρεμπόδιση της εισόδου των φαρμάκων εντός των κυττάρων^[10]. Η πολυφαρμακευτική αντοχή είναι ιδιαίτερα σημαντική και η κατανόηση της αποτελεί κρίσιμο σημείο για την ανάπτυξη νέων χημειοθεραπευτικών στρατηγικών, όπως οι στοχευμένοι αναστολείς και τα PROTACs, που μπορούν να μειώσουν ακόμα και να εξαλείψουν την αντοχή στα φάρμακα.

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΥΠΟΨΗΦΙΟΙ

Θα αναφέρουμε επιλεκτικά κάποιες ενώσεις:

- Η ενσωμάτωση διαφόρων ετεροκυκλικών υποκαταστατών σε σκελετούς **θειοφαινίου-υδραζιδίου** βελτιώνει τη βιοδραστικότητα και τις αντικαρκινικές τους ιδιότητες.^[10] (Εικόνα 11)
- **Σύμπλοκα χαλκού:** προκαλούν απόπτωση μέσω μηχανισμών που εξαρτώνται από τις ROS (οξειδοαναγωγές).^[11]
- **Κουρκουμίνη**^[12]
- **PROTACs 3^{ης} γενιάς:** ολοκληρωτική καταστροφή των πρωτεϊνών-στόχων^[10]
- **Αναστολείς MALT-1**^[8]
- **Μεταφορείς ABC:** μεταφέρουν τις δραστικές των φαρμάκων, από το εσωτερικό στο εξωτερικό των κυττάρων και αντίστροφα.^[13]
- **Πύρρολο-παράγωγα**^[14]
- **CAR-T κύτταρα:** καινοτόμος μορφή κυτταρικής ανοσοθεραπείας.
- **Παράγωγα κινολινών και κουμαρινών**^[15]
- **AMPs**
- **Αναστολείς της Mcl-1**^{[16],[17]}
- **Ενώσεις Fesik:** τρικυκλικοί ινδολικοί αναστολείς της Mcl-1



Εικόνα 11: Στρατηγική σύνθεσης των νέων παραγώγων θειοφαινίου [10]

Συμπεράσματα

Το λέμφωμα αποτελεί μία σύνθετη και ετερογενή κατηγορία αιματολογικών κακοηθειών, η οποία παρουσιάζει σημαντικές διαφορές ως προς τη μοριακή παθογένεια, τη βιολογική συμπεριφορά και την ανταπόκριση στη θεραπεία. Η παραδοσιακή αντιμετώπιση του, βασίστηκε κυρίως στη χρήση κλασικών χημειοθεραπευτικών σχημάτων, τα οποία δρουν μη εκλεκτικά στα ταχέως διαιρούμενα κύτταρα. Παρότι οι προσεγγίσεις αυτές έχουν συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της επιβίωσης των ασθενών, συνοδεύονται συχνά από σοβαρή συστηματική τοξικότητα, η οποία περιορίζει τη δοσολογία, τη διάρκεια της θεραπείας και τελικά την ποιότητα ζωής των ασθενών.

Η πρόοδος της χημείας, σε συνδυασμό με τη μοριακή βιολογία και τη φαρμακολογία, επέτρεψε τη βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών που συμμετέχουν στη καρκινογένεση των λεμφωμάτων. Η αποκωδικοποίηση κρίσιμων σηματοδοτικών οδών, ενζυμικών στόχων και γενετικών ανωμαλιών οδήγησε στον ορθολογικό σχεδιασμό νέων χημειοθεραπευτικών και στοχευμένων παραγόντων. Οι σύγχρονες αυτές θεραπευτικές προσεγγίσεις χαρακτηρίζονται από αυξημένη εκλεκτικότητα έναντι των καρκινικών κυττάρων, γεγονός που μεταφράζεται σε μειωμένη επίδραση στους φυσιολογικούς ιστούς και συνεπώς σε χαμηλότερο προφίλ τοξικότητας.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζουν οι μικρομοριακοί αναστολείς ενζύμων και πρωτεϊνών, όπως οι αναστολείς της τυροσινικής κινάσης Bruton (BTK), της φωσφατιδυλινοσιτόλης-3-κινάσης (PI3K) και των αποακετυλασών των ιστονών (HDAC)^[18]. Τα φάρμακα αυτά σχεδιάστηκαν βάσει συγκεκριμένων δομικών χαρακτηριστικών, τα οποία επιτρέπουν εκλεκτική πρόσδεση στο καταλυτικό κέντρο των ενζύμων-στόχων. Η παρουσία λειτουργικών ομάδων, όπως υδροξυαμικά

τμήματα, ακρυλαμίδες και αρωματικά συστήματα, καθορίζει τόσο τον μηχανισμό δράσης, όσο και τη φαρμακοκινητική συμπεριφορά των ενώσεων, συμβάλλοντας στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και στη μείωση των ανεπιθύμητων παρενεργειών.

Παράλληλα, η ανάπτυξη βιολογικών παραγόντων, όπως τα μονοκλωνικά αντισώματα, επέτρεψε την άμεση στόχευση επιφανειακών αντιγόνων των καρκινικών λεμφοκυττάρων, περιορίζοντας περαιτέρω τη μη ειδική κυτταροτοξικότητα.

^[19] Η συνδυαστική χρήση αυτών των παραγόντων με παραδοσιακά χημειοθεραπευτικά σχήματα αποτελεί πλέον βασικό άξονα της σύγχρονης θεραπείας του λεμφώματος, καθώς επιτρέπει τη μείωση των δόσεων των κλασικών φαρμάκων χωρίς απώλεια της θεραπευτικής αποτελεσματικότητας.

Σημαντικό πλεονέκτημα των νέων χημειοθεραπευτικών προσεγγίσεων αποτελεί και η δυνατότητα εξατομίκευσης της θεραπείας, με βάση τα μοριακά και γενετικά χαρακτηριστικά κάθε ασθενούς. Η εξατομικευμένη αυτή στρατηγική όχι μόνο βελτιώνει την ανταπόκριση στη θεραπεία, αλλά συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση της τοξικότητας και των ανεπιθύμητων ενεργειών.

Συμπερασματικά, οι νέες προσεγγίσεις στη χημειοθεραπεία του λεμφώματος αντικατοπτρίζουν τη μετάβαση από τη μη εκλεκτική κυτταροτοξικότητα σε στοχευμένες και ορθολογικά σχεδιασμένες θεραπευτικές στρατηγικές με μειωμένη τοξικότητα^[20]. Ο καθοριστικός ρόλος της χημείας στον σχεδιασμό, τη βελτιστοποίηση και την αξιολόγηση των νέων φαρμάκων αναδεικνύεται ως κεντρικός πυλώνας της σύγχρονης ογκολογικής θεραπείας. Η συνεχής έρευνα στον τομέα αυτό αναμένεται να οδηγήσει στην ανάπτυξη ακόμη πιο εκλεκτικών και ασφαλών φαρμακευτικών παραγόντων, με τελικό στόχο τη βελτίωση τόσο της πρόγνωσης όσο και της ποιότητας ζωής των ασθενών με λέμφωμα.

Βιβλιογραφία

- [1] National Cancer Institute, *Lymphoma*, U.S. National Institute of Health
Available: <https://www.cancer.gov/types/lymphoma>
- [2] Gpatindia, *GPAT Preparation, Study material*
Available: <https://gpatindia.com/category/study-material/>
- [3] Suheil Albert Atallah-Yunes, Michael J. Robertson, *Current and emerging monoclonal antibodies, antibody-drug conjugates, and bispecific antibodies in treatment of lymphoma*, Leukemia Research Reports, 2022;17:100319
- [4] Xiaofeng Guo, Dongyan Yang, Zhijin Fan etc., *Discovery and structure-activity relationship of novel diphenylthiazole derivatives as BTK inhibitor with potent activity against B cell lymphoma cell lines*, European Journal of Medicinal Chemistry, 2019; 178: 167-181
- [5] Fansheng Rana, Yun Liua, Chen Wang, *Review of the development of BTK inhibitors in overcoming the clinical limitations of ibrutinib*, European Journal of Medicinal Chemistry, 2022; 229: 114009
- [6] Yuan-Yuan Guo, Jing-Yi Zhang etc., *Synthesis and application of small molecules approved for the treatment of lymphoma*, European Journal of Medicinal Chemistry, 2023; 261: 115835
- [7] Sk Abdul Amin, Samima Khatun, Shovanlal Gayen, Sanjib Das, Tarun Jha, *Are inhibitors of histone deacetylase 8 (HDAC8) effective in hematological cancers especially acute myeloid leukemia (AML) and acute lymphoblastic leukemia (ALL)?*, European Journal of Medicinal Chemistry, 2023; 258:115594
- [8] Meiyue Tang, Ming Gong, Xiaoliang Liu, etc., *Recent update on the development of EZH2 inhibitors and degraders for cancer therapy*, European Journal of Medicinal Chemistry, 2025; 299 118106
- [9] Medline Plus, *Drugs, Herbs and Supplements*, National Library of Medicine
Available: <https://medlineplus.gov/druginformation.html>
- [10] Raveendra Madhukar Bhat, Venkatraman Hegde, Akalesh Kumar Verma, Namram Sushindrajit Singh, Gangadhar V. Muddapur, Rangappa S. Keri, *Design, synthesis and anticancer evaluation of thiophene-based hydrazones: An integrated ADMET, DFT and molecular docking approach*, Journal of Molecular Structure, Elsevier, 2025; 1349, 143962
- [11] Sourav Nath, Vishal Kumar Deb, Nabajyoti Baildya etc., *Synthesis, structural analysis, computational investigation, and cytotoxicity studies of new copper(II) coordination polymers*, Journal of Molecular Structure, Elsevier, 2025; 1348, 143124
- [12] Vijayalakshmi Sudarshan, P. Shyamjith, Sujeet Kumar, etc., *Assessing the anti-leukemic efficacy of a curcuminoid in cellular and animal models*, European Journal of Medicinal Chemistry, Elsevier, 2025 ; 300 118177
- [13] Yassir Filali Baba, Houria Misbahi, Youssef Kandri Rodi etc, *2-oxo-1,2-dihydroquinoline-4-carboxylic acid derivatives as potent modulators of ABCB1-related drug resistance of mouse T-lymphoma cells*, Chemical Data Collections, 2020; 29: 100501
- [14] Marilia Barrecaa, Virginia Spano, Roberta Rocca etc., *Identification of pyrrolo[3',4':3,4]cyclohepta[1,2-d][1,2]oxazoles as promising new candidates for the treatment of lymphomas*, European Journal of Medicinal Chemistry, 2023; 2054: 115372
- [15] Martina Piškor, Ivan Ćorić, Berislav Perić etc., *Quinoline- and coumarin-based ligands and their rhenium(II) tricarbonyl complexes: synthesis, spectral characterization and antiproliferative activity on T-cell lymphoma*, Journal of Inorganic Biochemistry, 2025; 262: 112770
- [16] Hongjuan Chen, Zixue Yan, Changqing Xiao, etc., *Recent advances of small-molecule Mcl-1 inhibitors or degraders as promising anti-cancer agents (2018-present)*, European Journal of Medicinal Chemistry, 2025; 299 118079
- [17] Stephan Hailfinger, Georg Lenz and Margot Thome, *Targeting B-cell lymphomas with inhibitors of the MALT1 paracaspase*, Current Opinion in Chemical Biology, 2014; 23: 47-55

Συνθετικά καύσιμα – μέθοδος Fischer-Tropsch

Οδυσσέας Κατράνης, προπτυχιακός φοιτητής, τμήμα χημείας Ε.Κ.Π.Α

Παναγιώτης Κυρίτσος, Καθηγητής ανόργανης χημείας, τμήμα χημείας Ε.Κ.Π.Α

Εργαστήριο ανόργανης χημείας τμήματος χημείας Ε.Κ.Π.Α

1. Εισαγωγή

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες που οδήγησαν τον άνθρωπο στη συνεχή εξέλιξή του εδώ και χιλιάδες χρόνια δεν είναι άλλος από την ακόρεστη επιθυμία του για ενέργεια, καθώς και την αναζήτηση για αποτελεσματικότερους τρόπους αποθήκευσης και παραγωγής της. Έτσι οδηγηθήκαμε στο σήμερα, όπου η αυξανόμενη επιθυμία για ενέργεια οδηγεί σε όλο και αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις. Είναι προφανές πως αν δεν ικανοποιούνται αυτές οι απαιτήσεις, δεν μπορεί να λειτουργήσει ομαλά η σύγχρονη κοινωνία μας, με αποτέλεσμα να καταναλώνουμε όλο και μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Τα γεγονότα αυτά έχουν προκαλέσει το παγκόσμιο φαινόμενο που σήμερα ονομάζουμε *ενεργειακή κρίση*.

Φυσικά, ο πιο γρήγορος και «εύκολος» τρόπος παραγωγής ενέργειας είναι τα *ορυκτά καύσιμα* και πιο συγκεκριμένα το πετρέλαιο, το κάρβουνο και το φυσικό αέριο. Σύμφωνα με

μελέτες, αυτά πράγματι αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής ενέργειας παγκοσμίως, με μεγάλη διαφορά συγκριτικά με τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας (πυρηνική, αιολική, κλπ). Δυστυχώς, όμως, ένα από τα κύρια μειονεκτήματα των ορυκτών καυσίμων, πέρα από την περιβαλλοντική επιβάρυνση, είναι το γεγονός ότι η αφθονία τους είναι περιορισμένη. Ανά τα χρόνια πραγματοποιούνται μετρήσεις/εκτιμήσεις που αφορούν τον χρόνο εξάντλησής τους και μπορούμε να αναφέρουμε προσεγγιστικά τα εξής:

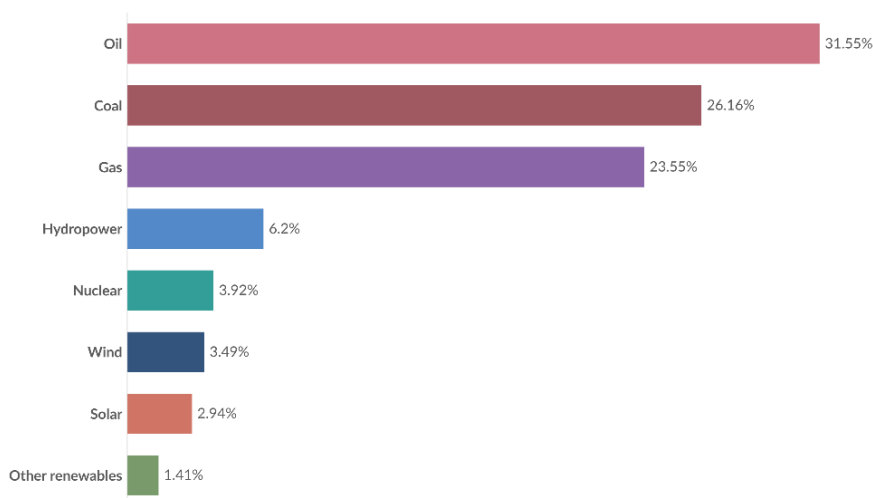
- Πετρέλαιο $\approx$ 40 χρόνια μέχρι εξάντληση
- Κάρβουνο $\approx$ 100 χρόνια μέχρι εξάντληση
- Φυσικό αέριο $\approx$ 60 χρόνια μέχρι εξάντληση

Έτσι, ο προβληματισμός που απασχολεί τους ανθρώπους, εδώ και πολλά χρόνια, είναι το πώς θα ανταπεξέλθουμε όταν

Share of energy consumption by source, World, 2024

Measured as a percentage of primary energy¹, using the substitution method².

