



Co-funded by
the European Union

Κτίρια εμπνευσμένα από τη φύση: Πώς τα φυτά και τα ζώα μας βοηθούν να σχεδιάζουμε καλύτερες πόλεις



BIOS4YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."





ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

· Εισαγωγή.....	2
· Η φύση ως μοντέλο στον σχεδιασμό του δομημένου περιβάλλοντος.....	3
· Οι Λύσεις της Φύσης στις Ανθρώπινες Προκλήσεις.....	4
· Αποτελεσματικός Πολεοδομικός Σχεδιασμός και Ροή... ..	6
· Βιολογικά εμπνευσμένες προσεγγίσεις.....	7
· Πώς τα βιολογικά συστήματα εμπνέουν τον βιώσιμο σχεδιασμό.....	8
· Τερμιτικοί Τύμβοι: Παθητική Θερμική Ρύθμιση και Αερισμός.....	11
· Φύλλο Λωτού: Αυτοκαθαριζόμενες Επιφάνειες.....	12
· Σκαθάρι της ερήμου Namib: Συλλογή νερού από τον αέρα.....	13
· Αξιοποίηση της Επαυξημένης Πραγματικότητας για την Εξερεύνηση του Σχεδιασμού Εμπνευσμένου από τη Φύση στην Εκπαίδευση STEM... ..	15
· Πόροι.....	18





Γενικό θέμα της μαθησιακής διαδρομής	Κτίρια εμπνευσμένα από τη φύση: Πώς τα φυτά και τα ζώα μας βοηθούν να σχεδιάζουμε καλύτερες πόλεις
Συγκεκριμένη ονομασία της μαθησιακής μονάδας	Βιο-Σχεδιασμός στην Αστική Αρχιτεκτονική
Ηλικία χρήστη-στόχου	14-18 ετών
Προαπαιτούμενα για τον μαθητή	Βιολογία, Φυσική και Περιβαλλοντική Επιστήμη
Περιγραφή της μαθησιακής μονάδας	Αυτή η μαθησιακή ενότητα καθοδηγεί τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς στην εξερεύνηση του πώς οι φυσικές στρατηγικές των φυτών και των ζώων μπορούν να εμπνεύσουν βιώσιμες λύσεις στην αρχιτεκτονική και τον αστικό σχεδιασμό. Μέσω μιας διεπιστημονικής προσέγγισης και της χρήσης εργαλείων Επαυξημένης Πραγματικότητας (AR), οι μαθητές θα ανακαλύψουν πώς τα βιολογικά συστήματα μπορούν να οδηγήσουν σε καινοτόμο σχεδιασμό κτιρίων και πόλεων που ανταποκρίνεται στο κλίμα, τη λειτουργία και την ευημερία.
Εμπλεκόμενο θέμα	Βιολογία, Φυσική, Περιβαλλοντική Επιστήμη, Τέχνη/Σχεδιασμός, Γεωγραφία, Μαθηματικά
Λέξεις-κλειδιά	Βιομιμητισμός, Αρχιτεκτονική Εμπνευσμένη από τη Φύση, Βιώσιμες Πόλεις, Βιοσχεδιασμός, Αστική Οικολογία, Πράσινη Καινοτομία, Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR), Διαδραστική Μάθηση
Βασικές δεξιότητες, ικανότητες, γνώσεις που μπορούν να αποκτηθούν	Κατανοήστε πώς οι βιολογικές αρχές μπορούν να εφαρμοστούν σε αρχιτεκτονικές και αστικές προκλήσεις Προσδιορίστε παραδείγματα κτιρίων εμπνευσμένων από τη βιολογία και τους φυσικούς οργανισμούς που τα ενέπνευσαν Μάθετε πώς να σχεδιάζετε κατασκευές που ανταποκρίνονται στο κλίμα χρησιμοποιώντας τη φύση ως μοντέλο





	Αναπτύξτε τη δημιουργικότητα και την επίλυση προβλημάτων μέσω δραστηριοτήτων σχεδιασμού που βασίζονται στην επαυξημένη πραγματικότητα (AR)
	Εξερευνήστε την έννοια των αναγεννητικών και βιώσιμων αστικών περιβαλλόντων
Πόροι και διδακτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν	Ερευνητικές εργασίες, βιβλία, επιστημονικές βάσεις δεδομένων, αποτελέσματα διαδικτυακών σεμιναρίων, διαδικτυακοί πόροι, εργαλεία επαυξημένης πραγματικότητας (π.χ. JigSpace, Assemblr EDU, Merge Cube, CoSpaces Edu).
Κριτήρια αξιολόγησης και αξιολόγηση	Με βάση τις γνώσεις, τις ικανότητες και τις δεξιότητες που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια του μαθήματος, συμπεριλαμβανομένων αξιολογήσεων που βασίζονται στην επαυξημένη πραγματικότητα (AR), όπως προσομοιώσεις, δημιουργία πρωτοτύπων και ανατροφοδότηση.

Εισαγωγή

Οι πόλεις έχουν καταστεί κεντρικό στοιχείο της ανθρώπινης ζωής και ανάπτυξης καθώς ο κόσμος αστικοποιείται. Με την επιτάχυνση της παγκόσμιας αύξησης του πληθυσμού, οι αστικές περιοχές απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος αυτής της αύξησης. Σύμφωνα με την έκθεση του ΟΗΕ για τα Περιβάλλοντα (Judith Oginga, 2022), εκτιμάται ότι έως το 2050, σχεδόν το 70% του παγκόσμιου πληθυσμού θα ζει σε πόλεις. Αυτή η ταχεία αστική επέκταση ασκεί τεράστια πίεση στα φυσικά συστήματα, καθώς οι πόλεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από εξωτερικούς πόρους για να διατηρήσουν τις λειτουργίες και τους κατοίκους τους.

Ιστορικά, πολλά αστικά περιβάλλοντα έχουν σχεδιαστεί χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα περιβάλλοντα οικοσυστήματα. Όπως σημείωσαν οι Othmani et al. (2022), πολλά δομημένα περιβάλλοντα έχουν αναπτυχθεί σαν να είναι ξεχωριστά από τη φύση, με αποτέλεσμα δομές και συστήματα που συχνά διαταράσσουν την οικολογική ισορροπία. Αυτή η αποσύνδεση έχει οδηγήσει σε εύθραυστα αστικά συστήματα που δεν είναι κατάλληλα εξοπλισμένα για να ανταποκριθούν στην κλιματική αλλαγή, την απώλεια βιοποικιλότητας και την εξάντληση των πόρων. Για να δημιουργηθούν πιο ανθεκτικές πόλεις, η μελλοντική ανάπτυξη πρέπει να ευθυγραμμίζεται με τις οικολογικές αρχές, υποστηρίζοντας την ανθρώπινη ευημερία, την αναγεννητική χρήση πόρων και την ενσωμάτωση με το φυσικό περιβάλλον.

Σε απάντηση στην περιβαλλοντική υποβάθμιση που προκαλείται από την αστικοποίηση, οι πόλεις παγκοσμίως αρχίζουν να εφαρμόζουν λύσεις που επιδιώκουν μια καλύτερη ισορροπία μεταξύ κοινωνίας και φύσης. Μια αναδυόμενη προσέγγιση είναι η χρήση λύσεων που βασίζονται στη φύση (NbS). Η Παγκόσμια Τράπεζα εισήγαγε για πρώτη φορά αυτήν την έννοια το 2008 και ορίστηκε επίσημα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2015 (Sowińska-Świerkosz και García, 2022). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή περιγράφει τις NbS ως δράσεις που εμπνέονται, υποστηρίζονται





ή βασίζονται άμεσα στη φύση. Ομοίως, η Διεθνής Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης (IUCN) ορίζει τις λύσεις που βασίζονται στη φύση ως «δράσεις για την προστασία, τη βιώσιμη διαχείριση και την αποκατάσταση φυσικών ή τροποποιημένων οικοσυστημάτων» (Matthews et al., 2022).

Πρόσφατες μελέτες υπογραμμίζουν ότι ο ρόλος των NbS στις πόλεις υπερβαίνει την οικολογική αποκατάσταση. Ενώ αυτές οι στρατηγικές είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της βιοποικιλότητας, προσφέρουν επίσης ευρύτερα οφέλη σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση πράσινων υποδομών, όπως αστικά δάση, υγρά τοπία ή πράσινες στέγες, μπορεί να βελτιώσει τη δημόσια υγεία, να ενισχύσει την ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή, να δημιουργήσει τοπικές θέσεις εργασίας και να συμβάλει στην κοινωνική συνοχή. Ως εκ τούτου, οι λύσεις που βασίζονται στη φύση αναγνωρίζονται ολοένα και περισσότερο ως απαραίτητα εργαλεία για την οικοδόμηση βιώσιμων, χωρίς αποκλεισμούς και ανθεκτικών αστικών περιβαλλόντων.

