

Ο ρόλος της **Συνθετικής Βιολογίας** στον Οδικό Χάρτη της **Βιοοικονομίας** στην Ελλάδα



Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Βιοοικονομία.....	3
Τι είναι βιοοικονομία.....	3
Η μετάβαση στη βιοοικονομία.....	4
Χώρες με στρατηγικές βιοοικονομίας.....	5
Βιοοικονομία στην Ελλάδα.....	6
Συνθετική Βιολογία	6
Συνθετική βιολογία, κεντρικός ρόλος στους οδικούς χάρτες βιοοικονομίας.....	6
Η κατάσταση στην Ελλάδα.....	9
Ο ρόλος της εκπαίδευσης στην ανάπτυξη γνώσης και συνείδησης συνθετικής βιολογίας.....	9
Ο ρόλος των Ερευνητικών Υποδομών στην προώθηση Εθνικών Στρατηγικών.....	10
Ελληνική Ερευνητική Υποδομή Συνθετικής Βιολογίας OMIC-Engine.....	11
Προοπτικές, βιωσιμότητα, χρηματοδότηση.....	12
Συμπέρασμα.....	13

Περίληψη

Η ανάγκη των χωρών για ανάπτυξη με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, έχει οδηγήσει στην έννοια της βιοοικονομίας και τη χάραξη σχετικών οδικών χαρτών. Με δεδομένη την αλματώδη ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας και της βιοτεχνολογίας τα τελευταία χρόνια, δυναμικές, οραματικές και εμπροσθοβαρείς κοινωνίες θέτουν την Συνθετική Βιολογία (ΣΒ) στο κέντρο των στρατηγικών βιοοικονομίας τους. Η ΣΒ αποτελεί την τελευταία εξέλιξη της βιοτεχνολογίας και αφορά στον επαναπρογραμματισμό και τη σύνθεση βιολογικών συστημάτων τα οποία δεν υφίστανται στη φύση, με στόχο την παραγωγή νέων προϊόντων ή διεργασιών επωφελών για τον άνθρωπο. Οι εφαρμογές της αγγίζουν ένα ευρύτατο φάσμα καθημερινών δραστηριοτήτων και αναγκών, από την απορρύπανση του περιβάλλοντος μέχρι τη δημιουργία νέας γενιάς εμβολίων, όπως τα mRNA εμβόλια για την COVID-19. Η Ελλάδα έχει ένα πολύ πλούσιο και δραστήριο ερευνητικό δυναμικό στη μοριακή βιολογία, μια Ερευνητική Υποδομή ΣΒ, την OMIC-Engine, και νέους φοιτητές που αγκάλιασαν τα πρώτα μαθήματα ΣΒ και βιοοικονομίας στα Πανεπιστήμια και διέπρεψαν σε παγκόσμιους διαγωνισμούς ΣΒ. Εντούτοις, η χώρα μας δεν έχει έναν οδικό χάρτη βιοοικονομίας και η ΣΒ δεν αποτελεί κεντρικό μοχλό ανάπτυξής της, ούτε κατέχει τον αντίστοιχο ρόλο που της αποδίδεται στους οδικούς χάρτες άλλων χωρών. Είναι ανάγκη να αναπτυχθούν μηχανισμοί υποστήριξης της ΣΒ στη χώρα μας ώστε η ΣΒ να τεθεί στο κέντρο της ανάπτυξης της βιοοικονομίας. Είναι ανάγκη να στηριχθούν οι Ερευνητικές Υποδομές ΣΒ, να ενισχυθεί η εκπαίδευση και η «συνείδηση» για τη ΣΒ, να δοθούν κίνητρα για τη δημιουργία εξωστρεφών εταιρειών ΣΒ, ώστε η χώρα μας να αντιμετωπίζει παρούσες και επερχόμενες προκλήσεις με το βλέμμα σε καινοτόμες προσεγγίσεις και επαγγέλματα του μέλλοντος.

Βιοοικονομία

Τι είναι βιοοικονομία.

Η συνειδητοποίηση (1) της ασύμμετρης καταστροφής του περιβάλλοντος από την τρέχουσα οικονομική ανάπτυξη των χωρών η οποία βασίζεται κυρίως στη χρήση ρυπογόνων ορυκτών καυσίμων, (2) της τάσης για βιώσιμες στρατηγικές ανάπτυξης που θα βασίζονται σε φιλικότερες προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας, (3) των δυνατοτήτων των βιοεπιτημών, και ιδιαίτερα της βιοτεχνολογίας, στη βιώσιμη ανάπτυξη, οδήγησαν στην ανάπτυξη της έννοιας της βιοοικονομίας. Υπό ευρεία έννοια, η βιοοικονομία ορίζεται ως η παραγωγή και χρήση ανανεώσιμων βιολογικών πόρων από τα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα (όπως καλλιέργειες, δάση, ψάρια, ζώα και μικροοργανισμοί) για την παραγωγή και παροχή προϊόντων, διαδικασιών και υπηρεσιών σε όλους τους τομείς του εμπορίου και της βιομηχανίας (προϊόντα διατροφής, υγείας, ένδυσης, ενέργειας)

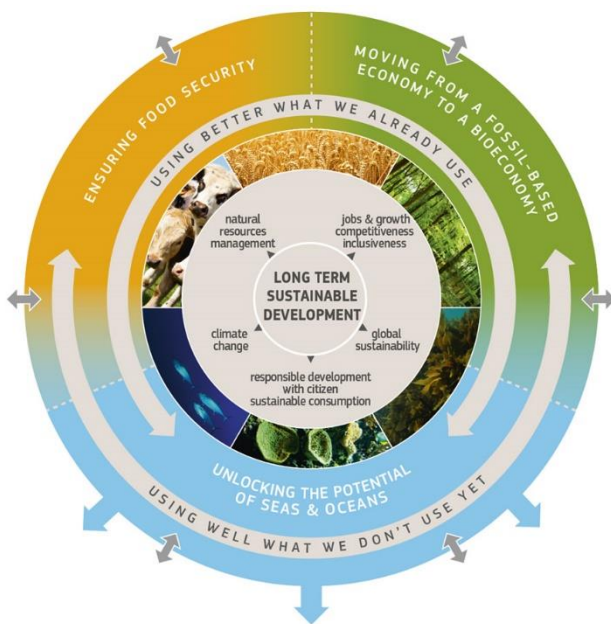
στο πλαίσιο ενός βιώσιμου, κυκλικού οικονομικού συστήματος. Κατά συνέπεια, οι πολιτικές βιοοικονομίας είναι συνυφασμένες με την καινοτομία και τη βιωσιμότητα, καθώς και την οικονομική ανάπτυξη και την απασχόληση.

Ο όρος «βιοοικονομία» έγινε δημοφιλής στα μέσα της πρώτης δεκαετίας του 21^{ου} αιώνα με την υιοθέτησή του από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης ως ατζέντα πολιτικής και πλαίσιο για την προώθηση της βιοτεχνολογίας για την ανάπτυξη νέων προϊόντων, αγορών και εκμετάλλευσης της βιομάζας¹. Από το 2012 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατέστησε σαφές ότι η Ευρώπη πρέπει να κάνει τη μετάβαση σε μια οικονομία απεξαρτημένη από το πετρέλαιο (post-petroleum economy), γεγονός που αποτυπώθηκε και στο πρόγραμμα «Horizon 2020», όπου η βιοοικονομία ήταν στο επίκεντρο του προγράμματος.

¹ Birch, Kean (2019). *Neoliberal Bio-economies? The Co-construction of Markets and Natures*. London: Palgrave Macmillan. pp. 64-67. ISBN 978-3-319-91424-4.

τος αυτού (KBBE, Knowledge Based Bio-Economy). Έκτοτε, ένας αυξανόμενος αριθμός χωρών τόσο στην Ευρώπη αλλά και σε όλο τον κόσμο έχουν δημιουργήσει στοχευμένες στρατηγικές βιοοικονομίας.