Our World
in Data



Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

1. Primary energy Primary energy is the energy available as resources – such as the fuels burnt in power plants – before it has been transformed. This relates to the coal before it has been burned, the uranium, or the barrels of oil. Primary energy includes energy that the end user needs, in the form of electricity, transport and heating, plus inefficiencies and energy that is lost when raw resources are transformed into a usable form. You can read more on the different ways of measuring energy [in our article](#).

2. Substitution method The "substitution method" is one method used to adjust primary energy consumption for efficiency losses experienced by fossil fuels. It tries to adjust non-fossil energy sources to the inputs that would be needed if it was generated from fossil fuels. It assumes that wind and solar electricity is as inefficient as coal or gas. To do this, energy generation from non-fossil sources are divided by a standard 'thermal efficiency factor' – typically around 0.4. Nuclear power is also adjusted despite it also experiencing thermal losses in a power plant. Since it's reported in terms of electricity output, we need to do this adjustment to calculate its equivalent input value. You can read more about this adjustment [in our article](#).

πράγματι εξαντληθούν τα ορυκτά καύσιμα από τον πλανήτη. Την απάντηση φυσικά έρχεται να δώσει η επιστήμη κι ενώ θα μπορούσαμε να προτείνουμε διάφορες λύσεις στο πρόβλημα αυτό, τρεις από αυτές είναι οι επικρατέστερες:

1. *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*
2. *Πυρηνική ενέργεια*
3. *Σύνθεση καυσίμων*

Παρά τη συνεχή βελτίωση των προτάσεων 1 και 2, αυτές εξακολουθούν και εμφανίζουν αρκετά προβλήματα. Όσον αφορά την πρόταση 3, η επιστήμη έχει αφιερώσει πάνω από 100 χρόνια στη μελέτη της σύνθεσης των καυσίμων. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να γίνει αυτή η σύνθεση, όπως πυρόλυση ή βιοχημικές πορείες, ωστόσο έχει ξεχωρίσει η συνθετική μέθοδος Fischer-Tropsch (F-T).

2. Σύντομη ιστορική αναδρομή

Την δεκαετία του 1920 οι Γερμανοί ερευνητές Franz Fischer και Hans Tropsch εργάζονταν στο ινστιτούτο Kaiser-Wilhelm στο Dahlem του Βερολίνου, όπου και κλήθηκαν από τη γερμανική κυβέρνηση να παράγουν υγρά καύσιμα (πετρέλαιο και βενζίνη) από κάρβουνο. Το κάρβουνο υπήρχε άφθονο στη Γερμανία και δεν μπορούσε να αξιοποιηθεί από ορισμένα μέσα μεταφοράς της εποχής, όπως αυτοκίνητα, αεροπλάνα, δίκυκλες μηχανές κλπ. Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε, υπήρχαν από τότε ανησυχίες για την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, οπότε έπρεπε να βρεθούν εναλλακτικές πηγές καυσίμων. Φυσικά, ο απώτερος σκοπός ήταν η ενεργειακή ανεξαρτησία της τότε Γερμανίας, αξιοποιώντας τη συγκεκριμένη μέθοδο όχι μόνο την εν λόγω δεκαετία, αλλά και αργότερα στον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Γερμανία εξακολουθεί να έχει μονάδες παραγωγής καυσίμου βασισμένες στη μέθοδο F-T μέχρι και σήμερα.

3. Σύνθεση Fischer-Tropsch

Περιγραφικά, η σύνθεση F-T αποτελείται από 3 στάδια: i) Μετατροπή της πρώτης ύλης (συνήθως βιομάζα) σε αέριο μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογόνου (H₂) (*synthesis gas* ή απλώς *syngas*), ii) Καθαρισμός του syngas από ανεπιθύμητα παραπροϊόντα, iii) Πολυμερισμός του καθαρού syngas προς τον επιθυμητό υδρογονάνθρακα, με τη χρήση κατάλληλου μεταλλικού καταλύτη.

3.1 Biomass to syngas

Μπορούμε να ορίσουμε τη βιομάζα ως «Οποιαδήποτε μορφή ύλης που μπορούμε να πάρουμε και να αξιοποιήσουμε από τη φύση, η οποία προέρχεται από ζωντανούς ή πρόσφατα νεκρούς οργανισμούς». Παρ' ότι αναφέρθηκε πως οι Fischer και Tropsch χρησιμοποίησαν αρχικά κάρβουνο για την εν λόγω σύνθεση, αξίζει να σημειωθεί πως το κάρβουνο, όπως και τα υπόλοιπα ορυκτά καύσιμα, δεν αποτελούν βιομάζα, παρ' όλο που προέρχονται από ζωντανούς οργανισμούς. Ένα υλικό που χρησιμοποιείται συχνά ως πρώτη ύλη για τη

σύνθεση είναι το ξύλο του δέντρου *Casuarina*, κοινώς Αυστραλιανό πεύκο. Το ξύλο κόβεται σε μικρά κομμάτια και θερμαίνεται στους 378 K, ώσπου να επιτευχθεί ποσοστό υγρασίας < 1 %.

Στη συνέχεια, τα ξηρά κομμάτια ξύλου εισάγονται στη δεξαμενή αεριοποίησης μαζί με ατμό που παράγεται από ένα boiler και οξυγόνο που προκύπτει από μια μονάδα διαχωρισμού του ατμοσφαιρικού αέρα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες, $\approx 800\text{--}1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ και πίεση περίπου 1 Atm. Έτσι, παράγεται το επιθυμητό αέριο μίγμα (*syngas*), μαζί, όμως, με ανεπιθύμητα παραπροϊόντα.

3.2 Καθαρισμός αέριου μίγματος

Τα στερεά παραπροϊόντα, που αποτελούνται κυρίως από στάχτη και πίσσα, απομακρύνονται: 1) από την ίδια τη δεξαμενή, η οποία περιέχει ένα σύστημα εξαγωγής στο κάτω μέρος της και 2) από υφασμάτινα φίλτρα, αφού προηγηθεί η ψύξη του μίγματος. Η απομάκρυνση των στερεών είναι πλήρως απαραίτητη, καθώς εάν αυτά εισαχθούν στον αντιδραστήρα πολυμερισμού θα προσροφηθούν στην επιφάνεια του καταλύτη και θα τον δηλητηριάσουν.

Το καθαρό, πλέον, από στερεά, *syngas* πρέπει να καθαριστεί περαιτέρω, καθώς τα μόνα αέρια που επιθυμούμε να έχουμε στο μίγμα είναι το CO και το H₂. Αυτό είναι απαραίτητο, μιας που τόσο το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) όσο και τα καρβόνυλο σουλφίδια που προκύπτουν, αντιδρούν με τον καταλύτη και οδηγούν σε ανεπιθύμητα τελικά προϊόντα. Ο καθαρισμός αυτός πραγματοποιείται σε μονάδες που ονομάζονται *Rectisol units*, οι οποίες περιέχουν οργανικούς διαλύτες π.χ. μεθανόλη, υπό αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες, και αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο βιομηχανικό μέσο για την απομάκρυνση όξινων αερίων.

Αξίζει να αναφέρουμε πως η παραπάνω διεργασία έχει απόδοση περίπου ίση με 79 %, γεγονός που δείχνει πως δεν υπάρχουν σημαντικές απώλειες.

3.3 Πολυμερισμός

Το καθαρό αέριο μίγμα είναι πλέον έτοιμο να εισαχθεί στον αντιδραστήρα πολυμερισμού, όπου το CO και H₂ αντιδρούν με τη βοήθεια ενός μεταλλικού καταλύτη (*συνήθως υπό μορφή νανοσωματιδίων*) και δίνουν το επιθυμητό προϊόν, συν μερικά παραπροϊόντα όπως νερό, αλκοόλες, ορισμένες ολεφίνες κλπ.

Υπάρχουν διάφοροι προτεινόμενοι μηχανισμοί, ωστόσο ο πιο διαδεδομένος είναι ο μηχανισμός μέσω *καρβιδίων*. Σύμφωνα με αυτό τον μηχανισμό, το CO προσροφάται στην επιφάνεια του καταλύτη και διασπάται ο δεσμός C-O. Στη συνέχεια, το ενεργοποιημένο καρβίδιο συνδέεται με το υπάρχον υδρογόνο προς σχηματισμό μονομερούς CH₂*. Ύστερα, ακολουθεί η επέκταση της ανθρακικής αλυσίδας καθώς τα μονομερή συνδέονται μεταξύ τους, ώσπου να γίνει λήξη της ανάπτυξης της νεοσυντιθέμενης αλυσίδας (*chain termination*). Η λήξη αυτή μπορεί να λάβει χώρα με διάφορους τρόπους κι έτσι προκύπτουν και τα διάφορα προϊόντα.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως το H_2 παίζει πολύ κρίσιμο ρόλο στη σύνθεση, πέρα από τον ρόλο του ως δομικού συστατικού. Ο ρόλος αυτός είναι η λειτουργία του ως *αναγωγικού αντιδραστήριου*. Συνήθως η ενεργή μορφή του μεταλλικού καταλύτη είναι η στοιχειακή, δηλαδή σε οξειδωτική κατάσταση 0, όμως κατά τη διάσπαση του δεσμού C-O σχηματίζονται και μεταλλικά οξείδια, τα οποία είναι καταλυτικός ανενεργά. Έτσι είναι απαραίτητη η παρουσία ενός αναγωγικού ώστε να μπορεί να επανέλθει ο καταλύτης στην ενεργή του μορφή, τη μεταλλική.

4. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση και την εκλεκτικότητα

Ανάλογα με το επιθυμητό προϊόν, μπορούμε να διαμορφώσουμε τις συνθήκες της πορείας ώστε να ενισχύσουμε την εκλεκτική παραγωγή του. Υπάρχει πλήθος παραγόντων που μπορούμε να μεταβάλλουμε σε κάθε περίπτωση και οι σημαντικότεροι είναι οι εξής:

1. **Πίεση και θερμοκρασία:** Οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού παίζουν καθοριστικό ρόλο. Συγκεκριμένα βρέθηκε πως η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε ελάττωση του μήκους της ανθρακικής αλυσίδας του προϊόντος, ενώ η αύξηση της πίεσης οδηγεί στο αντίθετο αποτέλεσμα. Οι τιμές των δύο αυτών παραμέτρων κυμαίνονται από 200-350 °C και 10-80 bar, αντίστοιχα.
2. **Αναλογία H_2 προς CO:** Βρέθηκε πως η αύξηση της αναλογίας mol H_2 / CO οδηγεί σε μείωση του μήκους της ανθρακικής αλυσίδας. Αυτό οφείλεται στο ότι η αυξημένη ποσότητα H_2 διευκολύνει τον τερματισμό της αντίδρασης (termination step). Η αναλογία mol H_2 / CO καθορίζεται πριν το αέριο μίγμα εισαχθεί στον αντιδραστήρα πολυμερισμού, δηλαδή κατά τον καθαρισμό, όπου μέσω της αντίδρασης: $H_2O + CO \rightleftharpoons CO_2 + H_2$ (water gas shift reaction) ελέγχουμε την ποσότητα του κάθε συστατικού, μετατοπίζοντας κατά επιθυμητό τρόπο την ισορροπία. Όπως αναφέρθηκε ήδη, δεν επιθυμούμε καθόλου το CO_2 σε αυτή τη σύνθεση και το απομακρύνουμε πλήρως, άρα προκύπτει πάντα πως η αναλογία mol H_2 / CO είναι >1 .
3. **Ταχύτητα ροής του αερίου:** Αύξηση της ταχύτητας ροής οδηγεί επίσης σε ελάττωση του μήκους της αλυσίδας, καθώς όταν η ταχύτητα του αερίου στον αντιδραστήρα πολυμερισμού είναι μεγάλη, τότε είναι μικρότερος ο μέσος χρόνος παραμονής του CO κοντά στον καταλύτη, με αποτέλεσμα να δυσκολεύεται η ανάπτυξη της αλυσίδας.
4. **Carrier/support:** Ο τέταρτος παράγοντας αφορά το υλικό πάνω στο οποίο τοποθετείται ο καταλύτης. Το υλικό αυτό συνήθως είναι ένα οξείδιο του πυριτίου, του αργιλίου ή του τιτανίου ή κάποιος συνδυασμός αυτών και ανάλογα με τις ιδιότητες του υλικού αυτού παίρνουμε διαφορετικά