Ενόψει της ραγδαίας αστικοποίησης, της υποβάθμισης του περιβάλλοντος και των κλιμακούμενων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, η επανεξέταση του σχεδιασμού των πόλεων μας έχει καταστεί παγκόσμια επιτακτική ανάγκη. Οι συμβατικές μέθοδοι αστικής ανάπτυξης βασίζονται σε τεχνολογίες έντασης πόρων που συμβάλλουν στη ρύπανση, την ενεργειακή σπατάλη και τη διαταραχή των οικοσυστημάτων. Μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση που κερδίζει έδαφος στην αρχιτεκτονική και τον αστικό σχεδιασμό είναι η έννοια της βιο-έμπνευσης, γνωστή και ως βιομιμητική. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει τη μελέτη και την εξομίωση των στρατηγικών που βρίσκονται στη φύση για την επίλυση των προκλήσεων του ανθρώπινου σχεδιασμού. Μέσα από 3,8 δισεκατομμύρια χρόνια εξέλιξης, η φύση έχει αναπτύξει εξαιρετικά αποτελεσματικά και ανθεκτικά συστήματα που διατηρούν τη ζωή χωρίς να εξαντλούν τους πόρους. Όπως δήλωσε ο Benyus (1997), «Η ζωή δημιουργεί συνθήκες που ευνοούν τη ζωή», μια φιλοσοφία στην καρδιά της βιομιμητικής σκέψης.

Ένα συναρπαστικό παράδειγμα βιο-έμπνευσης στην πράξη είναι το Eastgate Centre στη Χαράρε της Ζιμπάμπουε. Αυτό το κτίριο, σχεδιασμένο από τον αρχιτέκτονα Mick Pearce, αντλεί έμπνευση απευθείας από τη δομή των τύμβων τερμιτών, οι οποίοι μπορούν να διατηρήσουν τη σταθερότητα της εσωτερικής θερμοκρασίας μέσω μηχανισμών παθητικού αερισμού. Όπως περιέγραψαν οι Kennedy et al. (2015), το Eastgate Centre χρησιμοποιεί αυτό το μοντέλο για να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας έως και 90% σε σύγκριση με τα παραδοσιακά κτίρια με μηχανικά συστήματα ελέγχου του κλίματος. Αυτή η περίπτωση καταδεικνύει πώς η κατανόηση των βιολογικών αρχών μπορεί να οδηγήσει σε μετασχηματιστικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση και τη βιωσιμότητα.

Μια άλλη ευρέως μελετημένη περίπτωση αφορά το φύλλο του λωτού, του οποίου η μικροσκοπική επιφανειακή δομή προκαλεί το νερό να σχηματίζει σταγόνες και να κυλάει, καθαρίζοντάς το. Αυτό έχει εμπνεύσει την ανάπτυξη αυτοκαθαριζόμενων υλικών που χρησιμοποιούνται πλέον στην αρχιτεκτονική, μειώνοντας την κατανάλωση νερού και το κόστος συντήρησης (Vincent et al., 2006). Ομοίως, τα χαρακτηριστικά της φλούδας του κάκτου που





ανακλούν τη θερμότητα και συλλέγουν το νερό έχουν επηρεάσει τα σχέδια κτιρίων σε άνυδρες περιοχές που απαιτούν καινοτόμες λύσεις θερμικής και διαχείρισης νερού.

Πέρα από τα μεμονωμένα δομικά στοιχεία, η βιομίμηση προσφέρει επίσης γνώσεις σε επίπεδο συστήματος. Τα μοτίβα διακλάδωσης των δέντρων και των ριζικών δικτύων έχουν εφαρμοστεί για τη βελτιστοποίηση της διάταξης των αστικών συστημάτων μεταφορών και ύδρευσης, μοντελοποιώντας αποτελεσματικά δίκτυα διανομής και ελαχιστοποιώντας την απώλεια ενέργειας σε μια πόλη (Vincent et al., 2006). Αυτά τα παραδείγματα υπογραμμίζουν πώς η βιο-έμπνευση είναι μια δημιουργική, επιστημονική και στρατηγική διαδικασία που βασίζεται στην παρατήρηση, την ανάλυση και τη συστηματική σκέψη.

Για να γίνουν αυτές οι έννοιες προσβάσιμες και ελκυστικές για μαθητές λυκείου (ηλικίες 14-18 ετών), αυτή η εκπαιδευτική ενότητα ενσωματώνει την Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) ως κεντρικό εργαλείο. Η AR επιτρέπει στους μαθητές να εξερευνούν φυσικά συστήματα σε 3D, να αλληλεπιδρούν με κρυφές βιολογικές δομές και να τα συγκρίνουν απευθείας με ανθρώπινα σχέδια. Αυτή η καθηλωτική εμπειρία υποστηρίζει την εννοιολογική μάθηση και τη δημιουργική εξερεύνηση, παρέχοντας μια γέφυρα μεταξύ της βιολογικής επιστήμης, της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και της ψηφιακής τεχνολογίας. Σχεδιάζοντας τα κτίριά τους εμπνευσμένα από τη φύση στην AR, οι μαθητές μπορούν να πειραματιστούν με ιδέες χωρίς περιορισμούς υλικών, ενισχύοντας την ευαισθητοποίηση για τη βιωσιμότητα και την καινοτόμο σκέψη.

Ουσιαστικά, αυτή η ενότητα στοχεύει να εμπνεύσει την επόμενη γενιά αρχιτεκτόνων, μηχανικών και περιβαλλοντικών υπευθύνων, δείχνοντάς τους ότι μερικές από τις πιο καινοτόμες λύσεις για τον αστικό σχεδιασμό έχουν ήδη εφευρεθεί από τη φύση. Μέσω της πρακτικής αλληλεπίδρασης και του επιστημονικού στοχασμού, οι μαθητές θα δουν το δομημένο περιβάλλον όχι ως ξεχωριστό από τον φυσικό κόσμο, αλλά ως κάτι που μπορεί να μάθει από αυτόν και να συνυπάρχει με αυτόν.

Η φύση ως μοντέλο στον σχεδιασμό του δομημένου περιβάλλοντος

Η φύση αποτελεί εδώ και καιρό πηγή έμπνευσης για την αρχιτεκτονική, επηρεάζοντας διάφορα κινήματα σχεδιασμού σε όλη την ιστορία. Από τις βιομορφικές μορφές του Γκαουντί μέχρι τη δομική κομψότητα των σύγχρονων έργων του Σαντιάγο Καλατράβα, και τα δύο αντλούν σε μεγάλο βαθμό από μοτίβα και γεωμετρίες στον φυσικό κόσμο. Ενώ η παλαιότερη αρχιτεκτονική εμπνευσμένη από τη φύση συχνά επικεντρώνονταν στην αισθητική, τώρα υπάρχει μια αυξανόμενη τάση προς τον διεπιστημονικό σχεδιασμό που επιδιώκει κάτι περισσότερο από την οπτική έμπνευση. Αυτή η αναδυόμενη προσέγγιση ενσωματώνει βιολογικές στρατηγικές που βοηθούν στη μείωση της κατανάλωσης φυσικών πόρων και στη μείωση των εκπομπών άνθρακα, ευθυγραμμίζοντας την αρχιτεκτονική με τη μετάβαση από μια βιομηχανική σε μια οικολογική εποχή (Dixit και Stefańska, 2023).

Η ικανότητα της φύσης να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες έχει τεκμηριωθεί επαρκώς σε όλους τους επιστημονικούς κλάδους (Jamei και Vrcelj, 2021). Όπως σημείωσαν οι Wu et al. (2020), ένας βασικός στόχος του βιο-εμπνευσμένου σχεδιασμού είναι η





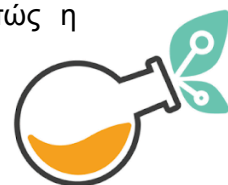
αποκατάσταση των περιβαλλοντικών λειτουργιών και των μοτίβων τοπίου, μετατρέποντας το δομημένο περιβάλλον σε ένα πιο αποτελεσματικό, χαμηλών εκπομπών άνθρακα και ανθεκτικό σύστημα. Η Κίνα παρέχει ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα, όπου η εφαρμογή βιώσιμων οικολογικών αρχών τα τελευταία 50 χρόνια έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πόλεων που έχουν σχεδιαστεί για την αναγέννηση των φυσικών οικοσυστημάτων. Αυτές οι «οικο-πόλεις» δίνουν έμφαση σε ολοκληρωμένες λύσεις σε πέντε θεμελιώδη συστήματα: ενέργεια, τρόφιμα, μεταφορές, απόβλητα και νερό.