Γενικά, οι στρατηγικές βιοοικονομίας που εκδόθηκαν από το 2015 κι εντεύθεν επιδιώκουν την επίτευξη των Στόχων της Βιώσιμης Ανάπτυξης, με βα-



Εικόνα 1 | Οι μελλοντικές μεταβάσεις για τη Βιοοικονομία με στόχο τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2020)

σικό μοχλό την πράσινη ανάπτυξη. Κατά συνέπεια, πολλά έγγραφα αναφέρονται στην «βιώσιμη βιοοικονομία». Ωστόσο, οι ορισμοί και η κατανόηση της βιοοικονομίας εξακολουθούν να διαφέρουν ως προς το πεδίο εφαρμογής και την εστίασή τους. Παράλληλα, αναδύονται νέοι όροι και έννοιες. Στη Φινλανδία και στον Καναδά, για παράδειγμα, έχει οριστεί η έννοια της (βιώσιμης) «βιοοικονομίας με βάση τα δάση». Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η βιοοικονομία έχει συνδεθεί στενά με την έννοια της κυκλικής οικονομίας. Έγγραφα πολιτικής για τη βιοοικονομία σε αγγλοσαξονικές χώρες (όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, τις ΗΠΑ και τη Νέα Ζηλανδία), αλλά και στην Κίνα σχετίζονται πιο έντονα με έννοιες της καινοτομίας υψηλής τεχνολογίας, όπως η συνθετική βιολογία, η ψηφιοποίηση και η προηγμένη βιομηχανοποίηση. Από αυτή την άποψη, ο όρος «εκβιομηχάνιση της βιολογίας» επινοήθηκε, για παράδειγμα, στις Η-

νωμένες Πολιτείες. Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει εκδώσει μια «στρατηγική συνθετικής βιολογίας» και στη Γερμανία όροι όπως η «βιολογικοποίηση της οικονομίας» ή «ο βιολογικός μετασχηματισμός της βιομηχανίας» εμφανίζονται σε έγγραφα πολιτικής. Η έντονη αστικοποίηση και η ασύμμετρη παραγωγή ρύπων θερμοκηπίου στις πόλεις² έχει επίσης αναδείξει τη σημαντικότητα της βιοοικονομίας στα αστικά περιβάλλοντα και την ανάγκη διαμόρφωσης «έξυπνων» πόλεων που είναι βιώσιμες, ανθεκτικές και κλιματικά ουδέτερες³.

Η μετάβαση στη βιοοικονομία.

Το κόστος της μετάβασης στη βιοοικονομία είναι συχνά υψηλό και οι ρυθμοί αργοί⁴. Πρώτον, οι περισσότερες υπάρχουσες βιομηχανικές δραστηριότητες εξειδικεύονται στην αποτελεσματική χρήση πόρων με βάση τα ορυκτά καύσιμα και τα αντίστοιχα συστήματα μεταφορών. Δεύτερον, τα υπάρχοντα ιδρύματα, εγκαταστάσεις και θεσμοί είναι ελάχιστα ευθυγραμμισμένα με τις θεσμικές απαιτήσεις μιας ταχέως αναπτυσσόμενης και καινοτόμου βιοοικονομίας. Τρίτον, πιθανή παραπληροφόρηση ή/και κινδυνολογία σχετικά με τις ιδιότητες των βιο-βασισμένων προϊόντων ή μια υποβάθμιση της βιοοικονομίας ως μια τεχνολογία υψηλού κινδύνου μπορεί να υπονομεύσει την εμπιστοσύνη των καταναλωτών. Η βιοοικονομία επηρεάζει σχεδόν όλους τους τομείς της κοινωνικής ζωής. Αλλάζει αυτό που τρώμε, το πώς ζούμε, πώς κινούμαστε, πώς ντυνόμαστε και πολλά άλλα. Τα πρότυπα κατανάλωσης σε όλους αυτούς τους τομείς είναι βαθιά ριζωμένα στις πολιτιστικές συνήθειες των κοινωνιών και, ως εκ τούτου, είναι εξαιρετικά δύσκολο να αλλάξουν.

Σε αυτό το πλαίσιο, η δημιουργία ενός κατάλληλου πλαισίου διακυβέρνησης που θα είναι ικανό να ξεπεράσει τα διάφορα προβλήματα μετασχηματισμού και απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα αποτελεί μια τεράστια πολιτική πρόκληση για την ανάπτυξη μιας βιώσιμης βιοοικονομίας. Το πρώτο εργαλείο διακυβέρνησης που συζητείται συχνά σε αυτό το πλαίσιο αφορά την εφαρμογή μιας ολοκληρωμένης

² https://ec.europa.eu/knowledge4policy/foresight/topic/continuing-urbanisation/developments-and-forecasts-on-continuing-urbanisation_en
³ <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>

⁴ Bröring S, Baum CM, Butkowski O, Kircher M. Kriterien für den Erfolg der Bioökonomie. In *Bioökonomie für Einsteiger*; Pietsch, J., Ed.; Springer Spektrum: Wiesbaden, Germany, 2017; pp. 161-177. ISBN 9783662537626

στρατηγικής έρευνας και ανάπτυξης για την προώθηση επενδύσεων σε τεχνολογικές καινοτομίες των οποίων το κόστος και οι κίνδυνοι δεν μπορούν να υποστούν ιδιωτικοί φορείς υπό τις δεδομένες συνθήκες⁵. Κατά δεύτερο λόγο, σημαντικό ρόλο έχει η υιοθέτηση μέτρων πολιτικής στήριξης που στοχεύουν στην αύξηση της ανταγωνιστικότητας των βιοβασισόμενων προϊόντων μέσω επιδοτήσεων, δημιουργώντας έτσι μια ιδιαίτερη αγορά για τη βιοοικονομία⁶. Τα μέτρα πολιτικής στήριξης, όπως η δημιουργία ευνοϊκών νομικών πλαισίων, η κρατική υποστήριξη του εργατικού δυναμικού ή η προώθηση των βιομηχανικών ομάδων αποσκοπούν στο να καταστήσουν πιο ελκυστικές για τις εταιρείες τις επενδύσεις στη βιοοικονομία. Αυτή η μορφή πολιτικής υποστήριξης για τη βιοοικονομία περιλαμβάνει επίσης μέτρα για στρατηγικές διεθνείς ερευνητικές συνεργασίες και άμεσες ξένες επενδύσεις. Τέλος, τα κράτη μπορούν να προωθήσουν το μετασχηματισμό προς τη βιοοικονομία σε κοινωνικό επίπεδο μέσω στοχευμένων πολιτικών εκστρατειών αποδοχής της βιοοικονομίας, συμπεριλαμβανομένης της πιο υπεύθυνης και βιώσιμης κατανάλωσης.

Χώρες με στρατηγικές βιοοικονομίας.

Μέχρι σήμερα, περισσότερες από 60 χώρες έχουν αναπτύξει επίσημες στρατηγικές και οδικούς χάρτες για την προώθηση της βιοοικονομίας τους. Για τις χώρες της Ευρώπης, η ΕΕ μπορεί να θεωρηθεί ως ο βασικός μοχλός εθνικών στρατηγικών πολιτικής βιοοικονομίας. Το 2012, η ΕΕ παρουσίασε την πρώτη αφιερωμένη στρατηγική και σχέδιο δράσης για τη βιοοικονομία, «Καινοτομία για βιώσιμη ανάπτυξη: Μια βιοοικονομία για την Ευρώπη»⁷ με έμφαση σε τρεις πυλώνες: (1) επενδύσεις σε δεξιότητες, έρευνα και καινοτομία· (2) συντονισμός της πολιτικής και εμπλοκή με τους ενδιαφερόμενους, και (3) ανάπτυξη και ανταγωνιστικότητα της αγοράς. Η υλοποίηση υποστηρίχθηκε κυρίως μέσω χρηματοδότησης της ΕΕ για την έρευνα και την καινοτομία στο πλαίσιο του

προγράμματος «Ορίζοντας 2020» (Horizon 2014-2020). Η χρηματοδότηση που προοριζόταν για τη βιοοικονομία διπλασιάστηκε σε σχέση με το 7^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο (FP7 2007-2013), από 1,9 σε 3,85 δισεκατομμύρια €, ενώ στο νέο ερευνητικό πρόγραμμα-πλαίσιο «Ορίζοντας Ευρώπη» 2021-2027, έχει προγραμματιστεί σημαντική αύξηση του προϋπολογισμού σε 10 δισεκατομμύρια ευρώ.

Διαφορετικές χώρες εξειδικεύουν τις στρατηγικές τους σύμφωνα με τρία βασικά σημεία: (α) την αντίστοιχη διαθεσιμότητα πόρων τους (π.χ. διαθεσιμότητα ή έλλειψη γεωργικής έκτασης)· (β) ιστορικά πρωτοποριακούς ρόλους σε ειδικούς τομείς τεχνολογίας και έρευνας (π.χ. βιοτεχνολογία)· (γ) ειδικές για κάθε χώρα ανάγκες αλλά και προτεραιότητες που επιλέγουν να εξυπηρετήσουν. Το Ηνωμένο Βασίλειο, για παράδειγμα, αναγνωρίζει τη συνθετική βιολογία ως μία από τις «οκτώ μεγάλες τεχνολογίες» του μέλλοντος, θέτοντάς τη ως βασικό μοχλό ανάπτυξης της βιοοικονομίας (βλέπε επόμενη ενότητα). Αυτό συνδυάστηκε με την παροχή κρίσιμης υποστήριξης για την εφαρμογή της συνθετικής βιολογίας⁸ με σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές και σημαντικά βήματα προς την ανάπτυξη μιας αποτελεσματικά συνδεδεμένης κοινότητας επαγγελματιών και ομάδων συμφερόντων. Στη βιοοικονομία της Πορτογαλίας βασικό ρόλο παίζει η «Εθνική Στρατηγική των Ωκεανών» (2013-2020) και οι σχετιζόμενες δράσεις⁹. Η στρατηγική αυτή περιέχει τρεις βασικούς πυλώνες, ιχθυοκαλλιέργειες, μπλε βιοτεχνολογία και μπλε ενέργεια. Η μπλε βιοτεχνολογία προωθεί την έρευνα και ανάπτυξη της φαρμακευτικής, ιατρικής και καλλυντικής βιομηχανία. Στο βαθμό που η Φινλανδία φιλοξενεί μεγάλες εκτάσεις δασών, στην καρδιά της στρατηγικής της βιοοικονομίας της είναι η βιομηχανία ξύλου¹⁰. Η Γερμανική στρατηγική βιοοικονομίας, από την άλλη, εστιάζει σε εφαρμογές στον τομέα της ανακύκλωσης αποβλήτων και στην πιο αποτελεσματική και καινοτόμο χρήση της βιομάζας (δηλαδή παραγωγή προϊόντων

⁵ Bosman, R.; Rotmans, J. Transition Governance towards a Bioeconomy: A Comparison of Finland and The Netherlands. *Sustainability* 2016, 8, 1017. <https://doi.org/10.3390/su8101017>.