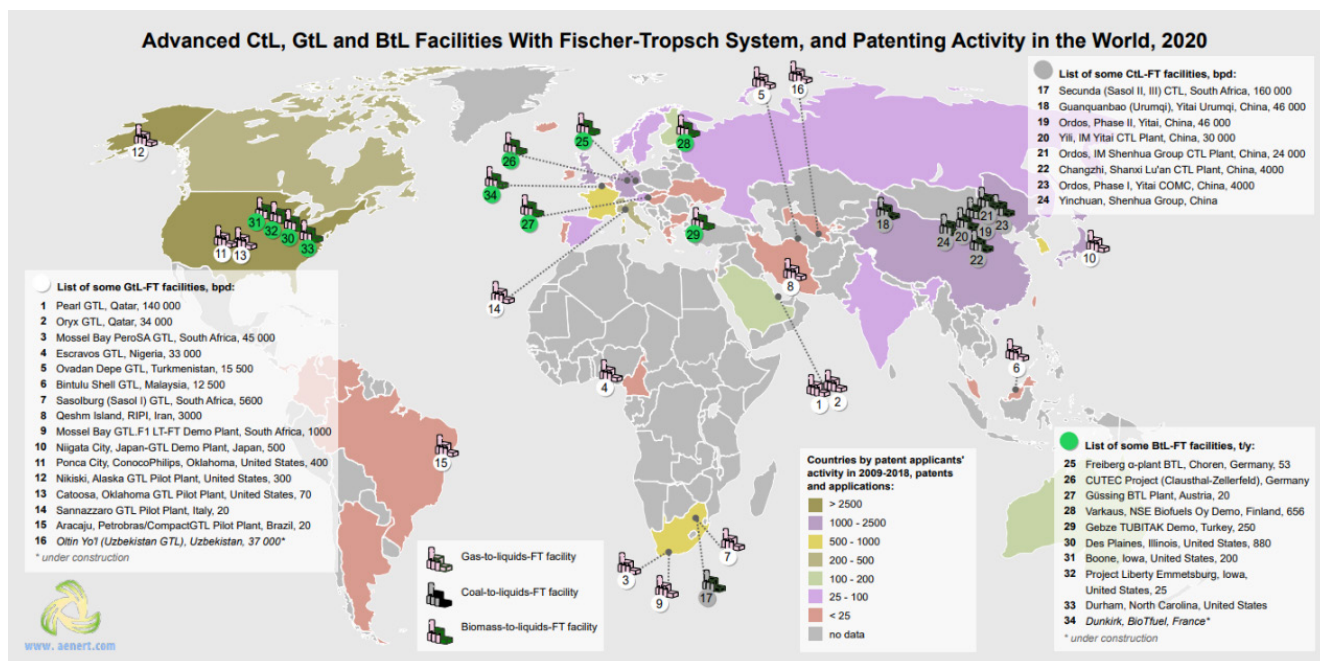
προϊόντα. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά αυτών που μας απασχολούν είναι το μέγεθος των πόρων και η οξύτητά τους. Το μέγεθος των πόρων επηρεάζει το πόσο διαθέσιμη είναι η επιφάνεια του καταλύτη και το πόσος διαθέσιμος χώρος υπάρχει για την ανάπτυξη της συντιθέμενης αλυσίδας. Προφανώς, μεγαλύτεροι πόροι ευνοούν τη σύνθεση μεγαλύτερων υδρογονανθράκων. Η οξύτητα, από την άλλη, επηρεάζει το πόσο ισχυρά είναι προσδεμένος ο καταλύτης στο υλικό στήριξης. Αυξημένη οξύτητα οδηγεί σε πιο κοντές αλυσίδες.

5. **Promoters:** Για τη διευκόλυνση της αναγωγής των μεταλλικών οξειδίων, ώστε να επανέλθει ο καταλύτης στην ενεργή του μορφή, χρησιμοποιούνται ορισμένα βοηθητικά μεταλλικά νανοσωματίδια, συνήθως μαγγανίου ή ρουθηνίου, τα οποία ονομάζονται *promoters* και είναι προσκολλημένα πάνω στη μεταλλική επιφάνεια. Τα promoters δεν επηρεάζουν την εκλεκτικότητα της σύνθεσης, αλλά ενισχύουν κατά πολύ την απόδοση. Πρακτικά, τα σωματίδια αυτά προσροφούν στην επιφάνειά τους το H_2 και μέσω ενός μηχανισμού που ονομάζεται spillover, το μεταφέρουν στα μεταλλικά οξείδια ώστε να αναχθούν.
6. **Καταλύτης:** Last but not least, ένας επίσης πολύ σημαντικός παράγοντας για τη σύνθεση F-T είναι ο μεταλλικός καταλύτης που θα χρησιμοποιήσουμε.

Από την 1^η σειρά των στοιχείων μεταπτώσεως χρησιμοποιούνται κυρίως ο σίδηρος (Fe) και το κοβάλτιο (Co), ενώ σπάνια χρησιμοποιείται και το νικέλιο (Ni), αλλά δεν παρουσιάζει κάποια ξεχωριστή ιδιότητα στην εν λόγω κατάλυση. Το κάθε μέταλλο παρουσιάζει τα δικά του μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα.

Για τον σίδηρο μπορούμε να πούμε στα θετικά ότι έχει σχετικά χαμηλό κόστος και ότι ευνοεί την σύνθεση κοντών υδρογονανθράκων, ενώ στα αρνητικά ότι είναι αρκετά δραστικός ως προς την water gas shift reaction, κι έτσι μπορεί να προκύψει στο μίγμα και CO_2 κατά τον πολυμερισμό, ενώ έχουμε τονίσει πως αυτό δεν είναι επιθυμητό. Να σημειωθεί πως η καταλυτικά πιο ενεργή μορφή του σιδήρου για τη σύνθεση F-T είναι το καρβίδιο του σιδήρου Fe_5C_2 .

Τα θετικά χαρακτηριστικά του κοβαλτίου είναι η ποικιλία στις ενεργές του διαμορφώσεις, που χαρίζουν και ποικιλία στα προϊόντα που μπορούμε να πάρουμε, και το ότι είναι κατάλληλο για παραγωγή μακρύτερων αλυσίδων. Το κύριο αρνητικό του είναι ότι εμφανίζει υψηλό κίνδυνο για πυροσυσσωμάτωση των νανοσωματιδίων του, γεγονός που άμα συμβεί τότε ο καταλύτης απενεργοποιείται. Σε αντίθεση με τον σίδηρο, η καταλυτικά ενεργή μορφή του κοβαλτίου είναι η μεταλλική και συγκεκριμένα η πιο ενεργή μορφή του είναι η εξαγωνική κρυσταλλική του διαμόρφωση. Αυτό ισχύει λόγω του πυκνότερου καταλυτικού κέντρου, σε σχέση με άλλες διαμορφώσεις όπως π.χ. η κυβική ομοιομετρική κεντρομένη διαμόρφωση (fcc).



Από τη 2^η σειρά των στοιχείων μεταπτώσεως το μόνο μέταλλο που παρουσιάζει σημαντική καταλυτική δράση είναι το ρουθίνιο (Ru). Το ρουθίνιο εμφανίζει αρκετά θετικά χαρακτηριστικά, όπως υψηλή σταθερότητα των καταλυτικών του νανοσωματιδίων, μεγάλη απόδοση υπό σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, και παρέχει τη δυνατότητα συνδυασμού του με άλλα μέταλλα π.χ. Co, Fe, ώστε να προκύψουν διμεταλλικοί καταλύτες, οι οποίοι εμφανίζουν διάφορα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Από την άλλη πλευρά, το ρουθίνιο είναι ένα ακριβό υλικό, σε σχέση με τα δύο προαναφερθέντα μέταλλα, και επίσης η παρασκευή των επιθυμητών καταλυτικών νανοσωματιδίων του ρουθινίου, δηλαδή κατάλληλου σχήματος, μεγέθους κλπ, είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία. Προφανώς, το ποιος καταλύτης θα επιλεγεί για μια σύνθεση εξαρτάται από το αποτέλεσμα που επιδιώκουμε, την κλίμακα της σύνθεσης, τις συνθήκες που θα ορίσουμε, κλπ ...

5. Η μέθοδος F-T σήμερα

Η σύνθεση F-T δεν είναι κάτι ξένο για τις σύγχρονες βιομηχανίες. Η αξία της έχει αναγνωριστεί παγκοσμίως και υπάρχουν μονάδες παρασκευής καυσίμων, βασισμένες σε αυτή τη μέθοδο, σε ολόκληρο τον κόσμο.

Εφ' όσον το ζήτημα έχει αποκτήσει βιομηχανική κλίμακα, είναι σημαντικό να αναφέρουμε μερικά δεδομένα βιομηχανικού και οικονομικού ενδιαφέροντος, που αφορούν την παρασκευή καυσίμων με τον τρόπο που αναλύθηκε παραπάνω:

- Ένα δεδομένο που απασχολεί αρκετά τη βιομηχανία είναι ο λόγος της μάζας του παραγόμενου καυσίμου προς την μάζα του εξερχόμενου τελικού αερίου: $m_{\text{καυσίμου}} / m_{\text{αερίου}} \cdot m_{\text{αερίου}} = \text{μάζα του syngas που δεν μετατράπηκε σε καύσιμο} + \text{μάζα ανεπιθύ-}$

μικτων αέριων υδρογονανθράκων. Ο λόγος αυτός ονομάζεται fuel ratio και αποτελεί έναν τρόπο έκφρασης της απόδοσης της σύνθεσης. Προφανώς, συνδέεται άμεσα με την τιμή που αποκτά το καύσιμο ως προϊόν στην αγορά.

- Για να προκύψει καύσιμο το οποίο θα μπορεί να πουληθεί σε ανταγωνιστική τιμή στην αγορά, πρέπει η απόδοση μετατροπής του CO να είναι τουλάχιστον 60 %. Για παράδειγμα, σύμφωνα με σχετικά πρόσφατα δεδομένα, η τιμή για diesel παραγόμενο με τη μέθοδο F-T σε αυτά τα εύρη αποδόσεων είναι περίπου ίση με 1 δολάριο/λίτρο.
- Όπως και σε κάθε βιομηχανία, είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες. Για αυτό τον λόγο, οι αέριοι υδρογονάνθρακες που προκύπτουν ως παραπροϊόντα, το περισσεύον syngas και άλλα εκμεταλλεύσιμα παραπροϊόντα, μεταφέρονται σε μία μονάδα παραγωγής ρεύματος, η οποία συνήθως βρίσκεται δίπλα στις εγκαταστάσεις παραγωγής καυσίμου. Το παραγόμενο ρεύμα είτε τροφοδοτεί την ίδια την εγκατάσταση, είτε πωλείται στην αγορά.
- Είναι γνωστό πως η τιμή οποιουδήποτε προϊόντος εξαρτάται, εκτός των άλλων και από το κόστος της πρώτης ύλης. Έτσι, και η τιμή του εξαγόμενου καυσίμου εξαρτάται σε ένα βαθμό από το κόστος της βιομάζας που χρησιμοποιείται για τη σύνθεση. Να σημειωθεί πως όσο μεγαλύτερο είναι το fuel ratio, τόσο μικρότερη είναι η αύξηση της τιμής του καυσίμου στην αγορά, με αύξηση του κόστους της βιομάζας.
- Μετά από μελέτες για το πώς ανταποκρίνεται η αγορά και το πώς κινείται η παγκόσμια οικονομία σε αυτό τον κλάδο, εκτιμάται πως ο χρόνος που απαιτείται για την απόσβεση της επένδυσης για τη δημιουργία εγκαταστάσεων παρασκευής καυσίμων μέσω της F-T, κυμαίνεται από 3 έως 5 χρόνια αποτελεσματικής λειτουργίας.

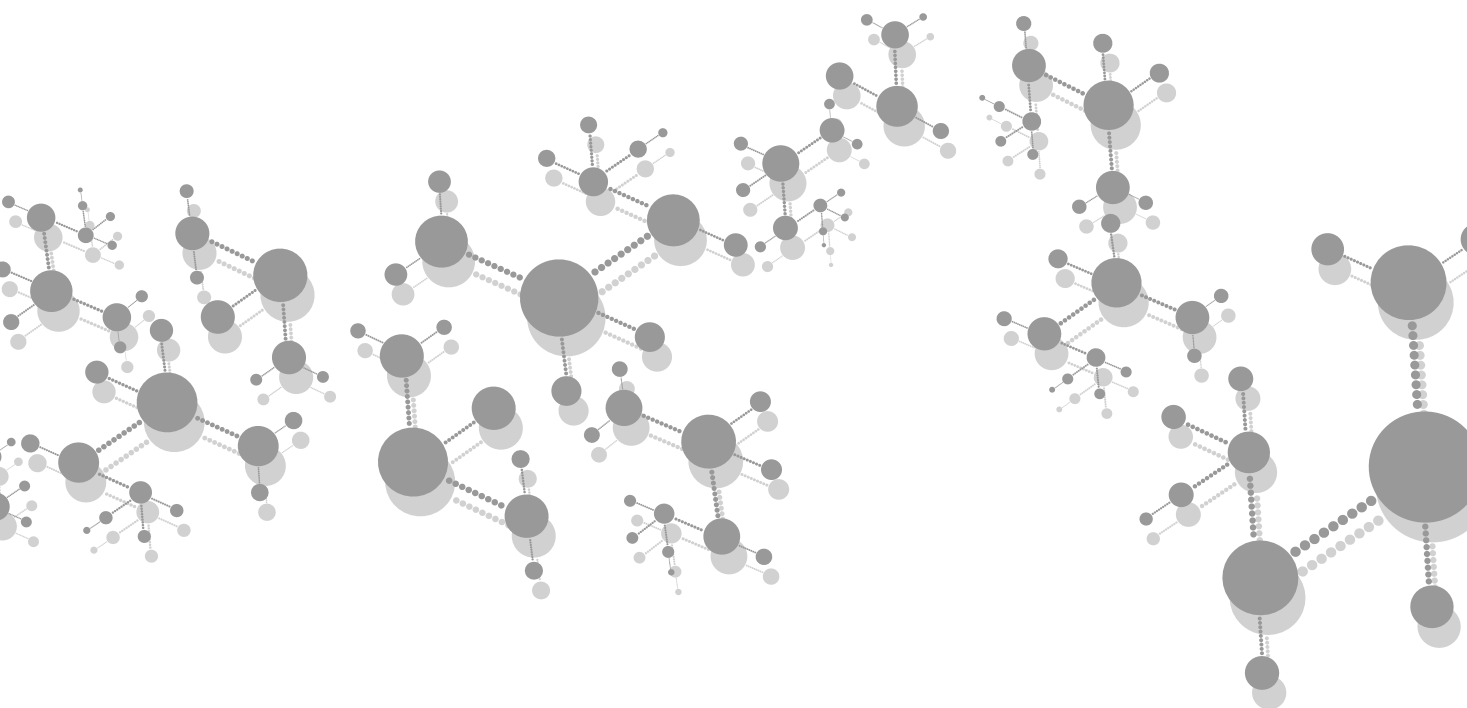
6. Συμπεράσματα

Η μέθοδος F-T αποτέλεσε μια τεράστια καινοτομία στον τομέα της ενέργειας και η συνεισφορά της σε παγκόσμιο επίπεδο είναι αδιαμφισβήτητη, ωστόσο έχει θετικό αλλά και αρνητικό αντίκτυπο. Αναμφίβολα αποτελεί μια εξαιρετική εναλλακτική της εξόρυξης των ορυκτών καυσίμων, καθώς μας παρέχει καύσιμο συχνά αρκετά πιο καθαρό από αυτό που προκύπτει από τη διύλιση του αργού πετρελαίου. Επιπλέον, μέσω αυτής αποκτάμε την ικανότητα να αξιοποιούμε διάφορες πρώτες ύλεις που δίνονται απλόχερα από την φύση, τις οποίες δεν μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε στο παρελθόν. Από την άλλη πλευρά, αντιλαμβανόμαστε ότι σαφώς δεν συμβάλει στην αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής κρίσης,

αντιθέτως την επιβαρύνει μέχρις ενός βαθμού. Επίσης, στο επίπεδο όπου βρισκόμαστε σήμερα, είναι αδύνατο να καλυφθούν όλες μας οι ενεργειακές ανάγκες μέσω των καυσίμων που παράγονται με αυτή την μέθοδο. Έχουμε έλλειψη επαρκών βιομηχανικών εγκαταστάσεων και η κατασκευή περισσότερων αποτελεί μια δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία. Οι σχετικές μελέτες πραγματοποιούνται αδιαλείπτως, και η ανάπτυξη της μεθόδου συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Ακόμη κι αν δεν αποτελέσει τον τελικό σταθμό στην εξασφάλιση της ενέργειας για τους ανθρώπους, σίγουρα είναι ένα σημαντικό βήμα σε αυτό τον εναγώνιο δρόμο προς την ενεργειακή ελευθερία.