Στο δομημένο περιβάλλον, ο βιοεμπνευσμένος σχεδιασμός έχει εκδηλωθεί με διάφορους τρόπους, ειδικά μέσω της αυξανόμενης υιοθέτησης της βιομίμησης. Την τελευταία δεκαετία, η βιομίμηση έχει γίνει μια καθοριστική πτυχή πολλών σύγχρονων αρχιτεκτονικών έργων. Σύμφωνα με τους Ferwati et al. (2019), εννέα βασικά χαρακτηριστικά έχουν αναδειχθεί στις πρακτικές βιομιμητικού σχεδιασμού: μορφή και λειτουργία, γεωμετρία, μεταφορά, υλικό, κίνηση, μοτίβο, αναλογία, βιωσιμότητα και τεχνολογία. Αυτά τα χαρακτηριστικά αντανακλούν τους ποικίλους τρόπους με τους οποίους οι φυσικές αρχές μεταφράζονται στην αρχιτεκτονική γλώσσα.

Πρόσφατη ακαδημαϊκή έρευνα δίνει επίσης έμφαση στην εννοιολογική διαμόρφωση της φύσης ως οδηγού στη διαδικασία σχεδιασμού. Οι Oguntona και Aigbavboa (2023b) υποστηρίζουν ότι η θεώρηση της φύσης ως μέντορα καθιστά το φυσικό οικοσύστημα ένα πολύτιμο σημείο αναφοράς για συνεχή μάθηση και δημιουργική καινοτομία. Προσδιορίζουν τρεις βασικές διαστάσεις στον βιο-εμπνευσμένο σχεδιασμό: μίμηση, άμιλλα και έμπνευση. Αυτές οι διαστάσεις επιτρέπουν στους σχεδιαστές να εξερευνήσουν τη φύση για δομικά μοντέλα και στρατηγικές που βασίζονται σε διαδικασίες και συστήματα. Όπως σημειώνουν περαιτέρω οι Oguntona και Aigbavboa (2023a), η ενσωμάτωση αυτών των προσεγγίσεων στο σχεδιασμό του δομημένου περιβάλλοντος προσφέρει εξαιρετικές δυνατότητες για τη μείωση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και την ελαχιστοποίηση της εκμετάλλευσης των πόρων.

Οι Λύσεις της Φύσης στις Ανθρώπινες Προκλήσεις

Αντιμέτωπες με τις κλιμακούμενες περιβαλλοντικές και κοινωνικές προκλήσεις, οι πόλεις παγκοσμίως δέχονται αυξανόμενη πίεση να γίνουν πιο βιώσιμες, ανθεκτικές και προσαρμοστικές. Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις στον πολεοδομικό σχεδιασμό συχνά αποτυγχάνουν να αντιμετωπίσουν αυτές τις πολύπλοκες απαιτήσεις, ωθώντας πολλούς αρχιτέκτονες, μηχανικούς και σχεδιαστές να αναζητήσουν καθοδήγηση από τον φυσικό κόσμο. Αυτή η προσέγγιση, γνωστή ως βιο-έμπνευση ή βιομιμητισμός, περιλαμβάνει τη μελέτη των μορφών, των διαδικασιών και των συστημάτων που αναπτύχθηκαν από τη φύση κατά τη διάρκεια δισεκατομμυρίων ετών και τη μετατροπή των υποκείμενων αρχών τους σε ανθρωποκεντρικές λύσεις σχεδιασμού. Σε αντίθεση με την απλή μίμηση, η βιομιμητική, όπως ορίζεται από τους Vincent et al. (2006), επικεντρώνεται στην εξαγωγή λειτουργικών στρατηγικών από βιολογικά συστήματα για την επίλυση ανθρώπινων προβλημάτων με καινοτόμους και βιώσιμους τρόπους. Η φύση προσφέρει ένα τεράστιο αποθετήριο δοκιμασμένων λύσεων, καθεμία από τις οποίες βελτιώνεται μέσω εξελικτικών δοκιμών και σφαλμάτων για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης με ελάχιστα απόβλητα. Σε αυτήν την ενότητα, διερευνούμε πώς η





βιο-εμπνευσμένη σκέψη μπορεί να εφαρμοστεί σε πέντε κρίσιμες αστικές προκλήσεις, αποκαλύπτοντας πώς οι οργανισμοί και τα οικοσυστήματα μπορούν να μας βοηθήσουν να επαναπροσδιορίσουμε το μέλλον των πόλεών μας.

- Παθητική ρύθμιση θερμοκρασίας

Η διαχείριση της εσωτερικής θερμοκρασίας χωρίς την έντονη εξάρτηση από ενεργοβόρα συστήματα είναι μια από τις κύριες προκλήσεις στην αστική αρχιτεκτονική. Για παράδειγμα, οι τύμβοι τερμιτών στην υποσαχάρια Αφρική διατηρούν μια σταθερή εσωτερική θερμοκρασία παρά τις εξωτερικές διακυμάνσεις, χρησιμοποιώντας πολύπλοκα συστήματα σιράγγων που διευκολύνουν την παθητική ροή αέρα. Αυτός ο φυσικός μηχανισμός ενέπνευσε τον σχεδιασμό του Eastgate Centre στη Χαράρε της Ζιμπάμπουε, ενός εμπορικού κτιρίου που χρησιμοποιεί παρόμοιες τεχνικές παθητικού αερισμού για να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας έως και 90% σε σύγκριση με τα παραδοσιακά κτίρια (Turner & Soar, 2008).

- Συλλογή και Διατήρηση Νερού

Τα φυτά και τα ζώα έχουν αναπτύξει εξαιρετικά εξειδικευμένες μεθόδους για τη συλλογή και εξοικονόμηση νερού σε άνυδρα περιβάλλοντα. Ο κάκτος χρησιμοποιεί μια ραβδωτή επιφάνεια για να κατευθύνει αποτελεσματικά τη δροσιά προς τις ρίζες του. Ταυτόχρονα, το σκαθάρι της ερήμου Namib χρησιμοποιεί εναλλασσόμενα υδρόφοβα και υδρόφιλα μοτίβα στο κέλυφός του για να συμπυκνώνει και να συλλέγει νερό από τον αέρα. Εμπνευσμένοι από αυτούς τους οργανισμούς, οι μηχανικοί έχουν αναπτύξει κτίρια και συστήματα στέγης που συλλέγουν ομίχλη, ικανά να εξάγουν νερό από την ατμόσφαιρα χωρίς να βασίζονται σε αντλίες ή χημικά (Nørgaard et al., 2012).

- Αυτοκαθαριζόμενες και επιφανειακές επιφάνειες χαμηλής συντήρησης

Η συντήρηση κτιρίων συχνά απαιτεί σημαντική χρήση νερού και χημικών ουσιών. Ωστόσο, στη φύση, το φύλλο του λωτού έχει αναπτύξει μια νανοδομημένη επιφάνεια που απωθεί το νερό και απομακρύνει τα σωματίδια βρωμιάς καθώς στεγνώνει. Αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως φαινόμενο του λωτού, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη αυτοκαθαριζόμενων γυαλιών, ηλιακών συλλεκτών και επιστρώσεων προσόψεων που μειώνουν τις ανάγκες συντήρησης, ενώ παράλληλα αυξάνουν την ανθεκτικότητα και την καθαριότητα (Barthlott & Neinhuis, 1997; Koch et al., 2009).

- Ελαφριές αλλά ανθεκτικές κατασκευές

Η φύση συχνά επιτυγχάνει αξιοσημείωτη αντοχή χρησιμοποιώντας ελάχιστο υλικό. Το μετάξι της αράχνης είναι ένα ξεχωριστό παράδειγμα, προσφέροντας αντοχή σε εφελκυσμό μεγαλύτερη από τον χάλυβα σε σχέση με το βάρος του. Οι κυψελωτές κατασκευές σε κυψέλες και άλλους οργανισμούς κατανέμουν αποτελεσματικά την τάση, ενώ παράλληλα εξοικονομούν υλικό. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται ευρέως σε αρθρωτές κατασκευές, αεροδιαστημική και αρχιτεκτονικό σχεδιασμό πάνελ για τη μείωση του φορτίου και της χρήσης πόρων, διατηρώντας παράλληλα τη δομική ακεραιότητα (Fratzl & Barth, 2009; Vincent et al., 2006).