⁶ Dobbert S; Lewandowski I; Weiss J; Pyka A. *Knowledge-Driven Developments in the Bioeconomy: Technological and Economic Perspectives*, Springer: Berlin, Germany, 2017.

⁷ European Commission. (2012). *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe*. Available at https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy_en.pdf [13.05.21]

⁸ Clarke LJ & Kitney RI (2016) Synthetic biology in the UK - An outline of plans and progress. *Synth Syst Biotechnol* 1(4): 243-257. <http://dx.doi.org/10.1016/j.synbio.2016.09.003>

⁹ Portuguese Republic. The Government (2014). *National Ocean Strategy 2013-2020*. Retrieved from: http://www.dgpm.mam.gov.pt/Documentos/ENM_Finol_EN_V2.pdf

¹⁰ Finland. Ministry of Employment and the Economy (2014). *The Finnish Bioeconomy Strategy - Sustainable growth from bioeconomy*. Retrieved from: http://www.tem.fi/files/40366/The_Finnish_Bioeconomy_Strategy.pdf

υψηλής έντασης γνώσης και τεχνολογίας). Η στρατηγική της Κίνας για τη βιοοικονομία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων από τα βιο-καύσιμα. Ο οδικός χάρτης των ΗΠΑ περιέχει τόσο μια ολιστική προσέγγιση βιοοικονομίας υψηλής τεχνολογίας (όπως απεικονίστηκε στο Σχέδιο Βιοοικονομίας του 2012^{11,12}), όσο και ένα όραμα βιώσιμης παραγωγής ενός δισεκατομμυρίου τόνων βιομάζας έως το 2030 («Ομοσπονδιακή Έκθεση Δραστηριοτήτων για τη Βιοοικονομία», Φεβρουάριος 2016^{13,14}) ώστε να εξυπηρετήσει τον τομέα των μεταφορών, όπου άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πιο δύσκολο να εφαρμοστούν.

Βιοοικονομία στην Ελλάδα.

Η Ελλάδα δεν έχει ακόμη μια συγκεκριμένη εθνική στρατηγική για τη βιο-οικονομία, αν και οι εκάστοτε ελληνικές κυβερνήσεις αποδίδουν υψηλή προτεραιότητα στην αποδοτικότητα των πόρων καθώς και στις ενεργειακά αποδοτικές και χαμηλές εκπομπές άνθρακα¹⁵. Σε αρκετά κυβερνητικά κείμενα αναγνωρίζεται ότι «η κυκλική οικονομία και η βιοοικονομία θα αποτελέσουν καταλύτη για την παραγωγική ανασυγκρότηση της χώρας, με σαφή περιφερειακή διάσταση»¹⁶. Το Κεντρικό Συμβούλιο Οικονομικής Πολιτικής, μάλιστα, ενέκρινε εισήγηση του Υπουργείου Περιβάλλοντος για τη στήριξη της Κυκλικής οικονομίας (Φεβρουάριος 2018), που στόχευε στην επιτάχυνση των δράσεων κυκλικής οικονομίας και στην απελευθέρωση αναπτυξιακού δυναμικού¹⁷. Ωστόσο, οι δράσεις αυτές επικεντρώνονται περισσότερο στην επίλυση χρόνιων προβλημάτων (πχ διαχείριση και αξιοποίηση αποβλήτων αστικών περιοχών, επαναχρησιμοποίηση του νερού), παρά στην προώθηση καινοτόμων τεχνολογιών του τομέα.

Συνθετική Βιολογία

Συνθετική βιολογία, κεντρικός ρόλος στους οδικούς χάρτες βιοοικονομίας

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, οι βιοεπιστήμες έχουν σημειώσει εκρηκτική πρόοδο στη γνώση και την ανάπτυξη νέων μεθόδων, οι οποίες με τη σειρά τους άνοιξαν νέους ερευνητικούς τομείς και οδήγησαν σε νέα είδη εμπορικών δραστηριοτήτων. Η συνθετική βιολογία είναι ένα από τα αποτελέσματα αυτής της εξέλιξης. Η συνθετική βιολογία είναι ένα διεπιστημονικό πεδίο έρευνας. Εφαρμόζει αρχές μηχανικής και εργαλεία συστηματικού σχεδιασμού (που περιλαμβάνουν υπολογιστική μοντελοποίηση, δομικά βιολογία και τυποποιημένες μετρήσεις) για να (επανα-)προγραμματίσει κυτταρικά συστήματα στο γενετικό επίπεδο για την παραγωγή επιθυμητών λειτουργιών. Αυτή η μηχανική προσέγγιση έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει τόσο τη θεμελιώδη κατανόηση των βιολογικών συστημάτων όσο και την ικανότητά μας να τα χρησιμοποιήσουμε προς όφελος της κοινωνίας. Η συνθετική βιολογία κατέστη δυνατή λόγω της ταχείας ανάπτυξης της μοριακής βιολογίας και της γονιδιωματικής, αλλά και της αύξησης της υπολογιστικής ισχύος και της δημιουργίας των εξελιγμένων συστημάτων πληροφορικής, καθώς και της ικανότητας γρήγορης ανάλυσης της αλληλουχίας του DNA. Στη συνθετική βιολογία συγχωνεύονται οι αρχές της μηχανικής (όπως προδιαγραφές, μαθηματική μοντελοποίηση, τυποποίηση, προτυποποίηση) με εκείνες της μοριακής κυτταρικής και της βιολογίας συστημάτων για τον σχεδιασμό βιολογικών συστημάτων σε γενετικό επίπεδο. Έτσι, η συστηματική σχεδίαση και κατασκευή νέων βιολογικών συστημάτων και κυττάρων γίνεται πιο εύκολη, προβλέψιμη και επαναλήψιμη. Το φυσικό αποτέλεσμα αυτής της εξέλιξης είναι η επιτάχυνση και η μεγαλύτερη ακρίβεια της ανάπτυξης νέων εφαρμογών στη βιοτεχνολογία.

¹¹ The White House. (2015). A Strategy for American Innovation. Available at https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/strategy_for_american_innovation_october_2015.pdf [25.01.2017].

¹² Biomass Research and Development Board. (2016). Federal Activities Report on the Bioeconomy. Available at https://energy.gov/sites/prod/files/2016/02/f30/farb_2_18_16.pdf [25.01.2017].

¹³ U.S. Department of Energy. (2016). 2016 Billion-ton Report: Advancing Domestic Resources for a Thriving Bioeconomy. Available at https://energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/2016_billion_ton_report_12.2.16_0.pdf [04.12.17].

¹⁴ U.S. Department of Energy. (2016). Strategic Plan for a Thriving and Sustainable Bioeconomy. Available at https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/beto_strategic_plan_december_2016_0.pdf [25.01.2017].