Βιβλιογραφία

- AEnert. (2023). *Fischer-Tropsch plants map in the world*. Advanced Energy Technologies <https://aenert.com/technologies/fossil-fuel/synthetic-fuels/fischer-tropsch-plants-map-in-the-world/>
- Amin, M., Usman, M., Kella, T., Khan, W. U., Khan, I. A., & Lee, K. H. (2024). Issues and challenges of Fischer-Tropsch synthesis catalysts. *Frontiers in Chemistry*, 12
- ETIP Bioenergy. (2024). *Fischer-Tropsch (FT) Synthesis: Technology Fact Sheet* https://new.etipbioenergy.eu/wp-content/uploads/2024/08/ETIP_B_Factsheet_FT_R1.pdf
- FairPlanet. (2022). *When will we run out of fossil fuels?* <https://www.fairplanet.org/story/when-will-we-run-out-of-fossil-fuels/>
- Mazurova, K., Miyassarova, A., Eliseev, O., Stytsenko, V., Glotov, A., & Stavitskaya, A. (2023). Fischer-Tropsch Synthesis Catalysts for Selective Production of Diesel Fraction. *Catalysts*, 13(8), 1215
- Our World in Data. (2024). *Share of primary energy consumption by source* <https://ourworldindata.org/grapher/share-energy-source-sub>
- Rommens, K. T., & Saeys, M. (2023). Molecular Views on Fischer-Tropsch Synthesis. *Chemical Reviews*, 123(9), 5798–5858
- Snehes, A. S., Mukunda, H. S., Mahapatra, S., & Dasappa, S. (2017). Fischer-Tropsch route for the conversion of biomass to liquid fuels - Technical and economic analysis. *Energy*, 130, 182–191
- Stranges, A. N. (2007). A History of the Fischer-Tropsch Synthesis in Germany 1926–45. *Studies in Surface Science and Catalysis*, 163, 1–27



Χημεία των Καμπανών

Κλαδής Παναγιώτης¹, Σταθοπούλου Κατερίνα¹, Μαυρομούστακος Θωμάς¹
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Χημείας¹

Εισαγωγή: Η κατασκευή μεταλλικών καμπανών αποτελεί μια τεχνολογία με μακρά ιστορία, η οποία συνδέεται στενά με τη χρήση κραμάτων χαλκού-κασσιτέρου και την εξέλιξη της μεταλλουργίας. Οι μπρούντζινες καμπάνες χρησιμοποιούνται εδώ και χιλιάδες χρόνια και συνδέονται με θρησκευτικές, τελετουργικές και κοινωνικές λειτουργίες σε διάφορους πολιτισμούς. Οι πρώτες μορφές καμπανών εμφανίζονται ήδη από τη 2η χιλιετία π.Χ. στην Ασία, όπου χρησιμοποιούνταν τόσο σε τελετουργικά όσο και σε μουσικά πλαίσια [1].

Η χρήση τους εξαπλώθηκε σταδιακά σε άλλες περιοχές, και στην Ευρώπη η τεχνολογία της κωδωνοποιίας εξελίχθηκε σημαντικά κατά τον Μεσαίωνα. Από τον 12ο αιώνα και μετά, παρατηρείται σημαντική εξέλιξη στη γεωμετρία των καμπανών, με μετάβαση από απλούστερα σχήματα σε πιο σύνθετα που επιτρέπουν καλύτερο έλεγχο του παραγόμενου ήχου. Η εξέλιξη αυτή συνδέεται άμεσα με τη βελτίωση των ακουστικών ιδιοτήτων και την ικανότητα παραγωγής πιο αρμονικού ηχητικού φάσματος. Οι καμπάνες, έλκουν την καταγωγή και την ονομασία τους από την περιοχή της Καμπανίας, της Ιταλίας, αφού εκεί βρισκόνταν τα κατάλληλα μέταλλα για την παρασκευή καμπανών [2].

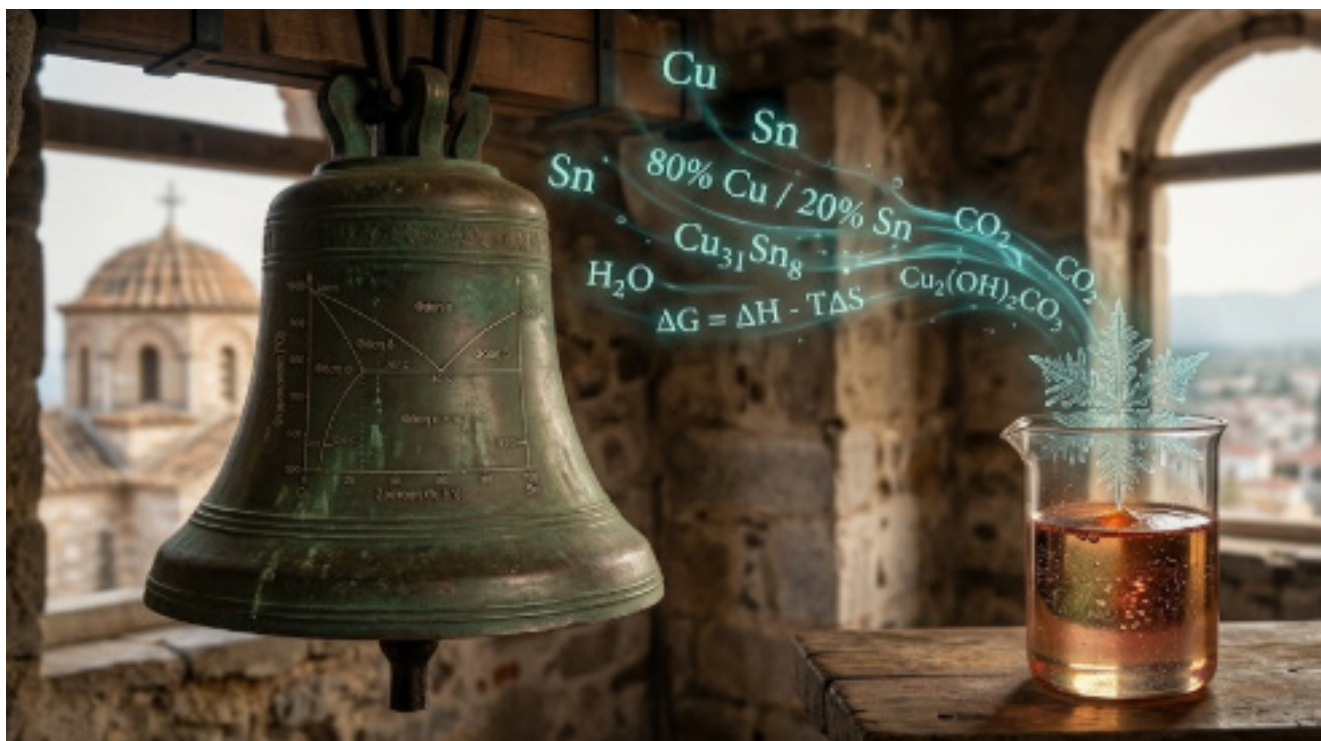
Στη σύγχρονη επιστημονική προσέγγιση, η καμπάνα αντιμετωπίζεται ως ένα σύνθετο υλικό σύστημα, στο οποίο η χημική σύσταση, η μικροδομή και οι μηχανικές ιδιότητες καθορίζουν

την ακουστική της συμπεριφορά. Η κατανόηση των παραμέτρων αυτών επιτρέπει τη σύνδεση της παραδοσιακής τεχνολογίας της κωδωνοποιίας με τις αρχές της επιστήμης υλικών και της φυσικοχημείας [2].

Η παρούσα εργασία εξετάζει την καμπάνα ως ένα σύνθετο μεταλλουργικό και χημικό σύστημα, με έμφαση στη σχέση μεταξύ χημικής σύστασης και ακουστικής συμπεριφοράς. Στο πλαίσιο αυτό, αναλύεται η στοιχειομετρική αναλογία του κράματος χαλκού-κασσιτέρου (Cu-Sn), καθώς και οι φασικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της τήξης και της στερεοποίησης. Επιπλέον, διερευνάται η επίδραση των ενδομεταλλικών ενώσεων στην κρυσταλλική δομή και τις ιδιότητες του υλικού, οι οποίες καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τη λειτουργία και την ηχητική απόδοση της καμπάνας [1][2].

Χημική Σύσταση: Κωδωνοειδής Μπρούντζος (Bell Metal):

Ο κωδωνοειδής μπρούντζος (bell bronze) αποτελεί κράμα χαλκού-κασσιτέρου (Cu-Sn) με υψηλή περιεκτικότητα σε κασσίτερο, σε αντίθεση με άλλα μπρούντζινα αντικείμενα όπου το ποσοστό κασσιτέρου είναι σημαντικά χαμηλότερο. Η αυξημένη περιεκτικότητα σε Sn προσδίδει στο υλικό ιδιαίτερες μηχανικές και ακουστικές ιδιότητες, καθιστώντας το κατάλληλο για την κατασκευή καμπανών [1]



Κύρια Συστατικά και Στοιχειομετρία: Η τυπική χημική σύσταση ενός κράματος καμπάνας είναι:

- Χαλκός (Cu): ~78–80 wt%
- Κασσίτερος (Sn): ~20–22 wt%

Η συγκεκριμένη αναλογία είναι κρίσιμη για τις ιδιότητες του υλικού, καθώς κάθε στοιχείο επιτελεί διαφορετικό ρόλο στη μικροδομή και τη μηχανική συμπεριφορά του κράματος. Ο χαλκός αποτελεί τη βασική μήτρα του υλικού και προσδίδει ολκιμότητα και ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης, επιτρέποντας στο κράμα να αντέχει τις μηχανικές καταπονήσεις χωρίς να θραύεται εύκολα. Επιπλέον, η μεταλλική φύση του χαλκού διευκολύνει τη διάδοση των ελαστικών κυμάτων μέσα στο υλικό.

Αντίθετα, ο κασσίτερος λειτουργεί ως στοιχείο ενίσχυσης της δομής. Η παρουσία του αυξάνει τη σκληρότητα και το μέτρο ελαστικότητας του κράματος, ενώ περιορίζει την πλαστικότητα. Σε συγκεντρώσεις της τάξης του 20%, ο κασσίτερος συμβάλλει στον σχηματισμό ενδομεταλλικών φάσεων, οι οποίες μειώνουν την εσωτερική απόσβεση και επιτρέπουν στο υλικό να διατηρεί τις ταλαντώσεις για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή καθαρού και παρατεταμένου ήχου, χαρακτηριστικού των καμπανών [1][3].

Ρόλος των Προσμίξεων: Σε μικρές ποσότητες, στο κράμα μπορεί να υπάρχουν προσμίξεις ή σκόπιμα πρόσθετα στοιχεία, τα οποία επηρεάζουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες και τη διαδικασία χύτευσης:

- Ψευδάργυρος (Zn): βελτιώνει τη ρευστότητα του τήγματος και διευκολύνει τη χύτευση
- Μόλυβδος (Pb): αυξάνει τη χυτευσιμότητα, αλλά σε μεγαλύτερες ποσότητες αυξάνει την απόσβεση των ταλαντώσεων
- Σίδηρος (Fe) και Αντιμόνιο (Sb): θεωρούνται ανεπιθύμητες προσμίξεις, καθώς μπορούν να προκαλέσουν ευθραυστότητα και ανομοιογένεια στο κράμα

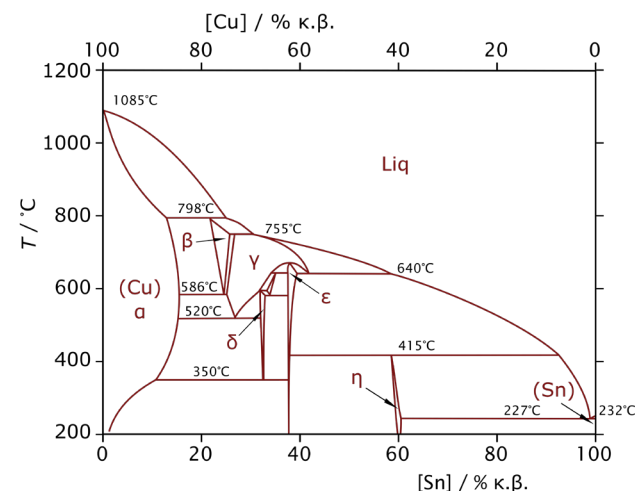
Η παρουσία προσμίξεων εισάγει ατέλειες στο κρυσταλλικό πλέγμα, οι οποίες αυξάνουν την εσωτερική τριβή και επηρεάζουν αρνητικά την ακουστική απόδοση της καμπάνας [1][2].