Αποτελεσματικός Πολεοδομικός Σχεδιασμός και Ροή

Στα φυσικά συστήματα, οι διακλαδούμενες δομές των δέντρων, τα ριζικά δίκτυα και τα αγγειακά συστήματα βελτιστοποιούνται για να κατανέμουν πόρους όπως το νερό, τα θρεπτικά συστατικά και την ενέργεια με ελάχιστη αντίσταση. Οι πολεοδόμοι και οι σχεδιαστές υποδομών στρέφονται όλο και περισσότερο σε αυτά τα φυσικά πρότυπα για να ενημερώσουν τον σχεδιασμό δικτύων μεταφορών, πεζοδρόμων και συστημάτων κοινής ωφέλειας. Αυτά τα βιομιμητικά σχέδια ενισχύουν τη συνδεσιμότητα, μειώνουν τη συμφόρηση και επιτρέπουν την αποκεντρωμένη διανομή ενέργειας και νερού, βελτιώνοντας την ανθεκτικότητα και την αποτελεσματικότητα. Όπως τονίζει ο Badarnah (2017), οι βιομιμητικές αρχές που προέρχονται από οικολογικά διακλαδούμενα συστήματα προσφέρουν πρακτικές στρατηγικές για την προσαρμογή των πόλεων σε σύνθετες περιβαλλοντικές και κοινωνικές απαιτήσεις, διατηρώντας παράλληλα την αρμονία με το φυσικό τοπίο.

Η βιομίμηση μπορεί να εφαρμοστεί σε τρία επίπεδα: μορφή, διαδικασία και σύστημα. Το επίπεδο μορφής περιλαμβάνει την μίμηση της λειτουργίας που προέρχεται από τη συγκεκριμένη μορφή ενός οργανισμού, ενός μέρους του ή της παραγωγής του. Αυτό το επίπεδο εστιάζει στη μορφολογία που βρίσκεται στη φύση. Το επίπεδο διαδικασίας της βιομίμησης μιμείται τη συμπεριφορά ή τις διαδικασίες παραγωγής οργανισμών ή ομάδων οργανισμών. Τέλος, η βιομίμηση σε επίπεδο συστήματος μιμείται τη λειτουργία, τις αρχές και τις στρατηγικές των οικοσυστημάτων (Jain et al., 2023). Στο πλαίσιο των πόλεων, πολύπλοκα συστήματα που περιλαμβάνουν ανθρώπους, υποδομές, περιβαλλοντικό πλαίσιο και σχέσεις, τα οικοσυστήματα χρησιμεύουν ως το πιο σχετικό και κατάλληλο επίπεδο έμπνευσης. Τα οικοσυστήματα αποτελούνται από βιοτικά στοιχεία, ανάλογα με τα δομημένα στοιχεία μιας ανθρώπινης πόλης, και αβιοτικά στοιχεία, τα οποία μπορούν να συγκριθούν με το αστικό περιβάλλον και το πλαίσιο. Επιπλέον, τα οικοσυστήματα περιλαμβάνουν αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των στοιχείων.

Οι Madmar et al. (2023) πρότειναν μια παραλληλία μεταξύ της σύνθεσης ενός οικοσυστήματος και της σύνθεσης και λειτουργίας ενός αστικού συστήματος στο Σχήμα 1. Ενώ η βιομίμηση σε επίπεδο οικοσυστήματος μπορεί να ενσωματώσει τη βιομίμηση σε επίπεδο μορφής και διαδικασίας, λαμβάνει συστηματικά υπόψη τα οφέλη μεγαλύτερης κλίμακας. Αυτή η προσέγγιση παρέχει πιο ολοκληρωμένες και συντονισμένες λύσεις στις συστηματικές προκλήσεις των πόλεων. Οι παλαιότερες αναλογίες μεταξύ του ανθρώπινου οργανισμού και των τρεχουσών εργασιών για τον αστικό μεταβολισμό είναι περιορισμένες και ασχολούνται κυρίως με το ζήτημα της αστικής ροής (Dicks et al., 2021).



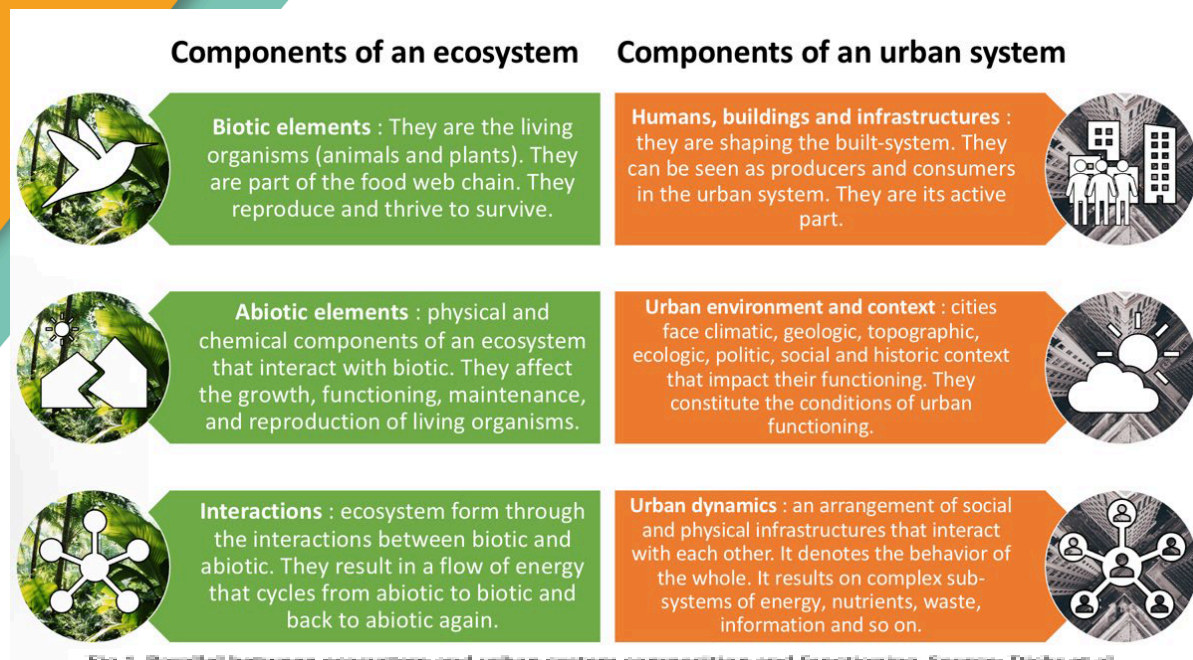


Fig. 1. Parallel between ecosystem and urban system composition and functioning. Source: Dickie et al., 2021.

INCLUDE PICTURE
"https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/542b0d79e4b0a28c59e2b52a0/1511-94d7-4971-61463-710323db0a47/Screen+Shot+2023-05-30+at+10:25:13+AM.png" /" MERGEPHONETIC"

Βιολογικά εμπνευσμένες προσεγγίσεις:

Προσεγγίσεις εμπνευσμένες από τη φύση έχουν εμφανιστεί σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της αρχιτεκτονικής και του πολεοδομικού σχεδιασμού, με τη βιονική, τη βιομιμητική και τη βιομιμητική να είναι οι τρεις βιο-εμπνευσμένες προσεγγίσεις σχεδιασμού που αναφέρονται συνήθως. Ως γενική ορολογία, η Βιονική άρχισε να εφαρμόζεται το 1958 από τον Jack Steel ως ένας συνδυασμός βιολογίας και τεχνικής. Εστιάζει στις μηχανικές ικανότητες της φύσης, εξάγοντας τις φυσικές της αρχές ως έμπνευση για την ανάπτυξη ενός τεχνικού σχεδιασμού. Ωστόσο, η εφαρμογή της μπορεί να οδηγήσει σε μη βιώσιμες λύσεις, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση αυτών των λύσεων με τη βιωσιμότητα (Λάντρουμ και Μιντ, 2022). Εν τω μεταξύ, μέσω της κατανόησης και της ανάλυσης, η βιομιμητική μεταφέρει χαρακτηριστικά, ιδιότητες και συστήματα από τη φύση στο τεχνητό περιβάλλον (Ουρντινόλα-Σέρνα και σχέδιο, 2018). Ο όρος βιομιμητική, ο οποίος προέρχεται από τις ρίζες βίος (ζωή) και μίμηση (μιμείται), χρονολογείται από το 1969, χάρη στον βιοφυσικό και μηχανικό Otto Schmitt, και επικεντρώνεται κυρίως στη μίμηση της φύσης, τόσο στην εφαρμογή όσο και στη μορφή. Τέλος, η βιομιμητική ορίστηκε από τον Benyus το 1997 ως η επιστήμη που μιμείται τα μοντέλα της φύσης. Αυτή, με τη σειρά της, χρησιμοποιεί ένα οικολογικό πρότυπο που μετρά την αλληλεπίδρασή της με το περιβάλλον, το οποίο την πηγαίνει ένα βήμα πέρα από τη βιονική και τη βιομιμητική, ανησυχώντας για τη βιωσιμότητα στην εφαρμογή της (Λάντρουμ και Μιντ, 2022).