¹⁵ <http://industrialbiotech-europe.eu/map/greece/> [15.05.2021]

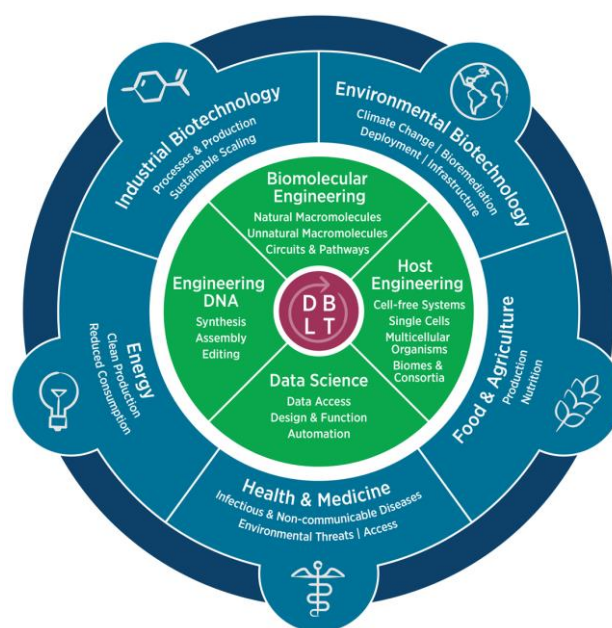
¹⁶ ΥΠΕΝ_ΤΕΛΙΚΟ_ΣΧΕΔΙΟ_ΕΣ.ΕΚ_231219, https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/el_final_necp_main_el.pdf

¹⁷ http://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/2018/05/kykliki_oikonomia.pdf

Η ΕΕ έχει συμπεριλάβει τη βιοτεχνολογία ως μία από τις έξι πιο σημαντικές τεχνολογίες για το βιώσιμο μέλλον μας¹⁸, ενώ οι προσεγγίσεις που καθίστανται δυνατές από τη συνθετική βιολογία θα αυξήσουν σημαντικά τον αντίκτυπο του τομέα και, ιδιαίτερα, τις ευκαιρίες που προσφέρει η βιοτεχνολογία. Σύμφωνα με τον Craig Venter, ηγετική προσωπικότητα στον τομέα, οι μεγαλύτερες ανακαλύψεις στη συνθετική βιολογία δεν θα πραγματοποιηθούν στον ακαδημαϊκό κόσμο αλλά στη βιομηχανία. Πολλές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα των χημικών και της ενέργειας σε όλο τον κόσμο αναπτύσσουν ήδη διαδικασίες βασισμένες στη συνθετική βιολογία, καθώς προσφέρουν νέες ευκαιρίες προϊόντων και μπορούν επίσης να εξοικονομήσουν πρώτες ύλες και ενέργεια καθώς και να είναι οικονομικά αποδοτικές. Ένα από τα πιο σημαντικά οφέλη της συνθετικής βιολογίας είναι η ανάπτυξη νέων μεθόδων και διαδικασιών που επιτρέπουν τη βιομηχανική παραγωγή σύμφωνα με τη βιώσιμη ανάπτυξη και την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Η συνθετική βιολογία επιτρέπει την παραγωγή πολλών χημικών, καυσίμων και συστατικών υλικών από ανανεώσιμες πρώτες ύλες όπως απόβλητα φυτών ή CO₂. Χρησιμοποιώντας τη διαφορετική χημεία του κυττάρου - βιοχημεία - ουσιαστικά σχεδόν κάθε χημική ουσία μπορεί να παραχθεί, συμπεριλαμβανομένων βασικών χημικών ουσιών που παράγονται σήμερα χρησιμοποιώντας πετροχημικές διεργασίες. Στο μέλλον, θα παράγονται εντελώς νέες ενώσεις που δεν μπορούν να παρασκευαστούν χημικά (ή βιοτεχνολογικά).

Σε πολλά μέρη στον κόσμο, κοινοπραξίες τύπου ΣΔΙΤ (σύμπραξη δημόσιου-ιδιωτικού τομέα) στη βιοτεχνολογία εστιάζουν όλο και περισσότερο στη συνθετική βιολογία και στις υποδομές που την υποστηρίζουν. Νέες ΣΔΙΤ δημιουργούνται μεταξύ δημόσιων χρηματοδοτών και της βιομηχανίας. Στην Ευρώπη, περιλαμβάνονται η Γαλλική Λευκή Βιοτεχνολογία της Τουλούζης (TWB), το Αυστριακό ACIB, το Γερμανικό CLIB, το Δανικό κέντρο βιοασφάλειας που χρηματοδοτείται από το ίδρυμα Novo Nordisk και το Ολλανδικό BE-Basic. Το 2014 η Σκωτία δημιούργησε ένα σύμπλεγμα βιοτεχνολογίας με αρχικό προϋπολογισμό 10 εκατομμυρίων GBP, με σκοπό να αυξηθεί

σε 520 εκατομμύρια GBP έως το 2025. Ο στόχος είναι να αυξηθεί ο αριθμός των εταιρειών βιοτεχνολογίας σε 200. Το Imperial College του Λονδίνου έλαβε σημαντική χρηματοδότηση από τη βρετανική κυβέρνηση να ιδρύσει το Κέντρο Συνθετικής Βιολογίας και Καινοτομίας (CsynBI). Το CsynBI είναι μία από τις σημαντικότερες παγκόσμιες δομές συνθετικής βιολογίας. Οι ΗΠΑ συνεχίζουν τις σημαντικές επενδύσεις τους στη συνθετική βιολογία. Την άνοιξη του 2016 ξεκίνησε η χρηματοδότηση του έργου SynBio Foundry 2. Στόχος του είναι να συνδυάσει τους πόρους δέκα εθνικών εργαστηρίων σε αναπτυξιακές εργασίες που ωφελούν ιδιαίτερα τη βιοοικονομία και τη βιομηχανία. Το έργο περιλαμβάνει την κατασκευή νέων υποδομών και την ανάπτυξη τεχνολογιών από τη σύνθεση γονιδιώματος έως την πιλοτική παραγωγή.



Εικόνα 2 | Οι εφαρμογές και η έρευνα στη Συνθετική Βιολογία, EBRC (2019)

Η παγκόσμια αγορά συνθετικής βιολογίας εκτιμάται ότι αυξάνεται περίπου στο 25% ετησίως και αυτή η ανάπτυξη αναμένεται να επιταχυνθεί ακόμη και πάνω από το 30% καθώς συνεχίζουν να αναπτύσσονται νέες μέθοδοι και προσεγγίσεις. Η αγορά κυριαρχείται επί του παρόντος κυρίως από εταιρείες που πωλούν τεχνολογίες γονιδιώματος και σύνθεση DNA, αλλά το μερίδιο των βασικών προϊόντων, όπως τα συνθετικά μικρόβια και τα ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής, αναμένεται να αυξηθεί

¹⁸ <http://industrialbiotech-europe.eu/map/industrial-biotech-at-eu-level/> [23.5.2021]

γρήγορα τα επόμενα δύο έως πέντε χρόνια. Η Amyris και η Gingko Bioworks στις ΗΠΑ είναι πρωτοπόρες εταιρείες στη συνθετική βιολογία, αναπτύσσοντας νέα στελέχη μικροβίων που παράγουν καύσιμα και χημικά με βάση τον σχεδιασμό και τον αυτοματισμό με τη βοήθεια υπολογιστή. Ωστόσο, εφαρμογές συνθετικής βιολογίας αναπτύσσονται επίσης από τις βιομηχανίες χημικών, ενέργειας, ιατρικές και διαγνωστικές και τροφίμων. Οι σημαντικότερες παγκόσμιες εταιρείες που χρησιμοποιούν ήδη τη συνθετική βιολογία περιλαμβάνουν τις DuPont, Thermo Fisher Scientific, Royal DSM, Novozymes και New England Biolabs.

Στο κοντινό μέλλον, η συνθετική βιολογία θα παίζει ολοένα και σημαντικότερο ρόλο σε αυτά τα οικοσυστήματα βιοοικονομίας, που ακόμα βρίσκονται στο ξεκίνημά τους. Διάφορες διεθνείς πρωτοβουλίες, όπως το EBRC (Engineering Biology Research Consortium), το SynBioBeta (Synthetic Biology Innovation Network, ένας διεθνής οργανισμός εταιρειών συνθετικής βιολογίας) και ο διαγωνισμός iGEM (international Genetically Engineered Machine, απ' όπου δημιουργούνται πολλές start-up εταιρείες), συνεχίζουν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και προώθηση της συνθετικής βιολογίας. Οι καθιερωμένες εταιρείες ενδιαφέρονται επίσης για αυτά τα φόρουμ όπου συγκεντρώνονται διαφορετικοί παράγοντες και ερευνητές, καθώς επιτρέπουν τη δικτύωση και παρέχουν μια θέση πρώτης σειράς για την παρακολούθηση των τελευταίων εξελίξεων στον τομέα.

Αρκετοί οδικοί χάρτες και εκθέσεις για τη συνθετική βιολογία και του ρόλου στη βιοοικονομία έχουν δημοσιευτεί τα τελευταία χρόνια. Οι εκθέσεις περιγράφουν διεξοδικά τις ευκαιρίες που προσφέρει η συνθετική βιολογία και τα μέτρα που απαιτούνται για την αξιοποίηση του δυναμικού της τεχνολογίας όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά και υπεύθυνα. Ενδεικτικά θα μπορούσαν να αναφερθούν:

1. Το στρατηγικό όραμα της ΕΕ για τη συνθετική βιολογία¹⁹

2. Σχέδιο βιοοικονομίας των ΗΠΑ²⁰
3. Οδικός χάρτης για τη βιοπαραγωγή χημικών²¹
4. Στρατηγικό σχέδιο συνθετικής βιολογίας στο Ηνωμένο Βασίλειο 2016²²
5. Κοινή έκθεση για τη συνθετική βιολογία από έξι επιστημονικές ακαδημίες²³.