Χημική Καθαρότητα και Ομοιογένεια: Η χημική καθαρότητα και η ομοιογένεια του κράματος αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την ποιότητα της καμπάνας. Κατά τη φάση της τήξης (~1100°C), απαιτείται επαρκής διάχυση του κασσιτέρου στο τήγμα του χαλκού, ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη κατανομή των στοιχείων.

Η ανεπαρκής ανάμιξη μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα μικροδιαχωρισμού (segregation), με αποτέλεσμα τη δημιουργία περιοχών διαφορετικής σύστασης. Οι ανομοιογένειες αυτές επηρεάζουν τόσο τις μηχανικές ιδιότητες όσο και τη διάδοση του ήχου μέσα στο υλικό, οδηγώντας σε ανεπιθύμητες ακουστικές αποκλίσεις [2].

Φυσικοχημεία του Κράματος και Μικροδομή: Η μελέτη του κωδωνοειδούς μπρούντζου σε πανεπιστημιακό επίπεδο επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο η θερμοδυναμική και η κινητική της στερεοποίησης επηρεάζουν την τελική κρυσταλλική δομή του υλικού. Η καμπάνα δεν αποτελεί ένα απλό στερεό, αλλά ένα πολύπλοκο σύστημα φάσεων, στο οποίο η μικροδομή καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις μηχανικές και ακουστικές ιδιότητες [1][3] (Σχήμα 1).

Το Διάγραμμα Φάσεων Χαλκού-Κασσιτέρου (Cu-Sn)



Σχήμα 1: Διάγραμμα φάσεων συστήματος χαλκού-κασσιτέρου (Cu-Sn), που δείχνει τις φάσεις α και δ [3]

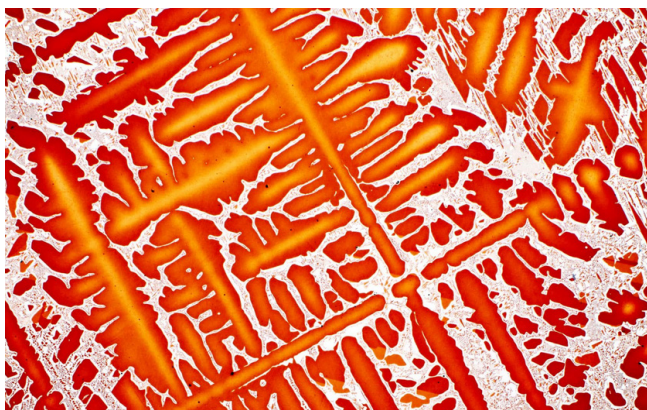
Η συμπεριφορά του κράματος περιγράφεται από το διάγραμμα φάσεων Cu-Sn. Στην περιοχή σύστασης 20–22% Sn, το υλικό κατά τη ψύξη παρουσιάζει συνύπαρξη διαφορετικών φάσεων:

- Φάση α: στερεό διάλυμα κασσιτέρου μέσα στον χαλκό, το οποίο προσδίδει τη βασική δομή και σχετική ολκιμότητα
- Φάση δ ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$): ενδομεταλλική ένωση με αυξημένη σκληρότητα και μειωμένη πλαστικότητα

Η παρουσία της φάσης δ είναι καθοριστική για τις ιδιότητες του κράματος. Αν και η αυξημένη ευθραυστότητα είναι ανεπιθύμητη σε πολλές εφαρμογές, στις καμπάνες συμβάλλει στην αύξηση της σκληρότητας και στη μείωση της εσωτερικής απόσβεσης, επιτρέποντας στο υλικό να διατηρεί τις ταλαντώσεις για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και έτσι να «κουδουνίζει» αντί να απορροφά την ενέργεια της κρούσης. [3].

Κρυσταλλική Δομή και Δενδρίτες: Κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης, οι κρύσταλλοι αναπτύσσονται με τη μορφή **δενδριτών**. Η ταχύτητα της ψύξης καθορίζει το μέγεθος αυτών των δενδριτών (Σχήμα 2):

1. **Ταχεία ψύξη:** Δημιουργεί μικρούς κόκκους, αυξάνοντας τη μηχανική αντοχή.



Σχήμα 2: Μικροδομή κράματος Cu-Sn με δενδριτική ανάπτυξη κόκκων

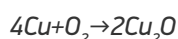
2. Αργή ψύξη: Επιτρέπει την ανάπτυξη μεγαλύτερων κρυστάλλων, που μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητη ανομοιογένεια (διαχωρισμός φάσεων).

Η μικροδομή αυτή επηρεάζει τη διάδοση των ελαστικών κυμάτων στο υλικό και συνεπώς τις ακουστικές ιδιότητες της καμπάνας [1][2].

Η Σημασία των Ενδομεταλλικών Ενώσεων: Οι ενδομεταλλικές ενώσεις στο σύστημα Cu-Sn επηρεάζουν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες του κράματος. Η παρουσία τους οδηγεί σε αύξηση του μέτρου ελαστικότητας (E), γεγονός που σχετίζεται άμεσα με την ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο υλικό. Η ενίσχυση της δομής μέσω αυτών των φάσεων μειώνει την εσωτερική τριβή και επιτρέπει τη διατήρηση της ταλαντωτικής ενέργειας, χαρακτηριστικό που είναι απαραίτητο για την παραγωγή καθαρού και παρατεταμένου ήχου στις καμπάνες [1][3].

Διεργασία Παρασκευής και Χημικές Αντιδράσεις: Η παραγωγή μιας καμπάνας αποτελεί σύνθετη μεταλλουργική διεργασία, κατά την οποία ο έλεγχος της θερμοκρασίας, της σύστασης του τήγματος και των συνθηκών στερεοποίησης επηρεάζει άμεσα τη μικροδομή και τις τελικές ιδιότητες του υλικού. Η διεργασία περιλαμβάνει στάδια τήξης, χύτευσης και θερμικής κατεργασίας, τα οποία καθορίζουν την ποιότητα και την ομοιογένεια του κράματος [1],[4].

Χημεία της Τήξης και Οξειδωση: Κατά την τήξη του χαλκού και την προσθήκη του κασσιτέρου, το τήγμα μπορεί να έρθει σε επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, οδηγώντας στον σχηματισμό οξειδίων, όπως το οξείδιο του χαλκού:



Τα οξείδια αυτά είναι ανεπιθύμητα, καθώς δημιουργούν εγκλείσματα που επηρεάζουν αρνητικά τη δομή και τις ιδιότητες του υλικού. Για τον περιορισμό αυτών των φαινομένων χρησιμοποιούνται κατάλληλες ουσίες κατά τη μεταλλουργική

ή επεξεργασία, όπως έχει αναφερθεί για κράματα χαλκού στη σχετική βιβλιογραφία [4],[6].

Χημεία των Καλούπιών (Mold Chemistry): Η χύτευση της καμπάνας πραγματοποιείται σε καλούπια τα οποία πρέπει να παρουσιάζουν επαρκή αντοχή και διαπερατότητα στα αέρια. Στη βιβλιογραφία για την κατασκευή καμπανών αναφέρεται η χρήση μιγμάτων άμμου και αργιλικών συνδετικών, τα οποία επιτρέπουν τη σωστή πλήρωση του καλούπιου και τη διαφυγή των αερίων κατά τη χύτευση.

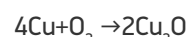
Η παρουσία πόρων στο καλούπι είναι σημαντική για την αποφυγή εγκλιωβισμού αερίων, καθώς ο σχηματισμός πορώδους στο τελικό υλικό μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τόσο τη μηχανική αντοχή όσο και τις ακουστικές ιδιότητες της καμπάνας [1][4].

Θερμική Κατεργασία (Annealing) και Κινητική: Μετά τη χύτευση, η θερμική κατεργασία του κράματος διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της μικροδομής. Η ανόπτηση οδηγεί σε μείωση των εσωτερικών τάσεων και σε αναδιοργάνωση της μικροδομής μέσω διεργασιών διάχυσης. Οι μεταβολές αυτές περιλαμβάνουν ανακρυστάλλωση και έλεγχο του μεγέθους των κόκκων, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Σε κράματα μη σιδηρούχων μετάλλων, όπως τα κράματα Cu-Sn, οι διεργασίες αυτές είναι κρίσιμες για τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του υλικού [4].

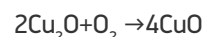
Χημεία Επιφανείας και Διάβρωση: Η μακροχρόνια έκθεση μιας καμπάνας στις ατμοσφαιρικές συνθήκες οδηγεί σε χημικές μεταβολές στην επιφάνειά της, μέσω οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων μεταξύ του μετάλλου και του περιβάλλοντος. Το αποτέλεσμα αυτών των διεργασιών είναι ο σχηματισμός της πατίνας, δηλαδή ενός στρώματος προϊόντων διάβρωσης, το οποίο επηρεάζει τόσο την εμφάνιση όσο και τη σταθερότητα του υλικού [7][8].

Σχηματισμός της Πατίνας: Η πατίνα των καμπανών αποτελείται κυρίως από ενώσεις του χαλκού που σχηματίζονται σταδιακά στην επιφάνεια του κράματος. Η διεργασία είναι πολυσταδιακή και εξαρτάται από τη σύσταση της ατμόσφαιρας (Σχήμα 3).

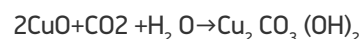
Αρχικά, ο χαλκός οξειδώνεται σχηματίζοντας οξείδιο του χαλκού(I) (κυπρίτη):



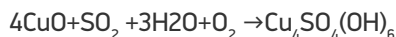
Στη συνέχεια μπορεί να σχηματιστεί οξείδιο του χαλκού(II):



Σε παρουσία διοξειδίου του άνθρακα και υγρασίας, τα οξείδια μετατρέπονται σε βασικά ανθρακικά άλατα του χαλκού, όπως ο μαλαχίτης:



Σε περιβάλλον με ατμοσφαιρική ρύπανση (ιδιαίτερα παρουσία SO_2), σχηματίζονται βασικά θειικά άλατα του χαλκού, όπως ο βροσαντίτης:



Οι ενώσεις αυτές προσδίδουν το χαρακτηριστικό πράσινο ή γαλαζοπράσινο χρώμα στις παλαιές καμπάνες [7][8].

Η Πατίνα ως Προστατευτικό Στρώμα: Τα προϊόντα διάβρωσης του χαλκού μπορούν, υπό ορισμένες συνθήκες, να σχηματίσουν ένα σχετικά σταθερό επιφανειακό στρώμα. Η διεργασία αυτή είναι γνωστή ως παθητικοποίηση και περιορίζει την περαιτέρω αντίδραση του μετάλλου με το περιβάλλον. Τα βασικά ανθρακικά και θειικά άλατα του χαλκού θεωρούνται σχετικά σταθερά και μπορούν να μειώσουν τον ρυθμό διάβρωσης. Ωστόσο, η προστατευτική δράση της πατίνας εξαρτάται από το περιβάλλον. Η παρουσία επιθετικών ιόντων, όπως τα χλωριούχα, μπορεί να οδηγήσει σε διάσπαση του προστατευτικού στρώματος και σε επιταχυνόμενη διάβρωση του μετάλλου [7].

Χημικός Καθαρισμός και Συντήρηση: Η συντήρηση μιας ιστορικής καμπάνας απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς η επιφάνειά της αποτελεί τόσο χημικό όσο και πολιτιστικό στοιχείο. Ο μηχανικός καθαρισμός γενικά αποφεύγεται, καθώς μπορεί να οδηγήσει στην απομάκρυνση της πατίνας, η οποία σε πολλές περιπτώσεις λειτουργεί προστατευτικά για το υλικό. Σε περιπτώσεις όπου παρατηρείται ενεργή διάβρωση, εφαρμόζονται μέθοδοι χημικής σταθεροποίησης. Ένα από τα πιο διαδεδομένα μέσα είναι το βενζοτρίαζόλιο (BTA), το οποίο δρα ως αναστολέας διάβρωσης για τον χαλκό, σχηματίζοντας σύμπλοκα (Σχήμα 4) με τα ιόντα του στην επιφάνεια του μετάλλου και περιορίζοντας την περαιτέρω αντίδραση με το περιβάλλον [9].

Σύνδεση Χημείας και Ακουστικής (Physicochemical Acoustics): Η ακουστική απόδοση μιας καμπάνας δεν εξαρτάται μόνο από τη γεωμετρία της, αλλά σε μεγάλο βαθμό από τις ελαστικές και μικροδομικές ιδιότητες του υλικού της. Οι ιδιότητες αυτές καθορίζονται από τη χημική σύσταση και τη δομή του κράματος, γεγονός που καθιστά τη μελέτη της καμπάνας χαρακτηριστικό παράδειγμα σύνδεσης μεταξύ χημείας υλικών και φυσικής του ήχου [1][2].

Μέτρο Ελαστικότητας (E) και Ταχύτητα Ήχου: Το μέτρο ελαστικότητας (Young's modulus, E) αποτελεί βασική ιδιότητα που περιγράφει την ακαμψία ενός υλικού. Στον κωδωνοειδή μπρούντζο, η αυξημένη περιεκτικότητα σε κασσίτερο οδηγεί σε αύξηση του E, καθώς ενισχύεται η δομή μέσω ενδομεταλλικών φάσεων. Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στο υλικό σχετίζεται άμεσα με το μέτρο ελαστικότητας και την πυκνότητα, σύμφωνα με τη σχέση:

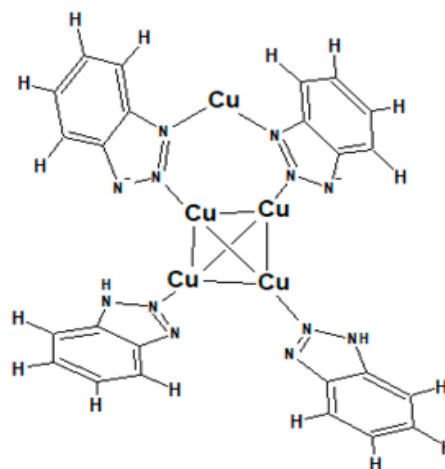
$$u = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$



Σχήμα 3: Πατίνα σε καμπάνα από κράμα χαλκού – χαρακτηριστικός σχηματισμός βασικών ενώσεων χαλκού [7]

όπου ρ είναι η πυκνότητα του υλικού. Υλικά με υψηλό E και σταθερή πυκνότητα επιτρέπουν την ταχύτερη και ομοιόμορφη διάδοση των ελαστικών κυμάτων, γεγονός που συμβάλλει στην παραγωγή καθαρού ήχου. Η χημική σύσταση του κράματος επηρεάζει άμεσα αυτές τις ιδιότητες μέσω της μικροδομής του [1][3].