Η διαδικασία σχεδιασμού βιομιμητικής τεχνικής ακολουθεί συνήθως μια αμφίδρομη μεθοδολογία που περιλαμβάνει δύο συμπληρωματικές προσεγγίσεις, όπως περιγράφονται από τους Bader et al. (2021), Chayaamor-Heil (2023) και Urdinola-Serna και Diseño (2018). Η πρώτη είναι η προσέγγιση που εστιάζει στο πρόβλημα, όπου οι σχεδιαστές ξεκινούν προσδιορίζοντας μια συγκεκριμένη πρόκληση ή στόχο σχεδιασμού. Μόλις οι παράμετροι του προβλήματος





καθοριστούν με σαφήνεια, αναζητούν στη φύση στρατηγικές που χρησιμοποιούνται από φυτά, ζώα ή οικοσυστήματα και οι οποίες θα μπορούσαν να παρέχουν βιώσιμες λύσεις.

Η δεύτερη είναι η προσέγγιση που βασίζεται στις λύσεις, συχνά από τις βιολογικές επιστήμες. Σε αυτή τη μέθοδο, οι ερευνητές ή οι επιστημονικά ενημερωμένοι σχεδιαστές ξεκινούν μελετώντας βιολογικά συστήματα ή συμπεριφορές που παρουσιάζουν ενδιαφέρουσες ή αποτελεσματικές λειτουργίες. Αυτές οι φυσικές στρατηγικές αναλύονται στη συνέχεια για την πιθανή τους σχέση με τα προβλήματα ανθρώπινου σχεδιασμού, επιτρέποντας στις βιολογικές γνώσεις να καθοδηγήσουν την ανάπτυξη καινοτόμων αρχιτεκτονικών ή μηχανικών λύσεων.

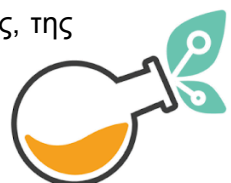
Μαζί, αυτές οι δύο προσεγγίσεις αντικατοπτρίζουν τη διεπιστημονική φύση της βιομιμητικής, επιτρέποντας στα προβλήματα σχεδιασμού και στη βιολογική γνώση να αλληλοενημερώνονται σε μια συνεχή, επαναληπτική διαδικασία.

Πώς τα βιολογικά συστήματα εμπνέουν τον βιώσιμο σχεδιασμό

Ο βιοεμπνευσμένος σχεδιασμός, ή βιομίμηση, αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο ως μια δημιουργική προσέγγιση και μια αυστηρή επιστημονική μεθοδολογία για την αντιμετώπιση των προκλήσεων βιωσιμότητας στο δομημένο περιβάλλον. Σύμφωνα με τους Aamer et al. (2020), η βιομίμηση επιτρέπει στους σχεδιαστές να προχωρήσουν πέρα από την επιφανειακή μίμηση της φύσης και προς μια βαθύτερη ενσωμάτωση των βιολογικών αρχών στην απόδοση των κτιρίων. Αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση του τρόπου με τον οποίο οι οργανισμοί προσαρμόζονται στο περιβάλλον τους, διαχειρίζονται την ενέργεια, το νερό και τις ροές υλικών, και πώς οι εσωτερικές τους συμπεριφορές μπορούν να εμπνεύσουν συστημικές αρχιτεκτονικές λύσεις.

Μια βασική έννοια είναι η κλειστή ροή υλικών και ενέργειας που παρατηρείται στα οικοσυστήματα. Σε ένα δάσος, τα απόβλητα από έναν οργανισμό γίνονται τροφή για έναν άλλο. Τίποτα δεν απορρίπτεται. Οι αστικοί σχεδιαστές αρχίζουν να υιοθετούν αυτό το μοντέλο μέσω κυκλικών αστικών συστημάτων, όπου τα απόβλητα, το νερό και η ενέργεια ανακυκλώνονται. Αυτή η σκέψη σε επίπεδο συστήματος αντικατοπτρίζει τη λογική των οικοσυστημάτων και υποστηρίζει πιο ανθεκτικές αστικές υποδομές (Kennedy et al., 2015). Ακόμη και η δομή των οργανισμών επηρεάζει τον σχεδιασμό. Για παράδειγμα, η μορφή του ψαριού-κουτί έχει εμπνεύσει αεροδυναμικά αυτοκίνητα και προσόψεις κτιρίων λόγω της βελτιστοποιημένης δομής του για τη μείωση της οπισθέλκουσας (Bar-Cohen, 2012). Αυτά τα παραδείγματα καταδεικνύουν ότι η φύση παρέχει τόσο λειτουργικά μοντέλα όσο και αρχές σχεδιασμού που μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνουμε τις μελλοντικές πόλεις.

Μία από τις πιο κρίσιμες μετατοπίσεις που υποστηρίζονται στην πρόσφατη έρευνα είναι από τη μίμηση της μορφής της φύσης στην κατανόηση και την αναπαραγωγή της λειτουργίας και της συμπεριφοράς της. Οι Aamer et al. (2020) τονίζουν τη σημασία αυτής της μετάβασης, επισημαίνοντας το κενό στις παλαιότερες αρχιτεκτονικές πρακτικές, οι οποίες συχνά χρησιμοποιούσαν τη φυσική αισθητική χωρίς να επιτυγχάνουν λειτουργική βιωσιμότητα. Μέσω μιας βιομιμητικής προσέγγισης βασισμένης σε προβλήματα, προτείνουν μια μεθοδολογία που εστιάζει στη συμπεριφορά των κτιρίων, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής απόδοσης, της





θερμικής άνεσης, της απόδοσης των υλικών και της περιβαλλοντικής ανταπόκρισης. Αυτή η διαδικασία ξεκινά με τον εντοπισμό αρχιτεκτονικών προκλήσεων και την αναζήτηση λύσεων από βιολογικά μοντέλα ρόλων που έχουν εξελιχθεί για να ξεπεράσουν παρόμοιες συνθήκες.

Η μεθοδολογία που περιγράφεται στη μελέτη τους περιλαμβάνει την προσομοίωση βιολογικών συστημάτων μέσω πειραματικής αφαίρεσης και τη μετατροπή τους σε αρχιτεκτονικά πρωτότυπα. Καλύπτει τρία επίπεδα βιομιμητισμού: επίπεδο οργανισμού (συγκεκριμένη μορφή ή λειτουργία), επίπεδο συμπεριφοράς (αλληλεπίδραση με το περιβάλλον) και επίπεδο οικοσυστήματος (συστημικές ροές και σχέσεις). Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο επίπεδο συμπεριφοράς, καθώς επιτρέπει στα κτίρια να αντιδρούν προσαρμοστικά, παρόμοια με τον τρόπο που οι ζωντανοί οργανισμοί ρυθμίζουν τη θερμότητα, την υγρασία ή το φως.

- Επίπεδα στο σχεδιασμό βιομιμητικής

Ο βιομιμητικός σχεδιασμός μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικά επίπεδα ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο οι σχεδιαστές ερμηνεύουν και εξάγουν φυσικές ιδέες. Σύμφωνα με τους Bader et al. (2021) και Chayaamor-Heil (2023), η βιομιμητία λειτουργεί σε τρία κύρια επίπεδα: οργανισμό, συμπεριφορά και οικοσύστημα.

Το επίπεδο του οργανισμού περιλαμβάνει άμεση έμπνευση από ένα συγκεκριμένο φυτό ή ζώο. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την αντιγραφή ολόκληρου του οργανισμού ή την εστίαση σε ένα συγκεκριμένο δομικό ή λειτουργικό χαρακτηριστικό που μπορεί να εφαρμοστεί σε μια σχεδιαστική πρόκληση. Το επίπεδο συμπεριφοράς εστιάζει στον τρόπο με τον οποίο ένας ζωντανός οργανισμός αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του. Αυτό περιλαμβάνει τη μελέτη προσαρμοστικών δράσεων, όπως το πώς συγκεκριμένα είδη διαχειρίζονται τη θερμοκρασία, την υγρασία ή την κίνηση προς το περιβάλλον τους. Το επίπεδο του οικοσυστήματος υιοθετεί μια ευρύτερη προσέγγιση, αντλώντας από τις αρχές που επιτρέπουν στα οικοσυστήματα να λειτουργούν αποτελεσματικά και βιώσιμα. Αυτές περιλαμβάνουν τον ενεργειακό κύκλο, τη βιοποικιλότητα, τις συμβιωτικές σχέσεις και την ανθεκτικότητα.

Περαιτέρω βελτίωση της βιομιμητικής ερμηνείας εντοπίζεται στο έργο των Mirniazmandan και Rahimianzarif (2017), οι οποίοι προτείνουν πέντε υποεπίπεδα μίμησης: μορφή, υλικό, κατασκευή, διαδικασία και λειτουργία. Αυτά επιτρέπουν στους σχεδιαστές να απομονώσουν συγκεκριμένες πτυχές των βιολογικών συστημάτων που μπορεί να είναι σχετικές με το δομημένο περιβάλλον. Επιπλέον, οι Oguntona και Aigbavboa (2023a) περιγράφουν τρεις εννοιολογικές προσεγγίσεις στην εργασία με τη βιο-έμπνευση: μίμηση, μίμησης και έμπνευση. Αυτές οι διαστάσεις κυμαίνονται από την άμεση αντιγραφή των μορφών της φύσης έως την σχεδίαση αφηρημένων ιδεών και την δημιουργική εφαρμογή τους για την επίλυση προβλημάτων σχεδιασμού.