Οι εκθέσεις και οι οδικοί χάρτες αναφέρουν ότι η συνθετική βιολογία παίζει βασικό ρόλο και ωφελεί σημαντικά την ανάπτυξη της βιομηχανικής βιοτεχνολογίας και τον αντίκτυπό της στη διαμόρφωση της βιοοικονομίας, στην ανάπτυξη της κυκλικής οικονομίας και στην ικανότητά μας να αντιμετωπίσουμε τις τρέχουσες και τις επερχόμενες προκλήσεις, όπως η κλιματική αλλαγή, και η απομάκρυνση από τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Οι οδικοί χάρτες υπογραμμίζουν τις δυνατότητες της συνθετικής βιολογίας στη δημιουργία εμπορικών εφαρμογών και την ανάγκη δημιουργίας νέων δυνατοτήτων εμπορευματοποίησης και των λειτουργικών περιβαλλόντων που τους επιτρέπουν. Οι εκθέσεις τονίζουν επίσης την ανάγκη ανάπτυξης εκπαιδευτικών συστημάτων ώστε να ταιριάζουν με την πολυτομεακή προσέγγιση που απαιτείται από τη συνθετική βιολογία. Ανοιχτός διάλογος μεταξύ ερευνητών, εταιρειών, αρχών και του ευρέος κοινού πρέπει να ξεκινήσει και να διατηρηθεί.

Το Ευρωπαϊκό Συμβουλευτικό Συμβούλιο Επιστημών Ακαδημιών (EASAC, European Academies Science Advisory Council) συνέταξε τις πρώτες εκθέσεις του για τη συνθετική βιολογία το 2010 και το 2011. Το EASAC τόνισε από τότε πόσο σημαντικό είναι να πραγματοποιηθούν μακροπρόθεσμες επενδύσεις στην έρευνα και την ανάπτυξη υποδομών και «πολιτισμού» της συνθετικής βιολογίας²⁴. Οι μακροπρόθεσμες επενδύσεις θέτουν επίσης τα θεμέλια για τη γέννηση εφαρμογών που είναι εντελώς απρόβλεπτες και επί του παρόντος είναι δύσκολο να προβλεφθούν.

¹⁹ https://www.erasynbio.eu/lw_resource/dotapool/items/item_58/erasyn-biostrategicvision.pdf

²⁰ <https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national-bioeconomy-blueprint-april-2012.pdf>

²¹ <http://www.nap.edu/catalog/19001/industrialization-of-biology-a-roadmap-to-accelerate-the-advanced-manufacturing>

²² https://connect.innovateuk.org/documents/2826135/31405930/BioDesign+for+the+Bioeconomy+2016+DIGITAL+update+21_03_2016.pdf/d0409f15-bad3-4f55-be03-430bc7ab4e7e

²³ <http://www.nap.edu/catalog/13316/positioning-synthetic-biology-to-meet-the-challenges-of-the-21st-century>

²⁴ EASAC policy report 13, Dec 2010: Realising European potential in synthetic biology: scientific opportunities and good governance, <http://www.easac.eu>

Η κατάσταση στην Ελλάδα.

Στη χώρα μας δεν υπάρχει εθνική στρατηγική για τη βιομηχανική βιοτεχνολογία ή τη συνθετική βιολογία. Ωστόσο, οι εκάστοτε Ελληνικές κυβερνήσεις θέτουν υψηλή προτεραιότητα στην αποδοτικότητα πόρων, στην ενεργειακή απόδοση και στις επενδύσεις χαμηλής αποτύπωσης άνθρακα. Ο κύριος κυβερνητικός φορέας που εφαρμόζει σχετικές πολιτικές είναι κυρίως το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Ευρωπαϊκοί και Εθνικοί πόροι για Έρευνα & Ανάπτυξη και Καινοτομία διαχειρίζονται από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας. Κύριοι τομείς στρατηγικής προτεραιότητας κατά περιόδους ήταν: οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα τρόφιμα και η υδατοκαλλιέργεια, η υγεία και το φυσικό περιβάλλον. Τα συγκεκριμένα χρηματοοικονομικά μέσα προορίζονταν για πράσινες επιχειρήσεις στο πλαίσιο του προγράμματος στρατηγικής δράσης για την πράσινη ανάπτυξη για την περίοδο 2010-2015, με συνολικό προϋπολογισμό 44 δισεκατομμύρια ευρώ. Το «Πράσινο Ταμείο» ιδρύθηκε το 2010 και τροφοδοτήθηκε από περιβαλλοντικούς φόρους και τέλη. Τα χρήματα διανεμήθηκαν σε διάφορες στοχευμένες δράσεις που επέτρεπαν περιβαλλοντικά οφέλη. Το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα» (ΕΠΑΝ II) είχε ως κεντρικό αναπτυξιακό στόχο τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και της εξωστρέφειας των επιχειρήσεων και της βιομηχανίας, με έμφαση στην καινοτομία. Οι συγχρηματοδοτούμενες δημόσιες δαπάνες του ΕΠΑΝ II ανήλθαν σε 1,7 δισεκατομμύρια ευρώ από τα οποία 1,4 δισεκατομμύρια ευρώ προήλθαν από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης και περισσότερα από 250 εκατομμύρια ευρώ από ελληνικά εθνικά ταμεία²⁵.

Παρά το γεγονός ότι η μοριακή βιολογία και βιοτεχνολογία έχουν υψηλή αποδοχή στην Ελληνική κοινωνία και οι Έλληνες μοριακοί βιολόγοι έχουν μεγάλη συμμετοχή σε υψηλού κύρους ερευνητικά έργα και δημοσιεύσεις, η ανάπτυξη μιας ελληνικής βιοτεχνολογικής βιομηχανίας υπολείπεται πολύ. Η Ελλάδα είναι 42^η ανάμεσα σε 54 χώρες που αναλύθηκαν ως προς τη βιοτεχνολογική καινοτομία²⁶. Τόσο

τα διάφορα πανεπιστημιακά τμήματα όσο και τα ερευνητικά κέντρα που δραστηριοποιούνται στις βιοεπιστήμες προσφέρουν αφενός υψηλή εξειδίκευση σε γνώσεις και τεχνικές αλλά τις βάσεις για βιο-βασισμένα προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας. Εντούτοις, είναι ελάχιστες οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή βιοτεχνολογικών προϊόντων ή που χρησιμοποιούν τη βιοτεχνολογία στην αλυσίδα παραγωγής τους. Ίσως η μοναδική «καθαρόαιμη» εταιρεία βιοτεχνολογικών προϊόντων είναι η MINOTECH biotechnology, νυν EnzyQuest. Η MINOTECH ξεκίνησε το 1986 ως μια εσωτερική εγκατάσταση του Ινστιτούτου Μοριακής Βιολογίας και Βιοτεχνολογίας στην Κρήτη για την παραγωγή εργαλείων μοριακής βιολογίας (κυρίως ενζύμων περιορισμού) και μετεξελίχθηκε στην εταιρεία τεχνολογίας EnzyQuest. Η εταιρεία αυτή προμηθεύει με ένζυμα περιορισμού πολλές μεγάλες διεθνείς εταιρείες²⁷. Πρόσφατα δημιουργήθηκε και η ResQ Biotech²⁸, που ασχολείται με την ανάπτυξη γενετικά τροποποιημένων μικροβιακών κυττάρων για την ανακάλυψη καινοφανών φαρμάκων για τη θεραπεία της αμυοτροφικής πλευρικής σκλήρυνσης και άλλων πρωτεϊνικών ασθενειών. Μάλιστα, η εταιρεία αυτή είναι μία από τις 44 εταιρείες που επισημάνθηκαν από το βραβείο Spinoff 2020 του περιοδικού Nature, που απονέμεται σε πολλά υποσχόμενες επιστημονικές εταιρείες που αναδύονται από ακαδημαϊκά εργαστήρια τα τελευταία τρία χρόνια²⁹. Ιδρυτής της είναι ο κ. Σκρέτας, μέλος της Ελληνικής Ερευνητικής Υποδομής Συνθετικής Βιολογίας OMIC-Engine που αναφέρεται πιο κάτω.

Ο ρόλος της εκπαίδευσης στην ανάπτυξη γνώσης και συνείδησης συνθετικής βιολογίας.