Εσωτερική Τριβή και Απόσβεση (Damping): Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά μιας καμπάνας είναι ο χρόνος αντήχησης (sustain), δηλαδή η διάρκεια διατήρησης του ήχου μετά την κρούση. Η διάρκεια αυτή εξαρτάται από την εσωτερική τριβή του υλικού.



Σχήμα 4: Σύμπλοκο χαλκού-βενζοτρίαζολίου

Σε κράματα που περιέχουν ακαθαρσίες ή ανομοιογένειες, όπως υπερβολικό μόλυβδο ή άλλες προσμίξεις, η ενέργεια της ταλάντωσης μετατρέπεται ευκολότερα σε θερμότητα μέσω της κίνησης στελεχίων στο κρυσταλλικό πλέγμα. Αυτό οδηγεί σε αυξημένη απόσβεση και ταχύτερη εξασθένιση του ήχου.

Αντίθετα, στον κωδωνοειδή μπρούντζο με ελεγχόμενη σύσταση, η παρουσία ενδομεταλλικών φάσεων και η σχετικά ομοιογενής μικροδομή περιορίζουν την εσωτερική τριβή. Έτσι, η ενέργεια παραμένει κυρίως υπό μορφή ταλάντωσης, επιτρέποντας μεγαλύτερη διάρκεια και καθαρότητα του ήχου [1][2].

Αρμονικό Φάσμα και Χημική Ομοιογένεια: Μια καμπάνα παράγει σύνθετο ηχητικό φάσμα, αποτελούμενο από πολλούς επιμέρους τόνους (όπως hum, prime, tierce, quint και nominal). Η ποιότητα αυτού του φάσματος εξαρτάται από την ομοιογένεια του υλικού.

Εάν κατά τη χύτευση παρουσιαστεί μικροδιαχωρισμός (segregation), δηλαδή ανομοιόμορφη κατανομή του κασσιτέρου, δημιουργούνται περιοχές με διαφορετική πυκνότητα και ελαστικές ιδιότητες. Ως αποτέλεσμα, τα ηχητικά κύματα διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες στο εσωτερικό του υλικού, προκαλώντας παραμορφώσεις στο ηχητικό σήμα και εμφάνιση δυσαρμονιών.

Η χημική ομοιογένεια του κράματος είναι επομένως κρίσιμη για την παραγωγή σταθερού και αρμονικού ήχου, καθώς εξασφαλίζει ομοιόμορφη διάδοση των ταλαντώσεων σε όλο το σώμα της καμπάνας [2].

Συμπεράσματα: Η χημική και μεταλλουργική ανάλυση της καμπάνας αναδεικνύει ένα μοναδικό σημείο τομής μεταξύ της θεωρητικής επιστήμης και της παραδοσιακής τεχνολογίας.

Η καμπάνα δεν αποτελεί απλώς ένα μεταλλικό αντικείμενο,

αλλά ένα σύστημα στο οποίο η χημική σύσταση, η μικροδομή και η μεταλλουργική επεξεργασία συνδυάζονται για να καθορίσουν τη λειτουργία του.

Η επιτυχής κατασκευή μιας καμπάνας βασίζεται στον ακριβή έλεγχο του κράματος και των συνθηκών παραγωγής, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη ισορροπία μεταξύ μηχανικής αντοχής και ακουστικής απόδοσης. Παράλληλα, η αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και ο σχηματισμός επιφανειακών στρωμάτων επηρεάζουν τη μακροχρόνια σταθερότητα του υλικού.

Συνεπώς, η μελέτη των καμπανών (σήμερα υπάρχουν και ηλεκτρονικές) αναδεικνύει τη σημασία της χημείας υλικών στην κατανόηση και βελτιστοποίηση λειτουργικών ιδιοτήτων, καθώς και στη διατήρηση αντικειμένων πολιτιστικής και τελετουργικής σημασίας. Όπως είναι γνωστό η καμπάνα αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα του ορθόδοξου ναού, όπου τοποθετείται σε καθορισμένο χώρο και ηχεί σε καθορισμένες λειτουργικές στιγμές. Για παράδειγμα στην έναρξη του όρθρου ή της θείας λειτουργίας. Η κρούση των καμπανών συμβολίζει το στόμα του Θεού, που καλεί τους πιστούς να προσέλθουν στον Ναό, τον οίκο του, να προσευχηθούν, να ξεκουραστούν πνευματικά, να γι�τρευτούν, να δυναμώσουν, να ενθαρρυνθούν, να παρηγορηθούν και να κερδίσουν τη Σωτηρία τους. Ο Θεός φωνάζει στον καθένα μας. «Αδάμ που είσαι;», θυμίζει δηλαδή το περιστατικό των πρωτόπλαστων στη Γένεση.

Τέλος, να τονίσουμε ότι στην Ελληνική μας παράδοση οι καμπάνες, σηματοδοτούν σημαντικές στιγμές της συλλογικής ζωής, και κτυπούν με ιδιαίτερο ήχο: Για παράδειγμα, τη χαρά (γάμοι, γιορτές), τη λύπη (κηδείες), την προσευχή, ή κάποιο κίνδυνο (ανάγκη συγκέντρωσης λόγω έλευσης του εχθρού). Με αυτόν τον τρόπο, ο ήχος της καμπάνας συνδέει τα πρόσωπα της κοινότητας σε ένα κοινό βίωμα [10],[11].

Βιβλιογραφία

- [1] Won, C.-S., Jung, J. P., Won, K.-S., & Sharma, A. (2022). *Technological Insights into the Evolution of Bronze Bell Metal Casting on the Korean Peninsula*. Metals, 12(11), 1776.
- [2] Debut, V., Carvalho, M., Figueiredo, E., Antunes, J., & Silva, R. (2015). *The sound of bronze: Virtual resurrection of a broken medieval bell*. Journal of Cultural Heritage, 16(3), 378–384.
- [3] Moffatt, W. G. (1984). *The Handbook of Binary Phase Diagrams*. Genium Publishing Corporation.
- [4] Boyer, H. E. (2013). Heat Treating of Nonferrous Alloys. *Metallography, Microstructure and Analysis*, 2, 190–195..
- [5] Audy, J., Krejčí, J., Dluhos, J., & Brožek, M. (2008). Analysis of Bell Materials: Tin Bronzes.
- [6] Ren, X., Zhang, Y., Liu, H., Wang, L., Zhao, Y. (2019). Effect of phosphorus content on microstructure and wear properties of copper alloys. *RSC Advances*, 9(52), 30000–30008.
- [7] Scott, D. A. (2002). *Copper and Bronze in Art: Corrosion, Colorants, Conservation*. Los Angeles: Getty Conservation Institute. Chapter: Corrosion of Copper and Copper Alloys, pp. 87–120.
- [8] Kareem, S. A., Al-Amieri, A. A., Kadhum, A. A. H., Mohamad, A. B. (2016). Corrosion behavior of bronze alloys: A review. *International Journal of Corrosion*, 2016, 1–13.
- [9] Sease, C. (1978). Benzotriazole: A review for conservators. *Studies in Conservation*, 23(2), 76–85.
- [10] Χ. Παπαδόπουλος. Οι καμπάνες της Εκκλησίας: Ιστορία, εξέλιξη και συμβολισμός. Ορθόδοξοι Ορίζοντες. https://orthodoxoiorizontes.gr/Theologika_keimena/Keimena_lerewn_kai_Arxierewn/Oi_kampanes_ths_Ekklhsias_istoria_ekseliksh_kai_symbolismos.htm
- [11] Nanascent. (2025). Η σημασία των ήχων και ο συμβολισμός της καμπάνας. <https://nanascent.gr/kai-tora-ti-kanoume/isimasia-ton-ichon-kai-o-symvolismos-tis-kampanas/5593/>

ΔΕΛΤΙΟ ΤΥΠΟΥ

Τρία χάλκινα μετάλλια και μία εύφημο μνεία για την Ελληνική Ολυμπιακή Ομάδα Χημείας



Με ιδιαίτερη χαρά και υπερηφάνεια, η **Ένωση Ελλήνων Χημικών** ανακοινώνει τη σημαντική διάκριση της Ελληνικής Ολυμπιακής Ομάδας στη **58η Διεθνή Ολυμπιάδα Χημείας**.

Οι τέσσερις μαθητές που εκπροσώπησαν τη χώρα μας διακρίθηκαν όλοι στη διοργάνωση, επιτυγχάνοντας ένα εξαιρετικό αποτέλεσμα:

- **ΓΙΑΝΝΟΥΛΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**, μαθητής Γ΄ Λυκείου — **χάλκινο μετάλλιο**
- **ΚΑΡΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**, μαθητής Γ΄ Λυκείου — **χάλκινο μετάλλιο**
- **ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**, μαθητής Γ΄ Λυκείου — **χάλκινο μετάλλιο**
- **ΒΛΑΧΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**, μαθητής Β΄ Λυκείου — **εύφημο μνεία**

Η επιτυχία αυτή αποτελεί δικαίωση της επίμονης προσπάθειας, της συστηματικής μελέτης και της αφοσίωσης των μαθητών. Σε έναν διεθνή διαγωνισμό ιδιαίτερα υψηλών απαιτήσεων, ανταποκρίθηκαν με επάρκεια σε σύνθετα θεωρητικά και εργαστηριακά προβλήματα και εκπροσώπησαν επάξια τη χώρα μας.

Η Ένωση Ελλήνων Χημικών απευθύνει στους τέσσερις μαθητές και στις οικογένειές τους, **θερμά συγχαρητήρια**. Οι διακρίσεις αυτές αποτελούν έμπρακτη επιβράβευση της αγάπης των μαθητών για τη Χημεία, της συστηματικής προσπάθειας, της εργατικότητας και της επιστημονικής τους συγκρότησης.

• Από τον 39ο Πανελλήνιο Μαθητικό Διαγωνισμό Χημείας στη διεθνή διοργάνωση

Η πορεία των μαθητών προς τη Διεθνή Ολυμπιάδα Χημείας ξεκίνησε με τη διάκρισή τους στον **39ο Πανελλήνιο Μαθητικό Διαγωνισμό Χημείας**. Στη συνέχεια, ύστερα από ειδική εξεταστική διαδικασία στο τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ, επιλέχθηκαν ως μέλη της Ελληνικής Ολυμπιακής Ομάδας Χημείας. Ο Πανελλήνιος Μαθητικός Διαγωνισμός Χημείας αποτελεί έναν θεσμό με ιδιαίτερη εκπαιδευτική και επιστημονική αξία. Προσφέρει σε μαθητές και μαθήτριες από όλη τη χώρα την ευκαιρία να αξιοποιήσουν και να διευρύνουν τις γνώσεις τους, να καλλιεργήσουν την επιστημονική τους σκέψη και να αναπτύξουν βαθύτερο ενδιαφέρον για τη Χημεία. Η φετινή επιτυχία αναδεικνύει για ακόμη μία φορά τη σημασία της

οργανωμένης προετοιμασίας, της επιστημονικής συνέπειας και της συνεργασίας όλων όσοι στηρίζουν τον διαγωνισμό και την Ολυμπιακή Ομάδα.

- **Μια συλλογική προσπάθεια με επίκεντρο τους μαθητές**

Πίσω από την επιτυχία των μαθητών βρίσκεται μια ευρύτερη ομάδα ανθρώπων, οι οποίοι συνέβαλαν με επιστημονική επάρκεια, υπευθυνότητα και εθελοντική προσφορά στην οργάνωση του διαγωνισμού, στην επιλογή της ομάδας και στην προετοιμασία της.

Η Ένωση Ελλήνων Χημικών θεωρεί ιδιαίτερα σημαντικό να αναγνωρίσει τη συμβολή όλων όσοι υποστήριξαν αυτή την προσπάθεια.

- **Τμήμα Παιδείας και Χημικής Εκπαίδευσης της Ε.Ε.Χ.**

Καθοριστικός είναι ο ρόλος του **Τμήματος Παιδείας και Χημικής Εκπαίδευσης της Ένωσης Ελλήνων Χημικών**, το οποίο έχει την ευθύνη για τον σχεδιασμό, την οργάνωση και την υλοποίηση του Πανελληνίου Μαθητικού Διαγωνισμού Χημείας, καθώς και για τον συντονισμό των διαδικασιών που συνδέονται με τη συμμετοχή της χώρας στη Διεθνή Ολυμπιάδα Χημείας.

Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει στους Προέδρους των δύο Επιτροπών του 39ου Πανελληνίου Μαθητικού Διαγωνισμού Χημείας:

- **Θεοδώρου Ανέστης**, Πρόεδρος του Τμήματος Παιδείας και Χημικής Εκπαίδευσης και Πρόεδρος της Επιστημονικής Επιτροπής του 39ου ΠΜΔΧ
- **Κωστόπουλος Λεωνίδας**, Πρόεδρος της Οργανωτικής Επιτροπής του 39ου ΠΜΔΧ

Η Ένωση Ελλήνων Χημικών ευχαριστεί επίσης όλα τα μέλη της Επιστημονικής και της Οργανωτικής Επιτροπής, τα οποία εργάστηκαν για την επιστημονική αρτιότητα, την αξιοπιστία και την ομαλή διεξαγωγή του διαγωνισμού.

- **Εκπαίδευση και προετοιμασία από το Τμήμα Χημείας του ΕΚΠΑ**

Ιδιαίτερα σημαντική υπήρξε η συμβολή του επιστημονικού προσωπικού του **Τμήματος Χημείας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών**, το οποίο ανέλαβε την εκπαίδευση και την προετοιμασία των μαθητών για τις υψηλές απαιτήσεις της Διεθνούς Ολυμπιάδας Χημείας.