Μια σχετική έννοια που υποστηρίζει τη στροφή προς τον σχεδιασμό που ενσωματώνεται στη φύση είναι η βιοφιλία. Αν και τεχνικά δεν κατατάσσεται στον βιοεμπνευσμένο σχεδιασμό, ο βιοφιλικός σχεδιασμός προωθεί τη σύνδεση μεταξύ των ανθρώπων και του φυσικού κόσμου. Ορισμένη από τους Edward O. Wilson και Stephen Kellert, η βιοφιλία αναφέρεται στην εγγενή





ανθρώπινη τάση να αναζητά επαφή με τη φύση. Αυτή η έννοια έχει τις ρίζες της στην εξελικτική μας ιστορία και τη βιολογική μας ανάπτυξη. Σύμφωνα με τον Calabrese (2015), ο βιοφιλικός σχεδιασμός στοχεύει στην αποκατάσταση αυτής της χαμένης σύνδεσης στα σύγχρονα περιβάλλοντα ενσωματώνοντας περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, φυσικές μορφές, φως ημέρας, χωρική ποικιλία και τοπική ταυτότητα. Αυτές οι στρατηγικές συμβάλλουν σε χώρους που υποστηρίζουν την ανθρώπινη ευημερία σε γνωστικές, συναισθηματικές και σωματικές διαστάσεις.

Εκτός από τη βιομίμηση και τη βιοφιλία, υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη διάκριση μεταξύ λύσεων που βασίζονται στη φύση (NbS) και λύσεων εμπνευσμένων από τη φύση (NiS). Οι λύσεις που βασίζονται στη φύση συνήθως συνδέονται με ζωντανά οικοσυστήματα και βασίζονται στις συνεχείς οικολογικές λειτουργίες τους για να προσφέρουν οφέλη στον καθαρισμό του νερού, στην αποθήκευση άνθρακα ή στη ρύθμιση του κλίματος. Αντίθετα, οι λύσεις εμπνευσμένες από τη φύση, συμπεριλαμβανομένης της βιομίμησης, προέρχονται από αρχές και στρατηγικές που παρατηρούνται στη φύση, αλλά δεν απαιτούν λειτουργικά οικοσυστήματα για να λειτουργήσουν. Όπως περιέγραψε η IUCN (2020b), η NiS αναφέρεται σε καινοτόμα συστήματα, υλικά ή διαδικασίες που έχουν σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας γνώσεις από τη βιολογία, επιτρέποντας κλιμακούμενες εφαρμογές στην αρχιτεκτονική και τη μηχανική.

Η εφαρμογή του βιομιμητικού σχεδιασμού μας επιτρέπει να βλέπουμε τη φύση όχι μόνο ως πηγή ομορφιάς ή έμπνευσης, αλλά και ως πηγή γνώσης και καινοτομίας. Μεταφράζοντας τις φυσικές στρατηγικές σε αρχιτεκτονικά συστήματα, οι σχεδιαστές μπορούν να δημιουργήσουν κτίρια και υποδομές που είναι αναγεννητικά, προσαρμοστικά και ανθεκτικά. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει επιλεγμένα παραδείγματα βιολογικών συστημάτων και τις αντίστοιχες αρχιτεκτονικές εφαρμογές τους, καταδεικνύοντας πώς η βιομιμητισμός συνεχίζει να διαμορφώνει το μέλλον του βιώσιμου σχεδιασμού.

Βιολογικό μοντέλο	Φυσική Στρατηγική	Αρχιτεκτονική/Αστική Εφαρμογή	Η πρόκληση αντιμετωπίστηκε	Πηγή
Τερμιτών τύμβος	Η παθητική ροή αέρα ρυθμίζει την εσωτερική θερμοκρασία	Κέντρο Eastgate (Ζιμπάμπουε)	Ενεργειακά αποδοτικός έλεγχος κλίματος	Turner & Soar, 2008
Φύλλο λωτού	Η μικρο/νανο-υφ ή προκαλεί την κύλιση του νερού και της βρωμιάς	Αυτοκαθαριζόμενα παράθυρα, προσόψεις και ηλιακά πάνελ	Μείωση συντήρησης, εξοικονόμηση νερού	Barthlott & Neinhuis, 1997; Koch et al., 2009
Δέρμα κάκτου	Η ραβδωτή και κηρώδης επιφάνεια κατευθύνει τη	Τοίχοι που συλλέγουν νερό και αρχιτεκτονική ερήμου	Συλλογή και εξοικονόμηση νερού	You et al., 2012





	δροσιά και περιορίζει την εξάτμιση			
Σκαθάρι της ερήμου Namib	Υδρόφιλα και υδρόφοβα μοτίβα συλλαμβάνουν την υγρασία	Επιφάνειες και στέγες που συλλέγουν ομίχλη	Πρόσβαση σε ατμοσφαιρικό νερό	Norgaard κ.ά., 2012
Μετάξι αράχνης	Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και ευελιξία	Ελαφριές κατασκευές εφελκυσμού, σύνθετα υλικά	Αποδοτικότητα και ανθεκτικότητα υλικών	Φράτσλ & Μπαρθ, 2009
Κυψελοειδής δομή	Γεωμετρική απόδοση με ελάχιστο υλικό	Ελαφριά πάνελ, αρθρωτή κατασκευή	Αντοχή με λιγότερο υλικό	Βίνσεντ κ.ά., 2006

Για να κατανοήσουμε πλήρως τις δυνατότητες της βιο-έμπνευσης στη βιώσιμη αρχιτεκτονική, είναι απαραίτητο να περάσουμε από τις θεωρητικές αρχές σε εφαρμογές στον πραγματικό κόσμο. Οι βιολογικοί οργανισμοί προσφέρουν ποικίλες στρατηγικές που έχουν αναπτυχθεί μέσα από εκατομμύρια χρόνια προσαρμογής, μεθόδους που μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζουμε, κατασκευάζουμε και λειτουργούμε αστικά περιβάλλοντα. Στο πλαίσιο της βιομίμησης, η επιτυχία δεν έγκειται στην αντιγραφή της εμφάνισης της φύσης, αλλά στη μετάφραση των λειτουργιών, των συμπεριφορών και των συστημάτων της σε ανθρώπινο σχεδιασμό με ουσιαστικούς και μετρήσιμους τρόπους.

Οι ακόλουθες ενότητες επισημαίνουν τρία καλά ερευνημένα βιολογικά μοντέλα, σωρούς τερμιτών, φύλλα λωτού και συστήματα διακλάδωσης δέντρων/ριζών, που έχουν εμπνεύσει καινοτόμες αρχιτεκτονικές και αστικές λύσεις. Αυτά τα παραδείγματα δείχνουν πώς οι βιολογικές στρατηγικές έχουν προσαρμοστεί σε συστήματα δόμησης για την επίλυση προκλήσεων όπως ο έλεγχος του κλίματος, η εξοικονόμηση νερού, η αυτοσυντήρηση και η κατανομή των πόρων. Κάθε περίπτωση συνδέεται άμεσα με μια πρακτική εφαρμογή και υποστηρίζεται από επιστημονική έρευνα.

Μαζί με τον ακόλουθο πίνακα, αυτές οι μελέτες περίπτωσης παρέχουν μια βάση για την κατανόηση του βάθους και της ευελιξίας του βιο-εμπνευσμένου σχεδιασμού. Δείχνουν πώς η μάθηση από το «εγχειρίδιο σχεδιασμού» της φύσης μπορεί να δημιουργήσει πιο καινοτόμα, ανθεκτικά και βιώσιμα ανθρώπινα περιβάλλοντα.