Τα ευρωπαϊκά εκπαιδευτικά ιδρύματα έχουν αρχίσει να αναγνωρίζουν την ανάγκη εκπαίδευσης νέων επιστημόνων στη βιοοικονομία και τη συνθετική βιολογία, καθώς υπάρχει επείγουσα απαίτηση για εργατικό δυναμικό υψηλής ειδίκευσης. Στην Ελλάδα, σε προπτυχιακό επίπεδο το Τμήμα Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας προσφέρει εδώ και τέσσερα χρόνια μάθημα Συνθετικής

²⁵ <http://industrialbiotech-europe.eu/map/greece/>

²⁶ <https://www.thinkbiotech.com/globalbiotech/country/Greece> [25.5.2021]

²⁷ https://www.imbb.forth.gr/news/IMBB_BR_19-21_low.pdf [25.5.2021]

²⁸ [Home | ResQ Biotech](#) [27.5.2021]

²⁹ [44 firms highlighted in The Spinoff Prize 2020 \(nature.com\)](#) [27.5.2021]

Βιολογίας με πολύ μεγάλη συμμετοχή και ενδιαφέρον από τους φοιτητές. Ως προς τη βιοοικονομία, λειτουργούν τρία προγράμματα σε μεταπτυχιακό επίπεδο: ένα διϊδρυματικό πρόγραμμα «Βιοοικονομία, Κυκλική Οικονομία και Βιώσιμη Ανάπτυξη» ανάμεσα στο Πανεπιστήμιο Πειραιώς και το ΕΚΠΑ και ένα διαδικτυακό πρόγραμμα «Βιοοικονομία και Δίκαιο, Ρυθμιστικό Πλαίσιο και Διαχείριση» από το Διεθνές Ελληνικό Πανεπιστήμιο στη Θεσσαλονίκη και ένα διϊδρυματικό πρόγραμμα «Βιοεπιχειρείν» από το Τμήμα Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και το Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών.

Το ενδιαφέρον των φοιτητών στη συνθετική βιολογία αποτυπώνεται επίσης στη συμμετοχή τους στο διεθνή διαγωνισμό συνθετικής βιολογίας iGEM. Ο iGEM (international Genetically Engineered Machine) είναι ένας διαγωνισμός που προέκυψε από την εργαστηριακή εργασία φοιτητών του φημισμένου Massachusetts Institute of Technology (MIT) της Βοστώνης το 2003 και μέσα σε λίγα χρόνια εξελίχθηκε σε ένα διεθνή διαγωνισμό για ομάδες μαθητών λυκείου, φοιτητών ή μεταπτυχιακών φοιτητών από όλο τον κόσμο. Η πρώτη Ελληνική συμμετοχή ήταν το 2017 και έκτοτε ο αριθμός των ομάδων αυξάνεται κάθε χρόνο. Οι ομάδες αυτές έχουν αποσπάσει τόσο χρυσά μετάλλια όσο και ιδιαίτερες διακρίσεις στο διαγωνισμό αυτό.



Εικόνα 3 | Η ομάδα iGEM του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με χρυσό μετάλλιο και το βραβείο Best Diagnostics, στη Βοστώνη των ΗΠΑ (2019)

Ο ρόλος των Ερευνητικών Υποδομών στην προώθηση Εθνικών Στρατηγικών.

Η σημασία των ερευνητικών υποδομών γίνεται εμφανής από το παράδειγμα του Ηνωμένου Βασιλείου,

της χώρας με την πλέον ανεπτυγμένη και εξελιγμένη συνθετική βιολογία στην ΕΕ. Αρχικά, ένα πολυθεματικό κέντρο συνθετικής βιολογίας ιδρύθηκε το 2009 (CSynBI στο Imperial College) και προτάθηκε η ίδρυση ορισμένων επιπλέον κέντρων, για την ενίσχυση της εθνικής ερευνητικής ικανότητας και τη διαφοροποίηση της τεχνογνωσίας, ενθαρρύνοντας την καινοτομία και διευκολύνοντας τις διασυνδέσεις με τη βιομηχανία και άλλους βασικούς ενδιαφερόμενους. Στο πλαίσιο του προγράμματος «Συνθετική Βιολογία για την Ανάπτυξη», πραγματοποιήθηκαν δύο ετήσιοι διαγωνισμοί για νέα κέντρα διεπιστημονικής ερευνητικής αριστείας συνθετικής βιολογίας το 2013 και το 2014, και τρία νέα «Κέντρα Συνθετικής Βιολογίας Έρευνας (SBRCs)» απονεμήθηκαν σε κάθε περίπτωση, το καθένα με πενταετείς χρηματοδοτικές δεσμεύσεις. Έτσι, μαζί με το αρχικό κέντρο CSynBI στο Imperial, δημιουργήθηκε ένα σύνολο επτά μεγάλων διεπιστημονικών κόμβων σε ολόκληρο το Ηνωμένο Βασίλειο. Κάθε SBRC έχει το δικό του συνεταιριστικό δίκτυο ερευνητικών ομάδων και μικρότερων κέντρων, τα οποία περιλαμβάνουν συλλογικά περισσότερα από 30 πανεπιστήμια που εκτείνονται στη χώρα, δημιουργώντας έτσι ένα ίδρυμα διεθνούς σημασίας έρευνας και ανάπτυξης σε ολόκληρο το Ηνωμένο Βασίλειο. Όλα τα κέντρα δεσμεύονται για έρευνα σε θέματα δεοντολογίας, νομικής και κοινωνικής φύσης (Ethical, Legal and Social Aspects, ELSA) της εργασίας τους, με ενσωματωμένους στόχους Υπεύθυνης Έρευνας και Καινοτομίας (RRI) και αφοσιωμένο προσωπικό που συνδέει τα κέντρα, μοιράζεται εμπειρία και αναπτύσσει βέλτιστες πρακτικές. Αυτό το δυναμικό περιβάλλον έρευνας και κατάρτισης συγκεντρώνει μια κρίσιμη μάζα ερευνητών που εργάζονται σε ολόκληρο το Ηνωμένο Βασίλειο, ενθαρρύνοντας τον τομέα της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης να πραγματοποιήσει τις δικές τους σημαντικές επενδύσεις στη συνθετική βιολογία, προσελκύοντας παράλληλα σημαντική πρόσθετη χρηματοδότηση από τη βιομηχανία και από διεθνείς επιχορηγήσεις και συνεργασίες. Αν και τα κέντρα επιλέχθηκαν πρώτα απ' όλα με βάση την ατομική αριστεία, το τελικό αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία μιας εθνικής ερευνητικής υποδομής που έχει ευρύ γεωγραφικό αποτύπωμα και μεγάλη έκταση ακαδημαϊκών και δυναμικά εμπορικών συμφερόντων. Η

κρίσιμη μάζα εγκαταστάσεων και ερευνητών επιτυγχάνεται τόσο σε εθνικό όσο και σε περιφερειακό επίπεδο³⁰.

Ελληνική Ερευνητική Υποδομή Συνθετικής Βιολογίας OMIC-Engine.

Η OMIC-Engine αποτελεί την πρώτη προσπάθεια της Ελλάδας να δημιουργήσει και να χρηματοδοτήσει μια Ελληνική Ερευνητική Υποδομή στη συνθετική βιολογία. Η OMIC-ENGINE είναι μία κατακεκολλημένη ερευνητική υποδομή εθνικής εμβέλειας που έχει ενταχθεί στον Εθνικό Χάρτη Ερευνητικών Υποδομών από το 2014 και αναπτύσσει τις δραστηριότητές της με χρηματοδότηση από το Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα Καινοτομία 2014-2020, στο οποίο εντάχθηκε στα τέλη του 2017. Στην OMIC-Engine συμμετέχουν 31 κύριοι ερευνητές από 15 ερευνητικά εργαστήρια 10 διαφορετικών Τμημάτων 9 Πανεπιστημίων και Ερευνητικών Κέντρων³¹ από όλη τη χώρα, υπό το συντονισμό του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.



Εικόνα 4 | Οι συντονιστές έρευνας της OMIC-Engine, Αλεξανδρούπολη (2020)

Τα κύρια πεδία έρευνας αφορούν τη γενετική μηχανική ξενιστών και κοινοπραξιών μικροοργανισμών, τη βιομοριακή μηχανική και την ανάλυση δεδομένων, με κύριες εφαρμογές στα τρόφιμα και τη γεωρ-

γία, τη βιομηχανική βιοτεχνολογία, την περιβαλλοντική βιοτεχνολογία και την υγεία. Πιο συγκεκριμένα:

1. Πεδίο Γενετικής Μηχανικής Ξενιστών και Κοινοπραξιών Μικροοργανισμών
 - a. Δημιουργία μικροοργανισμών παραγωγής ειδο-ειδικών εντομοκτόνων
 - b. Σίγαση γονιδίων με τη χρήση του μικροβιώματος και RNAi
 - c. Δημιουργία συνθετικών βακτηρίων για την ανακάλυψη φαρμάκων κατά ασθενειών που προκαλούνται από προβληματική πρωτεϊνική αναδίπλωση και συσσωμάτωση
 - d. Ανάπτυξη συνθετικών ριβοδιακοπών αντίχενωσης ιών
 - e. Αποτύπωση του μικροβιώματος της αμπέλου και της οινοποίησης για το εντοπισμό, χαρακτηρισμό και ανάπτυξη νέων γηγενών μικροβιακών εμβολίων με υψηλό οινολογικό ενδιαφέρον
 - f. Ανάπτυξη συνθετικού συστήματος παραγωγής και έκκρισης πεπτικών ενζύμων εκτρεφόμενων ψαριών
 - g. Ανάπτυξη διεργασιών για την παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα συνθετικών μικρο-οργανισμών και προϊόντων τους
 - h. Συνθετικές και άγριες μικροβιακές κοινοπραξίες για βέλτιστες βιομηχανικές διεργασίες και ανάλυση της περιβαλλοντικής ρύπανσης
 - i. Αξιοποίηση παραπροϊόντων της ελαιουργίας και της οινοποίησης για την παραγωγή βιοδραστικών ενώσεων υψηλής προστιθέμενης αξίας
2. Πεδίο Βιομοριακής Μηχανικής
 - a. Παραγωγή αρωματικών πρώτων υλών ή/και ενώσεων υψηλής προστιθέμενης αξίας από λιγνίνη
 - b. Νανοτεχνολογική προσέγγιση σύνθεσης βιοαισθητήρων διοξειδίου του άνθρακα με επαναλαμβανόμενες ακολουθίες ενεργών περιοχών ενζύμων με ανάλογη δράση, καθηλωμένων σε επιφάνειες υλικών για πολλαπλασιασμό ηλεκτρικού σήματος

³⁰ Clarke LJ and Kitney RI (2016). Synthetic biology in the UK – An outline of plans and progress. *Synthetic and Systems Biotechnology* 1: 243-257. <http://dx.doi.org/10.1016/j.synbio.2016.09.003>

³¹ Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (Τμήμα Βιοχημείας & Βιοτεχνολογίας), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Σχολή Χημικών Μηχανικών), Πανεπιστήμιο Πατρών (Τμήμα Φαρμακευτικής), Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (Τμήμα

Μοριακής Βιολογίας και Γενετικής), Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (Τμήμα Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Τμήμα Χημείας), Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών (Εργαστήριο Ενζυμικής & Συνθετικής Βιοτεχνολογίας), Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (Τμήμα Φαρμακευτικής και Τμήμα Βιολογίας), Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (Τμήμα Βιοτεχνολογίας).

- c. Παραγωγή επιθυμητών βιοδραστικών ουσιών μέσω μεταβολικής μηχανικής σε φυτά από την Ελληνική χλωρίδα, όπως η τριγωνέλλα
 - d. Δημιουργία συνθετικών πρωτεϊνών ως εργαλεία φυτοπροστασίας ή/και δείκτες ποιότητας εμπορικά εκμεταλλεύσιμων φυτικών ειδών
 - e. Ανίχνευση μεταλλαγμάτων με βελτιωμένες ιδιότητες μέσω τεχνολογίας PROTEIN REPAIR
 - f. Ανάπτυξη συνθετικών ευκαρυωτικών κυτταρικών σειρών για σάρωση και επιλογή μορίων με φαρμακευτική δράση
 - g. Δημιουργία βιοαισθητήρων ελέγχου και αξιολόγησης συνθετικών μορίων ή φυσικών εκχυλισμάτων
3. *Πεδίο ανάλυσης δεδομένων*
- a. Λειτουργική και ταξινομική ανάλυση μεταγονιδιωματικών και μετα-μεταγραφομικών δεδομένων
 - b. Ανάλυση και ταυτοποίηση βιοδραστικών συστατικών Ιπποφαούς
 - c. Ανάπτυξη πρωτοκόλλων μεταγονιδιωματικής ανάλυσης μικροβιωμάτων
 - d. Μεταβολική ανάλυση ποικιλιών κάνναβης
 - e. Χαρακτηρισμός του μικροβιακού φορτίου ελληνικών τυριών και αλλαντικών και μελέτη της αλλαγής των μικροβιακών κοινοτήτων

Εκτός από αυτές τις στοχευμένες ερευνητικές δραστηριότητες, η OMIC-Engine υποστηρίζει την έρευνα, την εκπαίδευση, τη διάχυση της συνθετικής βιολογίας αλλά και τη διασύνδεση με τη βιομηχανία με ποικίλους τρόπους, λεπτομέρειες των οποίων μπορεί κάποιος να βρει στην ιστοσελίδα της OMIC-Engine³². Συνοπτικά:

1. Υποστηρίζει την έρευνα και την προβολή των ομάδων iGEM που συμμετέχουν στον εν λόγω διεθνή διαγωνισμό συνθετικής βιολογίας. Μέχρι στιγμής, οι ελληνικές ομάδες iGEM κατέκτησαν πληθώρα μεταλλίων και βραβείσεων, όπως Best Diagnostics Project Award, αλλά και υποψηφιότητες σε σημαντικά ειδικά βραβεία του διαγωνισμού (Best Integrated Human Practices, Best Supporting Entrepreneurship).

2. Διοργανώνει εκπαιδευτικά σεμινάρια για Έλληνες υποψηφίους διδάκτορες και μεταδιδακτορικούς ερευνητές. Μέχρι στιγμής έχει διοργανώσει σεμινάρια με θεματικές τη «Βιοπληροφορική» και τις «Βασικές εργαστηριακές τεχνικές στη Συνθετική Βιολογία», ενώ παράλληλα διατηρεί ενεργά επαφή με τους συμμετέχοντες, ενημερώνοντάς τους για τις εξελίξεις στον τομέα της Συνθετικής Βιολογίας.
3. Μέσω της πρωτοβουλίας των «Αναπαραγωγικών Ερευνητικών Έργων (Seed Projects)» φιλοξενεί ερευνητές, δίνοντάς τους την ευκαιρία να αναπτύξουν την ερευνητική τους πρόταση αξιοποιώντας το ερευνητικό προσωπικό, τον εξοπλισμό και τις υποδομές της OMIC-Engine.
4. Προσφέρει ανοιχτή δωρεάν πρόσβαση στην ελληνική ερευνητική κοινότητα στις υποδομές της, αποσκοπώντας να καλύψει τις ανάγκες ανάπτυξης και βελτιστοποίησης πειραματικών προσεγγίσεων, διαδικασιών και πρωτοκόλλων αλλά και να εδραιώσει διεπιστημονικές συνέργειες στο πεδίο της Συνθετικής Βιολογίας.
5. Διοργανώνει σεμινάρια με προσκεκλημένους ομιλητές από την Ελλάδα και το εξωτερικό.
6. Προωθεί τη διασύνδεση ανάμεσα στην έρευνα της συνθετικής βιολογίας και τη βιομηχανία μέσω της διοργάνωσης Ημερίδων Δικτύωσης.
7. Κάνει μεγάλες προσπάθειες ανάδειξης των εξελίξεων της συνθετικής βιολογίας σε επιστήμονες και σε ευρύτερο κοινό μέσω της ενεργούς αξιοποίησης των μέσων κοινωνικής δικτύωσης και εκδίδοντας ενημερωτικά δελτία και βίντεο.
8. Υποστηρίζει την έρευνα και τη διάχυση των αποτελεσμάτων μέσα από την έκδοση δημοσιεύσεων σε διεθνή περιοδικά με σύστημα κριτών αλλά και τη συμμετοχή σε συνέδρια και ημερίδες πανελλήνιας και παγκόσμιας εμβέλειας.

Προοπτικές, βιωσιμότητα, χρηματοδότηση.

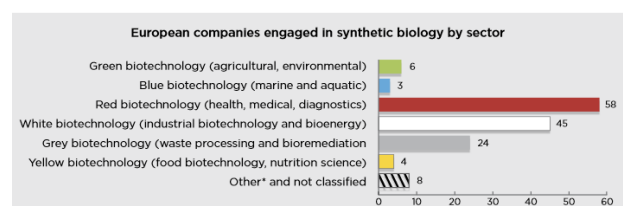
Λόγω των τεράστιων δυνατοτήτων και προοπτικών της συνθετικής βιολογίας αλλά και του αναγνωρισμένου κεντρικού της ρόλου στη μετάβαση στη βιοοικονομία, η χρηματοδότησή της από κυβερνητικές πηγές και ιδιωτικά επιχειρηματικά κεφάλαια

³² <https://el.omicengine.com/>

παγκοσμίως έχει αυξηθεί σημαντικά. Από το 2005 μέχρι σήμερα, πάνω από \$1 δισ έχει επενδυθεί σε έρευνα για τη συνθετική βιολογία μόνο στις ΗΠΑ. Από το 2004 έως το 2013, περίπου €450 εκατ επενδύθηκαν στον τομέα της συνθετικής βιολογίας από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Από το 2014 μέχρι και σήμερα, μέσω του Προγράμματος Horizon 2020, η Ευρωπαϊκή Ένωση χρηματοδότησε με €369 εκατ. 122 έργα στον τομέα της Βιοτεχνολογίας. Η ελληνική συμμετοχή σ' αυτά μετρήθηκε σε 10 έργα, 12 Έλληνες εταίρους και συνολική συνδρομή της ΕΕ ύψους €4 εκατ. Αντίστοιχα, για τον τομέα της Ασφάλειας Τροφίμων & Αειφόρου Γεωργίας / Αλιείας, χρηματοδοτήθηκαν 758 έργα με €2,48 δισ. Η ελληνική συμμετοχή συνίσταται σε 150 έργα, 267 Έλληνες εταίρους και συνολική συνδρομή από την ΕΕ ύψους €67 εκατ. Πάνω από £300 εκατ έχουν επενδυθεί σε έρευνα για τη συνθετική βιολογία στο Ηνωμένο Βασίλειο³³. Στην Κίνα, πάνω από 200 εκατομμύρια δολάρια επενδύθηκαν σε έρευνα για τη συνθετική βιολογία από το 2011 έως το 2015 και έχει εγκριθεί αυξημένη επένδυση \$1,5 δισ για την περίοδο 2018 – 2022³⁴.