Στην εκπαιδευτική και επιστημονική προετοιμασία συμμετείχαν οι:

- **Μεθενίτης Κωνσταντίνος**, Αναπληρωτής Καθηγητής
- **Ψαρουδάκης Νικόλαος**, Επίκουρος Καθηγητής
- **Τσουρέας Νικόλαος**, Επίκουρος Καθηγητής
- **Ευθυμιάδου Ελένη**, Καθηγήτρια
- **Μορές Ανδρέας**, μέλος ΕΔΙΠ
- **Ζαρκαδούλης Αθανάσιος**, Δρ. Χημικός, Επιστημονικός Συνεργάτης ΕΚΠΑ
- **Φουντής Ιωάννης** μέλος ΕΤΕΠ

Επίσης οι διακριθέντες με μετάλλιο σε προηγούμενες Ολυμπιάδες Χημείας και φοιτητές του Τμήματος Χημείας:

- **Μυλωνόπουλος Στέφανος-Ραφαήλ** (Χάλκινο μετάλλιο IChO 2024)
- **Γεωργελάς Δημήτριος** (Χάλκινο μετάλλιο IChO 2023)

Η επιστημονική τους καθοδήγηση, η συστηματική διδασκαλία και η ουσιαστική υποστήριξη των μαθητών αποτέλεσαν βασικά στοιχεία της προετοιμασίας τους.

- **Οι μέντορες της Ολυμπιακής Ομάδας**

Θερμές ευχαριστίες απευθύνονται στους δύο μέντορες της Ελληνικής Ολυμπιακής Ομάδας: **Ψαρουδάκης Νίκος** και **Δαζέας Ανδρέας**.

Οι μέντορες είχαν την ευθύνη της επιστημονικής και οργανωτικής υποστήριξης της ομάδας κατά τη διεθνή διοργάνωση και στάθηκαν δίπλα στους μαθητές σε όλη τη διάρκεια αυτής της απαιτητικής εμπειρίας.

Θερμά συγχαρητήρια σε όλους!

Με ιδιαίτερη επιτυχία πραγματοποιήθηκε το 9ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας – ECOMAC 2026 (www.ecomac.gr)

Με ιδιαίτερη επιτυχία ολοκληρώθηκαν οι εργασίες του 9ου Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας (ECOMAC 2026), το οποίο πραγματοποιήθηκε στις 8-10 Μαΐου 2026 στο Κέντρο Διάδοσης Ερευνητικών Αποτελεσμάτων (ΚΕΔΕΑ) του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Το συνέδριο συνδιοργανώθηκε από το Περιφερειακό Τμήμα Κεντρικής & Δυτικής Μακεδονίας της Ένωσης Ελλήνων Χημικών (ΠΤΚΔΜ-ΕΕΧ), το Τμήμα Χημείας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και τον Σύνδεσμο Χημικών Βορείου Ελλάδος (ΣΧΒΕ), αποτελώντας μία από τις σημαντικότερες επιστημονικές συναντήσεις στον χώρο της περιβαλλοντικής επιστήμης και τεχνολογίας στη Βόρεια Ελλάδα.

Το ECOMAC 2026 συγκέντρωσε περισσότερους από 250 συνέδρους από την Ελλάδα και την Κύπρο, μεταξύ των οποίων πανεπιστημιακούς, ερευνητές, χημικούς, μηχανικούς, περιβαλλοντολόγους, στελέχη δημόσιων και ιδιωτικών φορέων, καθώς και μεγάλο αριθμό νέων επιστημόνων, υποψήφιων διδασκόντων και φοιτητών. Η ιδιαίτερα υψηλή συμμετοχή επιβεβαίωσε για ακόμη μία φορά τη δυναμική του θεσμού και την ανάγκη για ουσιαστικό επιστημονικό διάλογο γύρω από τις σύγχρονες περιβαλλοντικές προκλήσεις.

Την έναρξη του συνεδρίου τίμησαν με την παρουσία και τον χαιρετισμό τους ο Υφυπουργός Παιδείας κ. Νικόλαος Παπαϊωάννου, ο Αντιπεριφερειάρχης Ψηφιακής Διακυβέρνησης της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας και συνάδελφος χημικός κ. Νικόλαος Τζόλης, ο Αντιπεριφερειάρχης Περιβάλλοντος κ. Ευστάθιος Αβραμίδης, ο Πρόεδρος της Ένωσης Ελλήνων Χημικών κ. Αθανάσιος Παπαδόπουλος, ο Πρόεδρος του ΠΤΚΔΜ-ΕΕΧ κ. Βασίλειος Κουλός, ο Πρόεδρος του Συνδέσμου Χημικών Βορείου Ελλάδος κ. Ιωάννης Λυκάκης, ο Κοσμήτορας της Σχολής Θετικών Επιστημών του ΑΠΘ κ. Νικόλαος Καντηράνης και ο Πρόεδρος του Τμήματος Χημείας του ΑΠΘ κ. Θεόδωρος Καραπάντσιος.

Το επιστημονικό πρόγραμμα περιλάμβανε 79 προφορικές ανακοινώσεις και 89 αναρτημένες εργασίες (posters), καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, όπως η προστασία του περιβάλλοντος, η πράσινη και βιώσιμη χημεία, οι τεχνολογίες απορρύπανσης, η κυκλική οικονομία, η επεξεργασία νερού και αποβλήτων, τα προηγμένα υλικά, οι ενεργειακές τεχνολογίες, καθώς και η περιβαλλοντική εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση.

Ξεχωριστή θέση στο πρόγραμμα κατείχαν οι κεντρικές ομιλίες, οι οποίες ανέδειξαν κρίσιμα επιστημονικά και κοινωνικά ζητήματα. Οι συμμετέχοντες είχαν την ευκαιρία να παρακολουθήσουν διαλέξεις που αφορούσαν τη λειψυδρία και τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων, τα μικρο- και νανοϋλικά στο περιβάλλον, τη διαχείριση υδάτων και αποβλήτων, τις τεχνολογίες υδρογόνου, την ανάπτυξη καινοτόμων προσροφητικών υλικών για την απορρύπανση, καθώς και σύγχρονες φυσικές λύσεις για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

Το υψηλό επιστημονικό επίπεδο του συνεδρίου ενισχύθηκε περαιτέρω από τις προσκεκλημένες ομιλίες διακεκριμένων επιστημόνων από πανεπιστήμια, ερευνητικά ιδρύματα και ερευνητικά κέντρα της Ελλάδας και του εξωτερικού. Οι παρουσιάσεις κάλυψαν σύγχρονες ερευνητικές εξελίξεις στην περιβαλλοντική χημεία, τα λειτουργικά και νανοδομημένα υλικά, τις τεχνολογίες καθαρισμού νερού, την περιβαλλοντική ανάλυση, τις διεργασίες απορρύπανσης και τις προηγμένες τεχνολογίες βιώσιμης ανάπτυξης, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην ανταλλαγή γνώσεων και στην ανάπτυξη νέων επιστημονικών συνεργασιών.

Στο πλαίσιο του συνεδρίου πραγματοποιήθηκε επίσης τιμητική βράβευση του κ. Κώστα Νικολάου, σε αναγνώριση της πολυετούς και καθοριστικής συμβολής του στη δημιουργία, καθιέρωση και διαχρονική ανάπτυξη του θεσμού των Περιβαλλοντικών Συνεδρίων Μακεδονίας.





Η επιτυχία του ECOMAC 2026 αποτυπώθηκε όχι μόνο στη μεγάλη συμμετοχή και στην εξαιρετική ποιότητα των επιστημονικών παρουσιάσεων, αλλά και στην ενεργή παρουσία της ακαδημαϊκής κοινότητας, των δημόσιων φορέων, της βιομηχανίας και των νέων επιστημόνων, επιβεβαιώνοντας τον ρόλο του συνεδρίου ως σημείου συνάντησης της έρευνας, της καινοτομίας και της εφαρμοσμένης περιβαλλοντικής επιστήμης.

Οι συντονιστές του συνεδρίου, Δημήτριος Γιαννακουδάκης και Ιωάννης Λυκάκης, εκφράζουν τις θερμές τους ευχαριστίες προς όλους τους συμμετέχοντες, τους κεντρικούς και προσκεκλημένους ομιλητές, τους προέδρους των συνεδρίων, τους συγγραφείς των εργασιών, τα μέλη της Οργανωτικής και της Επιστημονικής Επιτροπής, καθώς και τη Γραμματεία του συνεδρίου, για την ουσιαστική συμβολή τους στην επιτυχή διοργάνωση.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνονται στους χορηγούς Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, Ελληνικός Χρυσός, ΕΛΤΕΚ, Πήγασος, ΕΡΑ (Member of SGS Group), Metrolab, Target Analysis και ΕΥΑΘ, καθώς και στους υποστηρικτές Επιτροπή Ερευνών ΑΠΘ, Κοσμητεία Σχολής Θετικών Επιστημών ΑΠΘ και το περιοδικό Sustainable Chemistry (MDPI), των οποίων η πολύτιμη υποστήριξη συνέβαλε καθοριστικά στην επιτυχία του συνεδρίου.

Το ECOMAC 2026 επιβεβαίωσε ότι ο θεσμός των Περιβαλλοντικών Συνεδρίων Μακεδονίας συνεχίζει να εξελίσσεται δυναμικά, αποτελώντας ένα καθιερωμένο επιστημονικό βήμα ανταλλαγής γνώσεων, παρουσίασης καινοτόμου έρευνας και ανάπτυξης συνεργασιών, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην προώθηση της περιβαλλοντικής επιστήμης και της βιώσιμης ανάπτυξης στην Ελλάδα. Με την επιτυχή ολοκλήρωση της 9ης διοργάνωσης, ανανεώνεται το ραντεβού της επιστημονικής κοινότητας για το 10ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας (ECOMAC 2028), με στόχο τη συνέχιση και περαιτέρω ενίσχυση ενός θεσμού που εδώ και χρόνια προάγει την επιστημονική γνώση, τη συνεργασία και τον διάλογο για το περιβάλλον.

Κεντρικές και Προσκεκλημένες Ομιλίες του ECOMAC 2026

Ιδιαίτερη βαρύτητα στο επιστημονικό πρόγραμμα του 9ου Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας (ECOMAC 2026) είχαν οι κεντρικές και προσκεκλημένες ομιλίες, οι οποίες κάλυψαν ένα ευρύ φάσμα σύγχρονων θεμάτων της περιβαλλοντικής επιστήμης, της πράσινης χημείας, των τεχνολογιών απορρύπανσης, της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης.

Τις κεντρικές ομιλίες πραγματοποίησαν ο Καθηγητής Ιωάννης Κατσογιάννης (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης), με θέμα «Η λειψυδρία στην Ελλάδα και την Ευρώπη: επιπτώσεις στην κοινωνία και την οικονομία και προτάσεις για αντιμετώπισή της», η Καθηγήτρια Δημητρούλα Λαμπροπούλου (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης), με θέμα «Μικροπλαστικά και ναυοπλαστικά ως φορείς μεταφοράς οργανικών ρύπων στο περιβάλλον», ο Καθηγητής Ιωάννης Καλαβρουζιώτης (Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο), με θέμα «Νερό – Απόβλητα – Περιβάλλον: Προκλήσεις και Κίνδυνοι», ο Διευθυντής Ερευνών Παναγιώτης Γραμμέλης (ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ), με θέμα «Κόμβος Καινοτομίας Υδρογόνου στη Δυτική Μακεδονία», ο Καθηγητής Γιώργος Κύζας (Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης), με θέμα «Καινοτόμα προσροφητικά υλικά για την απορρύπανση συνθετικών υγρών αποβλήτων», ο Αναπληρωτής Καθηγητής Αλέξανδρος Στεφανάκης (Πολυτεχνείο Κρήτης), με θέμα «Διαχείριση υγρών αποβλήτων με την πράσινη τεχνολογία των τεχνητών υδροβιότοπων: παραδείγματα, εφαρμογές και η ευκαιρία για την Ελλάδα», ο Καθηγητής Ιωάννης Κωνσταντίνου (Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων), με θέμα «Φωτοκαταλύτες γραφίτικού νιτρίδιου του άνθρακα (g-C₃N₄) για εφαρμογές περιβαλλοντικής αποκατάστασης», καθώς και ο Διευθυντής Ερευνών Ανδρέας Παναγόπουλος (ΕΛΓΟ «ΔΗΜΗΤΡΑ»), με θέμα «Ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή: μπορούν οι λύσεις που βασίζονται στη φύση να υποστηρίξουν την προστασία και αναβάθμιση του περιβάλλοντος;».

Το πρόγραμμα πλαισιώθηκε από δεκαοκτώ προσκεκλημένες ομιλίες διακεκριμένων επιστημόνων από πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα της Ελλάδας και του εξωτερικού. Ειδικότερα, ο Αγάπιος Αγαπίου (Πανεπιστήμιο Κύπρου) παρουσίασε τη χρήση πράσινων μικροεκυλιστικών τεχνικών για την αποκωδικοποίηση των εκπομπών του εδάφους, ο Μιχάλης Αρκάς

(ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος») ανέπτυξε σύνθετα νανοϋλικά για την καταλυτική και προσροφητική απομάκρυνση τοξικών αερίων πολέμου, ενώ η Δήμητρα Βουτσά (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης) αναφέρθηκε στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα του πόσιμου νερού.

Ο Ζήσης Βρύζας παρουσίασε τις νέες τάσεις στην αξιολόγηση της επικινδυνότητας των γεωργικών φαρμάκων, ο Σάββας Μ. Γενίσαρης ανέδειξε τον ρόλο της οικολογίας του πηλαγτού στη διαμόρφωση της θαλάσσιας περιβαλλοντικής πολιτικής, ενώ ο Πέτρος Γκίζης παρουσίασε φωτοχημικούς μετασχηματισμούς με χρήση γραφιτικού νιτρίδιου του άνθρακα ως φωτοκαταλύτη. Η Ευαγγελία Γκόλια αναφέρθηκε στις επιπτώσεις των μικροπλαστικών στην υγεία του εδάφους, ο Σωτήρης Ευγενίδης στη γεωλογική αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα στον ταμιευτήρα του Πρίνου και ο Κωνσταντίνος Κακοσίμος στις επιπτώσεις των αερομεταφερόμενων σωματιδιακών και χημικών μιγμάτων στη δημόσια υγεία και την επισιτιστική ασφάλεια.

Ακολούθησαν οι παρουσιάσεις του Νικόλαου Κώστογλου (Ιδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας), σχετικά με την ανάπτυξη ναυοπορωδών ανθράκων από απορρίμματα πρωινού για εφαρμογές αποθήκευσης υδρογόνου, του Βασίλειου Μπίνα, ο οποίος ανέπτυξε τις δυνατότητες της φωτοκατάλυσης για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, της Φωτεινής Νόλη, που παρουσίασε αποτελέσματα σχετικά με τη ραδιολογική και χημική ρύπανση στον Κόλπο της Καβάλας, καθώς και της Μαρίας Πεταλά, η οποία ανέδειξε τον ρόλο της επιδημιολογίας λυμάτων στο πλαίσιο της προσέγγισης One Health.