Τερμιτικοί Τύμβοι: Παθητική Θερμική Ρύθμιση και Αερισμός

Οι τύμβοι από τερμίτες, ειδικά αυτοί που κατασκευάστηκαν από *Μακρότερμες* Τα είδη στην υποσαχάρια Αφρική, αποτελούν εξελιγμένες φυσικές δομές που διατηρούν μια αξιοσημείωτα σταθερή εσωτερική θερμοκρασία και υγρασία, παρά τις ακραίες εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός περίπλοκου δικτύου αεραγωγών και σιράγγων που προάγουν τον παθητικό αερισμό. Οι τερμίτες χρησιμοποιούν ένα σύστημα ελεγχόμενων ανοιγμάτων και



θαλάμων για να οδηγήσουν τη ροή του αέρα μέσω συναγωγής, ρυθμίζοντας το εσωτερικό μικροκλίμα του λόφου για να υποστηρίξουν την συμβιωτική καλλιέργεια μυκήτων

Αυτό το φυσικό μοντέλο έχει εμπνεύσει αρχιτέκτονες και μηχανικούς να αναπτύξουν ενεργειακά αποδοτικά κτίρια που ρυθμίζουν την εσωτερική θερμοκρασία χωρίς να βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε μηχανικά συστήματα. Η πιο διάσημη εφαρμογή είναι το Eastgate Centre στη Χαράρε της Ζιμπάμπουε, σχεδιασμένο από τον αρχιτέκτονα Mick Pearce σε συνεργασία με τον μηχανικό Arup Associates. Το κτίριο μιμείται τις αρχές του τύμβου τερμιτών για να ρυθμίζει παθητικά τη ροή του αέρα και τη θερμοκρασία, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας για αερισμό και ψύξη κατά πάνω από 90% σε σύγκριση με συμβατικά κτίρια παρόμοιου μεγέθους (Turner & Soar, 2008).

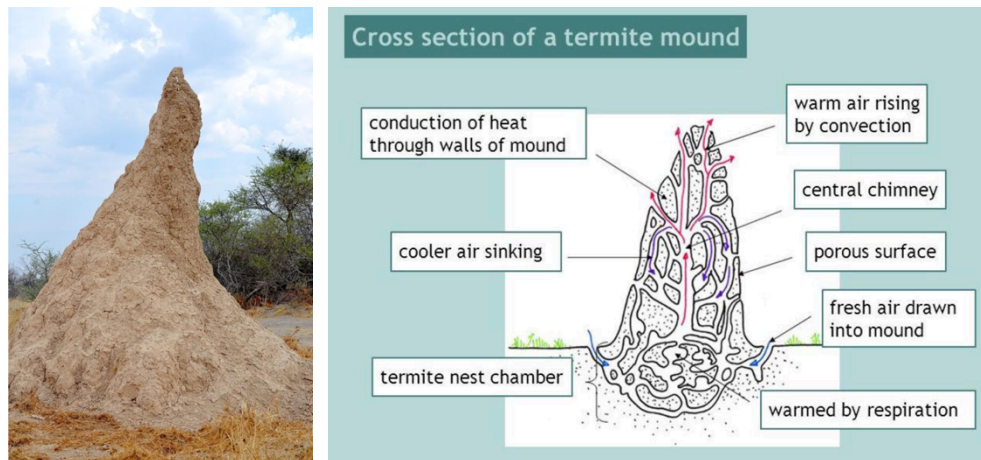


Fig 2. Termite Mounds and it's ability, source:

<https://www.mickpearce.com/assets/images/biomimicry-architecture-09-1400x2133-77.jpg> INCLUDEPICTURE

"https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/542b0d79e4b0a8c50e8b52a0/fcbf8511-9dd7-4971-8143-710323db0a47/Screen+Shot+2023-05-30+at+10.23.13+AM.png" * MERGEFORMATINET



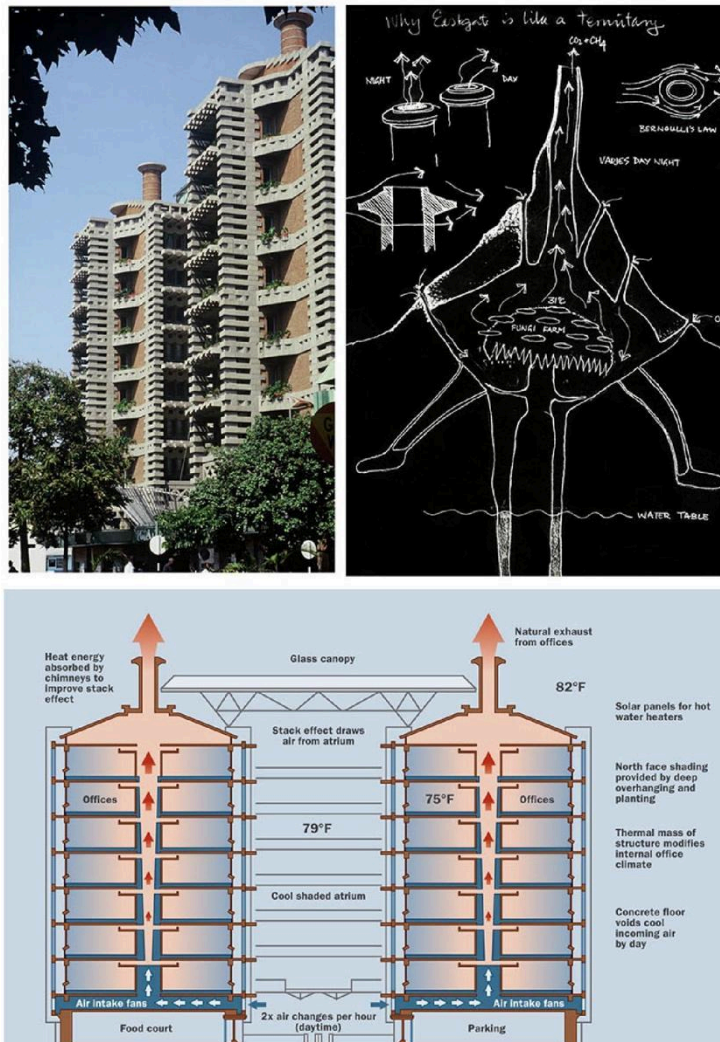


Fig 3. Eastgate Centre in Harare, Zimbabwe, source:
<https://www.mickpearce.com/assets/images/biomimicry-architecture-09-1400x2133-771.jpg>
INCLUDEPICTURE
https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/542b0d79e4b0a8c50e8b52a0/fcbf8511-9dd7-4971-8143-710323db0a47/Screen+Shot+2023-05-30+at+10.23.13+AM.png?MERCERFORMATINET

Φύλλο Λωτού: Αυτοκαθαριζόμενες Επιφάνειες

Το φυτό λωτού (*Nelumbo nucifera*) ευδοκίμει σε λασπώδη υδάτινα περιβάλλοντα, ωστόσο τα φύλλα του παραμένουν άψογα καθαρά. Αυτό οφείλεται στις μικρο- και νανοδομές στην επιφάνεια του φύλλου, οι οποίες δημιουργούν ένα υπερυδρόφοβο φαινόμενο, με σταγόνες νερού να σχηματίζουν σφαιρίδια και να κυλούν από την επιφάνεια, συλλέγοντας και παρασύροντας σωματίδια βρωμίας. Αυτό το φαινόμενο είναι κοινώς γνωστό ως «φαινόμενο του λωτού».



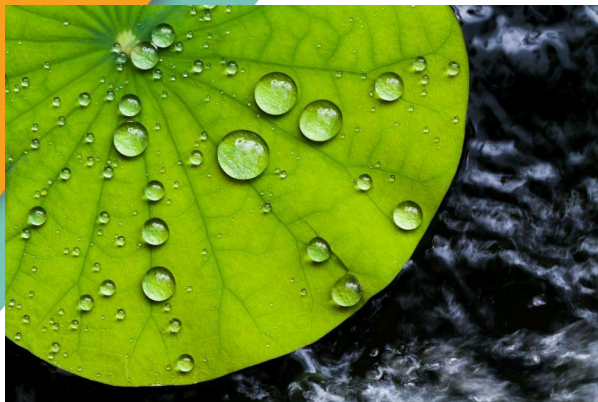


Fig 4. Lotus leaf effect, source:

<https://www.properla.co.uk/lotus-effect/>

INCLUDEPICTURE

"https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/542b0d79e4b0a8c50e8b52a0/fcbf8511-9dd7-4971-8143-710323db0a47/Screen+Shot+2023-05-30+at+10.23.13+AM.png" * MERGEFORMATINET

Εμπνευσμένοι από αυτόν τον μηχανισμό αυτοκαθαρισμού, επιστήμονες υλικών και αρχιτέκτονες έχουν αναπτύξει υδρόφοβες επιστρώσεις για παράθυρα, ηλιακούς συλλέκτες, προσόψεις κτιρίων και πλακάκια που απωθούν το νερό, μειώνοντας έτσι το κόστος συντήρησης. Αυτά τα υλικά μειώνουν την κατανάλωση νερού για καθαρισμό και παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των επιφανειών που εκτίθενται στα στοιχεία της φύσης. Η καινοτομία υποστηρίζει τη βιώσιμη αρχιτεκτονική ελαχιστοποιώντας τη χρήση πόρων και την εργασία, διατηρώντας παράλληλα την οπτική και λειτουργική ακεραιότητα.