Από το 2009 έως το 2015, πάνω από 350 εταιρείες συνθετικής βιολογίας σε ολόκληρη την Αμερική και την Ευρωπαϊκή Ένωση συγκέντρωσαν πάνω από 3,3 δισεκατομμύρια δολάρια επιχειρηματικού κεφαλαίου³⁵. Μόνο το 2016, πάνω από 192 αμερικανικές εταιρείες συνθετικής βιολογίας έλαβαν περίπου 828 εκατομμύρια δολάρια σε ιδιωτικές επενδύσεις³⁶. Το 2017, 50 αμερικανικές εταιρείες συνθετικής-βιολογίας εξασφάλισαν πάνω από 1,7 δισεκατομμύρια δολάρια για να αναπτύξουν καινοτόμες τεχνολογίες συνθετικής-βιολογίας³⁷. Η παγκόσμια αγορά συνθετικής-βιολογίας εκτιμήθηκε στα 2,1 δισεκατομμύρια δολάρια το 2012 και έφτασε τα 2,7 δισεκατομμύρια δολάρια το 2013. Αυτή η αγορά αναμένεται να αυξηθεί στα 11,4 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2021³⁸. Μία εκτενής ανάλυση των χρηματοδοτήσεων με τη μορφή κεφαλαίου σποράς ή ανάπτυξης στον τομέα εφαρμογών Συνθετικής Βιολογίας είναι διαθέσιμη από τη CBInsights³⁹.

Η Ευρώπη φιλοξενεί ήδη μεγάλο αριθμό εταιρειών που θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν προσεγγίσεις συνθετικής βιολογίας, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων από τις μεγαλύτερες εταιρείες βιοτεχνολογίας, φαρμακευτικών, χημικών και ερευνητικών τεχνολογιών στον κόσμο. Η χαρτογράφηση του επιχειρηματικού πεδίου από την Ευρωπαϊκή Ε.Υ. ERASynBio κατέγραψε 148 ευρωπαϊκές εταιρείες που ασχολούνται με την έρευνα στη συνθετική βιολογία, από μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις και ακαδημαϊκά ιδρύματα έως μεγάλες πολυεθνικές. Η χωρική κατανομή αυτών των εταιρειών στην Ευρώπη ταυτίζεται σε μεγάλο βαθμό με την χωρική κατανομή χρηματοδοτήσεων από εθνικούς και ευρωπαϊκούς πόρους, με περισσότερες από 45 ενεργές εταιρείες στο Ηνωμένο Βασίλειο και περίπου 30 στην Ελβετία και την Αυστρία. Το Σχήμα 1 δείχνει τον κύριο τομέα ενδιαφέροντος Ε & Α για αυτές τις εταιρείες.



Σχήμα 1 | Θεματική στόχευση ευρωπαϊκών επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στη ΣΒ.

Η υψηλή συγκέντρωση στους τομείς της ερυθράς (υγεία, φάρμακα, βιοϊατρική) και της λευκής (βιομηχανική βιοτεχνολογία και βιοκαύσιμα) βιοτεχνολογίας κατάδεικνύει τις σημαντικές ευκαιρίες για την ευρωπαϊκή βιομηχανία να χρησιμοποιεί συνθετική βιολογία για να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των κοινωνικών προκλήσεων, ιδίως στον τομέα της υγείας και της ενεργειακής ασφάλειας⁴⁰.

Συμπέρασμα

Η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και η μετάβαση σε μια κυκλική βιοοικονομία είναι ο μόνος δρόμος για την αειφορική ανάπτυξη. Ο ρόλος της συνθετικής βιολογίας στη μετάβαση αυτή είναι κεντρικός, προσφέροντας δυνατότητες και λύσεις σε πολλαπλά επίπεδα. Αυτό είναι σαφές από τα μέχρι

³³ Y.F. Bueso, M. Tangney. Synthetic biology in the driving seat of the bioeconomy, Trends Biotechnol, 35 (2017), pp. 373-378

³⁴ Fangzhong Wang, Weiwen Zhang (2019). Synthetic biology: Recent progress, biosafety and biosecurity concerns, and possible solutions, Journal of Biosafety and Biosecurity, (1) 1, pp. 22-30. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobb.2018.12.003>.

³⁵ <http://synbiobeta.com/news/reviewing-synbio-startup-science-2016/>

³⁶ Ibid.

³⁷ <https://synbiobeta.com/fifty-synthetic-biology-companies-raised-1-7b-2017/>

³⁸ <https://www.bccresearch.com/market-research/biotechnology/synthetic-biology-bio066c.html>

³⁹ <https://www.cbinsights.com/research/synthetic-biology-top-sectors/>

⁴⁰ ERASynBio. Next steps for European synthetic biology: a strategic vision from ERASynBio. Available online: <https://bbsrc.ukri.org/documents/1404-era-synbio-strategic-vision-pdf/>

στιγμής ερευνητικά αποτελέσματα και τις προοπτικές τους, γεγονός που καθρεπτίζεται και στους οδικούς χάρτες όλων των προηγμένων χωρών. Για να μπορέσει η συνθετική βιολογία να συμβάλει στη μετάβαση της βιοοικονομίας και να ωθήσει την άνθιση επιχειρηματικών προσπαθειών, η EASAC (European Academies Science Advisory Council) είναι σαφής ως προς τις ενέργειες και αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν από τους υπεύθυνους και συνοψίζονται στα εξής:

1. Ενίσχυση υπαρχόντων και δημιουργία νέων ερευνητικών υποδομών συνθετικής βιολογίας·
2. Ανάπτυξη διεπιστημονικών προγραμμάτων σπουδών στα Πανεπιστήμια για την ανάπτυξη της συνθετικής βιολογίας·
3. Προετοιμασία των βασικών αξόνων για τα δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας για θέματα που αφορούν την προστασία και την ανοιχτή χρήση των εφευρέσεων·
4. Συμμετοχή σε δημόσιο διάλογο με βάση επιστημονικά δεδομένα σχετικά με τις δυνατότητες και τους κινδύνους της συνθετικής βιολογίας·
5. Μελέτη ζητημάτων ασφαλείας από τη χρήση προϊόντων συνθετικής βιολογίας· και
6. Διοργάνωση της διαχείρισης των δραστηριοτήτων συνθετικής βιολογίας.

Το επιστημονικό δυναμικό της Ελλάδας έχει τις δυνατότητες να υποστηρίξει την ανάπτυξη της συνθετικής βιολογίας στη χώρα. Εάν η Ελλάδα θέλει να συμβαδίσει με τις προσπάθειες των προηγμένων χωρών της ΕΕ, των ΗΠΑ και του ΗΒ δεν έχει παρά να ακολουθήσει τις προτάσεις της EASAC. Με βάση τον μέχρι στιγμής σχεδιασμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την προγραμματική περίοδο 2021-2027, ο τομέας Τρόφιμα, Βιοοικονομία, Φυσικοί Πόροι, Γεωργία και Περιβάλλον αποτελούν έναν από τους τομείς προτεραιότητας του Πυλώνα 2 (Παγκόσμιες προκλήσεις και Ανταγωνιστικότητα της Ευρωπαϊκής Βιομηχανίας). Σύμφωνα με τον εθνικό σχεδιασμό⁴¹, η πρόταση της Ε.Ε. είναι να καταναμηθούν στη χώρα μας €19,2 δισ. για την περίοδο 2021-2027. Η γενναϊόδωρη επένδυση στις προτεινόμενες από την

EASAC δράσεις θα έχει αναμφισβήτητα πολλαπλασιαστικά οφέλη.

Επικοινωνία

Κωνσταντίνος Μαθιόπουλος

Καθηγητής Μοριακής Βιολογίας
Ερευνητικός Υπεύθυνος EY OMIC Engine
Τμήμα Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

e-mail: kmathiop@bio.uth.gr

Τηλ. 2410-565284

⁴¹ ΓΤ Δημοσίων Επενδύσεων & ΕΣΠΑ (2019). 1^η Εγκύκλιος Σχεδιασμού του νέου Εταιρικού Συμφώνου για το Πλαίσιο Ανάπτυξης 2021-2027.