Το πρόγραμμα ολοκληρώθηκε με τις διαλέξεις του Κωνσταντίνου Πλάκα (ΕΚΕΤΑ) σχετικά με αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας αστικών λυμάτων, του Κλάους Ρέμπχολτς (Πανεπιστήμιο Κύπρου) για την αξιοποίηση ανακυκλωμένων υλικών στην ανάπτυξη οικολογικών θερμομονωτικών κονιαμάτων, του Μιχάλη Τερζίδη (Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος) για τις επιδράσεις των περιβαλλοντικών ρύπων στο DNA και το RNA, της Αθανασίας Τόλκου (Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης) για νέου τύπου κροκιδωτικά υλικά επεξεργασίας νερού και υγρών αποβλήτων και του Ζαχαρία Φροντιστή (Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας), ο οποίος ανέπτυξε τον ρόλο της υδατικής μήτρας στις προηγμένες διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Οι κεντρικές και προσκεκλημένες ομιλίες ανέδειξαν τις σημαντικότερες σύγχρονες εξελίξεις στην περιβαλλοντική έρευνα και τεχνολογία, ενίσχυσαν τον επιστημονικό διάλογο και συνέβαλαν ουσιαστικά στην ανταλλαγή γνώσεων και εμπειριών μεταξύ της ακαδημαϊκής κοινότητας, των ερευνητικών φορέων, της βιομηχανίας και των νέων επιστημόνων, επιβεβαιώνοντας το υψηλό επιστημονικό επίπεδο του ECOMAC 2026.

Ηράκλειο, 23.05.2026

Δελτίο Τύπου

Απολογισμός Εκπαιδευτικών Δράσεων Ευρωπαϊκά Μπλε Σχολεία- EUBlueSchools|Μάιος 2026

Στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Εκπαιδευτικού Μοντέλου «Μπλε Σχολεία – EUBlueSchools», συνεχίζονται οι εκπαιδευτικές δράσεις σε σχολικές μονάδες Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης της Περιφέρειας Κρήτης καθώς και δράσεις στο πεδίο. Οι δράσεις υλοποιούνται με τη συμμετοχή και τον συντονισμό Χημικών – Εκπαιδευτικών, καθώς και εκπαιδευτικών άλλων ειδικοτήτων των Φυσικών Επιστημών.

Η Ένωση Ελλήνων Χημικών – Περιφερειακό Τμήμα Κρήτης συμβάλλει ουσιαστικά στην υλοποίηση του προγράμματος, παρέχοντας πέντε (5) σετ ημιποσοτικής χημικής ανάλυσης (test kits), ενώ παράλληλα λειτουργεί ως φορέας διάχυσης και ενίσχυσής του. Το πρόγραμμα εφαρμόστηκε σε δεκαεπτά (17) σχολικές μονάδες της Περιφέρειας Κρήτης για το σχολικό έτος 2025–26.

19η Εκπαιδευτική Δράση (7 @ 11 Μαΐου 2026)



Οι μαθητές και οι μαθήτριες της Α' Λυκείου του Πρότυπου ΕΠΑΛ Ακρωτηρίου συμμετέχουν στο έργο «Marine Pollution in the Coastal Area of Chania: An Inquiry-Based Approach to Ocean Literacy and Sustainable Action» στο πλαίσιο του προγράμματος EU Blue Schools, υπό τον συντονισμό της Χημικού Νεκταρίας Αρχοντάκη και του Φυσικού Ιωάννη Ποιμενίδη. Πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις μετρήσεων NH_4/NH_3 , NO_2 , NO_3 , PO_4 και Cl σε δείγματα θαλασσινού νερού της Δυτικής Κρήτης. Στο Παλιό Λιμάνι Χανίων (7/5/2026), καταγράφηκε αυξημένη παρουσία νιτρικών, πιθανόν λόγω αστικών λυμάτων και της έντονης τουριστικής δραστηριότητας της περιοχής. Στην παραλία Αγίου Ονουφρίου (11/5/2026), οι μετρήσεις έδειξαν χαμηλά φωσφορικά και μέτρια παρουσία αζωτούχων ενώσεων, επίπεδα φυσιολογικά για παράκτιο περιβάλλον, χωρίς έντονη ρύπανση ή ευτροφισμό. Η δράση βοήθησε τους μαθητές/τριες να γνωρίσουν βιωματικά τις μεθόδους παρακολούθησης της θαλάσσιας ρύπανσης και τη σημασία της προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

20η Εκπαιδευτική Δράση (9 Μαΐου 2026)

Το Πρότυπο Επαγγελματικό Λύκειο Ακρωτηρίου, στο πλαίσιο του έργου: “Marine Pollution in the Coastal Area of Chania: An Inquiry-Based Approach to Ocean Literacy and Sustainable Action” για τα Ευρωπαϊκά Μπλε Σχολεία και υπό τον συντονισμό της Χημικού-Εκπαιδευτικού, Νεκταρία Αρχοντάκη, συμμετείχε με την ομάδα Chem Glass Art και τη δράση «Χρονοστιγμές» στη Γιορτή Φυσικών Επιστημών του ΕΚΦΕ Χανίων, με την υποστήριξη της Ένωσης Ελλήνων Χημικών – Περιφερειακό Τμήμα Κρήτης. Στόχος της δράσης ήταν να συνδυαστούν η Χημεία, η τέχνη και ο χρόνος. Μέσα από τη χημική αντίδραση πολυμερισμού, οι μαθητές/τριες «εγκλωβίσαν» άνθη, φύλλα, κοχύλια, συναισθήματα και αναμνήσεις σε δημιουργίες από υγρό γυαλί, φτιάχνοντας ένα σύγχρονο φυτολόγιο. Δημιούργησαν κοσμήματα, σελιδοδείκτες, σκουλαρίκια και σουβέρ, δίνοντας στις στιγμές όλων μια μικρή αίσθηση διαχρονικότητας.



21η Εκπαιδευτική Δράση (8–10 Μαΐου 2026)

Συμμετοχή και παρουσίαση των έργων «Ευρωπαϊκά Μπλε Σχολεία» στο 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Π.Ε.ΕΚ.Π.Ε.: «Η Περιβαλλοντική Εκπαίδευση για την Αειφορία στο σχολείο του 21ου αιώνα: Διαδρομές- μεταποίσεις- μετασχηματισμοί», που πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Γάλλου στο Ρέθυμνο στις 8–10 Μαΐου 2026. Στις 9 Μαΐου 2026 πραγματοποιήθηκε η παρουσίαση του έργου Geropotamos Blue με τίτλο «Μπλε Σχολεία: Γεροπόταμος. Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα Μελέτης Βιοποικιλότητας του Οικοσυστήματος και Ποιότητας Νερού» από τη συγγραφική ομάδα των Καλλιόπη Γιαννίου και Καλλιόπη Κουγιανού.

Στις 10 Μαΐου 2026 πραγματοποιήθηκε η παρουσίαση του έργου BLEBeach με τίτλο «BLEBeach: Ανακαλύπτοντας τη Γαλάζια Σημαία-Εκπαιδευτική Επίσκεψη στην Παραλία προς Πιστοποίηση» από τη συγγραφική ομάδα των Κατερίνα Βαβουράκη, Κατερίνα Μαζοκοπάκη, Γεωργία Δελήμπαση, Ευφροσύνη Περαντωνάκη και Φιλία Αλυγίζου.

Κατά τη διάρκεια των ευχαριστιών έγινε ιδιαίτερη αναφορά στην Ένωση Ελλήνων Χημικών - Περιφερειακό Τμήμα Κρήτης για τη χορηγία πέντε test kits χημικής ανάλυσης ιόντων σε δείγματα νερού, τα οποία αξιοποιήθηκαν στο πλαίσιο των εκπαιδευτικών δράσεων.



22η Εκπαιδευτική Δράση (16–17 Μαΐου 2026)



Τα έργα BLEBeach και BLUEEXPERIMENT του προγράμματος «Ευρωπαϊκά Μπλε Σχολεία» (EUBlueSchools) συμμετείχαν στη Γιορτή Φυσικών Επιστημών 2026, που διοργανώθηκε από το ΕΚΦΕ Ρεθύμνου στο Σπίτι του Πολιτισμού, με θεματικό άξονα «Τέχνη και Επιστήμη». Η εκδήλωση περιλάμβανε παρουσιάσεις και πειράματα από μαθητές και μαθήτριες Γυμνασίου και Λυκείου, αναδεικνύοντας τη δημιουργική σύνδεση των φυσικών επιστημών με την καλλιτεχνική έκφραση.

Το 4ο ΓΕΛ Ρεθύμνου (Αρσάνιο Λύκειο) παρουσίασε το θέμα «Χρώματα της Θάλασσας: Η Χημεία συναντά την Τέχνη μέσα από Φυσικές Χρωστικές» υπό την καθοδήγηση και τον συντονισμό των Χημικών Εκπαιδευσης Φιλίας Αλυγίζου και Κατερίνας Βαβουράκη. Μέσα από φυσικά υλικά της θάλασσας, όπως κοχύλια, φύκια, θαλασσινό νερό και κρυ-



στάλλους αλατιού, NaCl , οι μαθητές/τριες διερεύνησαν τη δημιουργία φυσικών χρωμάτων και τη σύνδεση της Χημείας με την καλλιτεχνική δημιουργία. Επίσης, το 3ο ΓΕΛ Ρεθύμνου παρουσίασε το θέμα «Φυσικά Υλικά της Θάλασσας: Χημική Σύνθεση και Καλλιτεχνική Έκφραση» υπό την καθοδήγηση και τον συντονισμό των Χημικών Εκπαίδευσης Χριστίνας Ντέντε και Κατερίνας Βαβουράκη. Μέσα από τη μελέτη φυσικών υλικών της θάλασσας, οι μαθητές/τριες διερεύνησαν βασικές χημικές ιδιότητες και τη σύνδεσή τους με την τέχνη και τη δημιουργική έκφραση. Το έργο BLEBeach υλοποιήθηκε και στις δύο σχολικές μονάδες. Στο πλαίσιο του έργου BLUE EXPERIMENT, το Πειραματικό Γυμνάσιο Ρεθύμνου παρουσίασε τη δράση «Το Εργαστήριο των Χρωμάτων», μέσα από δραστηριότητες και πειράματα σχετικά με φυσικούς δείκτες και τις μεταβολές των χρωμάτων σε διαφορετικά διαλύματα της καθημερινής ζωής υπό τον συντονισμό της Ζαχαρένιας Τσιριντάνη, Χημικού Μηχανικού και εκπαιδευτικού.

23η Εκπαιδευτική Δράση (12@20 Μαΐου 2026)

Στο πλαίσιο του έργου Geropotamos Blue – EU Blue Schools: «Ρέοντας μαζί για ένα γαλάζιο αύριο», με συντονίστριες την Πόπη Γιαννιού, Γεωλόγο και την Δρ. Κάλια Κουγιανού, Χημικό, που υλοποιείται στο Γυμνάσιο Περάματος Μυλοποτάμου (Ρέθυμνο), κατασκευάστηκε και τοποθετήθηκε στις 12/05/2026 ενημερωτική πινακίδα στον επαρχιακό δρόμο Περάματος – Πανόρμου, με την ευγενική χορηγία του κ. Μάρκου Κλάδου.

Η τοποθέτησή της πραγματοποιήθηκε με άδεια του Δήμου Μυλοποτάμου και τη συνεργασία του κ. Δημήτρη Μιχόπουλου, Αντιδημάρχου Παιδείας του Δήμου Μυλοποτάμου.

Επιπλέον, την Τετάρτη 20 Μαΐου 2026 πραγματοποιήθηκε εκδήλωση παρουσίασης του έργου Geropotamos Blue παρουσία τοπικών φορέων και εκπροσώπων της κοινωνίας του Δήμου Μυλοποτάμου, αναδεικνύοντας τη σημασία της συνεργασίας σχολείου και τοπικής κοινότητας για την προστασία και ανάδειξη του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής, όπως είναι ο υδροβιότοπος του Γεροπόταμου Ρεθύμνου. Ολοκληρώνοντας την ομιλία, εκφράστηκαν θερμές ευχαριστίες προς την Ένωση Ελλήνων Χημικών – Π.Τ. Κρήτης για τη διάθεση των κιτ που χρησιμοποιήθηκαν στις χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην υλοποίηση των δράσεων του έργου.



Συνολικά, δεκαέξι (16) εκπαιδευτικά έργα υλοποιήθηκαν σε δεκαεπτά (17) σχολικές μονάδες της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, ενώ έχουν πραγματοποιηθεί περισσότερες από εξήντα (60) αναλύσεις δειγμάτων νερού στο πλαίσιο του Δικτύου Ευρωπαϊκών Μπλε Σχολείων.

Τα έργα εντάσσονται στο τοπικό δίκτυο «Μπλε Σχολεία – BLUE25» και υλοποιούνται με τον συντονισμό της Συμβούλου Εκπαίδευσης Δρ. Μαρίας Καλαθάκη, Βιολόγου, και τη στήριξη της Περιφέρειας Κρήτης και της Ένωσης Ελλήνων Χημικών – Π.Τ. Κρήτης.

Οι δράσεις πραγματοποιήθηκαν από τον Οκτώβριο έως και τον Μάιο του σχολικού έτους 2025–26, με τη χρήση ειδικών σετ ημιποσοτικής χημικής ανάλυσης (testkits), τα οποία αποκτήθηκαν μέσω χορηγίας του Περιφερειακού Τμήματος Κρήτης της Ένωσης Ελλήνων Χημικών.

Οι δράσεις ολοκληρώνονται για το σχολικό έτος 2025–26, με στόχο την ενίσχυση του Μπλε εγγραμματισμού και την ευαισθητοποίηση των μαθητών και μαθητριών σχετικά με τη βιωσιμότητα και την προστασία των υδάτινων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Ευελπιστούμε στη συνέχιση των δράσεων για τα Ευρωπαϊκά Μπλε Σχολεία και κατά το προσεχές σχολικό έτος 2026–27.

Σύνταξη:

Δρ. Κατερίνα Βαβουράκη
Χημικός – Εκπαιδευτικός
Ταμίας ΔΕΕΕΧ – ΠΤΚ