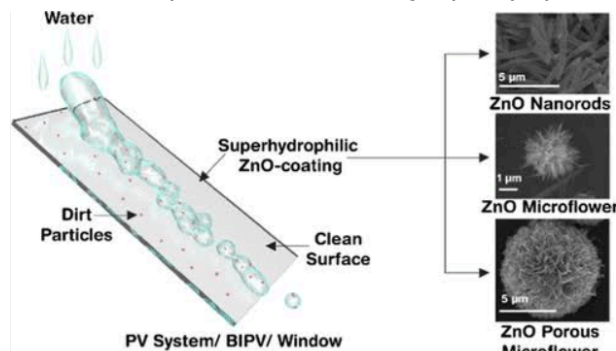


Fig 5. Hydrophilic and Superhydrophilic self-cleaning

coatings by morphologically varying ZnO microstructures, source

<https://shop.nanografi.com/blog/following-the-natures-lead-lotus-effect-selfcleaning/>

INCLUDEPICTURE

"https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/542b0d79e4b0a8c50e8b52a0/fcbf8511-9dd7-4971-8143-710323db0a47/Screen+Shot+2023-05-30+at+10.23.13+AM.png" * MERGEFORMATINET

Σκαθάρι της ερήμου Namib: Συλλογή νερού από τον αέρα

Το σκαθάρι της ερήμου Namib (*Stenocara gracilipes*) ευδοκίμει σε ένα από τα πιο ξηρά μέρη της Γης, συλλέγοντας νερό από την ομίχλη. Τα έλутра του (σκληρυμένα καλύμματα φτερών) έχουν υφή με υδρόφιλες εξογκώματα που περιβάλλονται από υδρόφοβες κοιλάδες, επιτρέποντάς του να συλλαμβάνει και να κατευθύνει την ατμοσφαιρική υγρασία προς το στόμα του. Όπως εξηγούν οι Nørgaard et al. (2012), το σκαθάρι χρησιμοποιεί μια ξεχωριστή συμπεριφορά που βασίζεται στην ομίχλη, προσανατολίζοντας το σώμα του στο αεράκι κατά τη διάρκεια των πρωινών ομίχλης για να μεγιστοποιήσει τη συλλογή νερού. Αυτό το παθητικό σύστημα επιτρέπει στο





σκαθάρι να επιβιώνει χωρίς καμία ενεργητική δαπάνη ενέργειας, καθιστώντας το ιδανικό μοντέλο για βιώσιμες τεχνολογίες νερού.

Fig 6. Namib Desert beetle and harvesting water, source:

<https://www.atlasobscura.com/articles/fogstand-beetles-namib-desert> INCLUDEPICTURE

"/Users/taherehmallahnia/Library/Group

Containers/UBF8T346G9.ms/WebArchiveCopyPasteTempFiles/com.microsoft.Word/dGxILmpwZw.jpg" *

MERGEFORMATINET

INCLUDEPICTURE

"https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/542b0d79e4b0a8c50e8b52a0/fcbf8511-9dd7-4971-8143-710323db0a47/Screen+Shot+2023-05-30+at+10.23.13+AM.png" * MERGEFORMATINET

Η μικροδομική επιφάνεια και η στρατηγική συμπεριφοράς του σκαθαριού έχουν εμπνεύσει την ανάπτυξη βιομιμητικών υλικών και επιφανειών που μιμούνται τη μέθοδο συλλογής νερού που χρησιμοποιεί. Οι μηχανικοί έχουν δημιουργήσει συνθετικές επιφάνειες με διαμορφωμένη διαβρεξιμότητα για να συμπυκνώνουν και να διοχετεύουν νερό από ομίχλη, δροσιά ή υγρό αέρα. Αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα ομίχλης, πάνελ προσόψεων και συστήματα στέγης, ειδικά σε περιοχές με λειψυδρία όπως η Χιλή, η Αιθιοπία και τα ΗΑΕ. Αυτά τα συστήματα προσφέρουν μια παθητική και βιώσιμη λύση για την έλλειψη γλυκού νερού σε απομακρυσμένες ή επιρρεπείς στην ξηρασία περιοχές, αναπαράγοντας την αποτελεσματικότητα του σκαθαριού.

Οι αρχιτεκτονικές εφαρμογές συνεχίζουν να εξελίσσονται, ενσωματώνοντας αυτά τα υλικά σε κτιριακά κελύφη που στεγάζουν και λειτουργούν ως εργαλεία συλλογής νερού, μειώνοντας την εξάρτηση από κεντρικές υποδομές και προωθώντας την περιβαλλοντική ανθεκτικότητα.

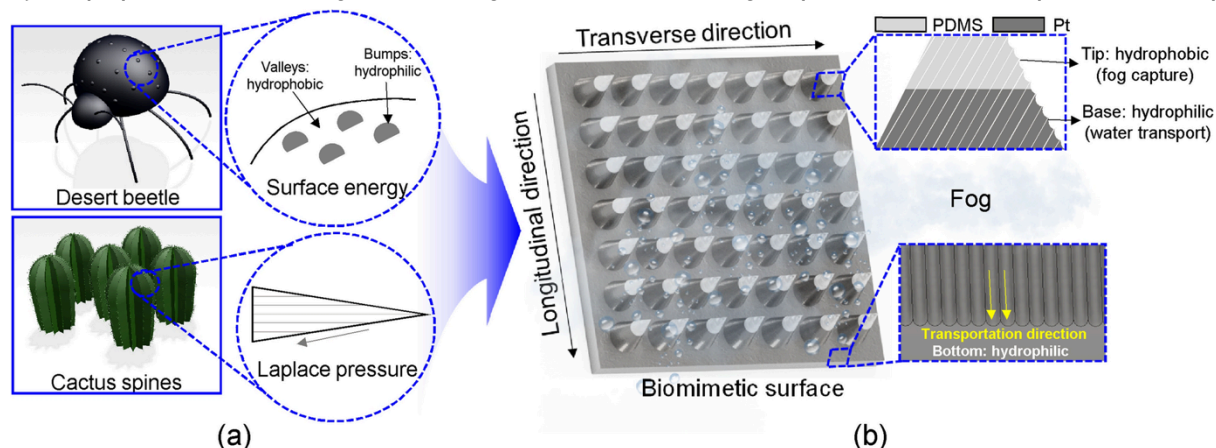


Fig 7. (a) Illustration of the characteristics of both elytra of the Namib Desert beetle and cactus spines; (b) schematic of the hierarchically structured biomimetic surfaces inspired by the elytra of the Namib Desert beetle and cactus spines.

Source: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-37461-x/figures/1>





Εκτέλεση:

Αξιοποίηση της Επαυξημένης Πραγματικότητας για την Εξερεύνηση του Σχεδιασμού Εμπνευσμένου από τη Φύση στην Εκπαίδευση STEM

Στο εξελισσόμενο τοπίο της εκπαίδευσης STEM, η ενσωμάτωση της βιο-έμπνευσης και η άντληση αρχών σχεδιασμού από τη φύση προσφέρει μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα οδό για τη σύνδεση των μαθητών με τις προκλήσεις βιωσιμότητας του πραγματικού κόσμου. Η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) αναδύεται ως ένα μετασχηματιστικό εργαλείο σε αυτό το πλαίσιο, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ αφηρημένων βιολογικών εννοιών και απτών αρχιτεκτονικών εφαρμογών για μαθητές λυκείου ηλικίας 14 έως 18 ετών.

Πρόσφατη έρευνα τονίζει ότι οι τεχνολογίες AR ενισχύουν σημαντικά την εμπλοκή των μαθητών και εμβαθύνουν την κατανόηση. Μέσω της AR, οι μαθητές μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τρισδιάστατα μοντέλα βιολογικών δομών, όπως η μικροδομή των φύλλων λωτού ή το σύστημα εξαερισμού των τερμιτών, που προβάλλονται στο φυσικό τους περιβάλλον. Αυτή η καθηλωτική εμπειρία βοηθά τους μαθητές να οπτικοποιήσουν, να χειριστούν και να κατανοήσουν καλύτερα σύνθετες έννοιες STEM (Καλύτερα Κολέγια, 2024).

Επιπλέον, η Επαυξημένη Πραγματικότητα (ΕΠ) υποστηρίζει την οπτικοποίηση περίπλοκων φυσικών συστημάτων που μπορεί να είναι δύσκολο να αποτυπωθούν μέσω παραδοσιακών μεθόδων διδασκαλίας. Στην εκπαίδευση σχεδιασμού εμπνευσμένη από τη βιολογία, η Επαυξημένη Πραγματικότητα (ΕΠ) δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να εξερευνήσουν δυναμικά πώς οι φυσικές προσαρμογές, όπως οι μηχανισμοί συλλογής νερού των σκαθαριών της ερήμου ή οι ιδιότητες αυτο-σκίασης των φλοιών των κάκτων, μπορούν να εμπνεύσουν την αρχιτεκτονική καινοτομία. Μελέτες έχουν δείξει ότι η Επαυξημένη Πραγματικότητα (ΕΠ) σε περιβάλλοντα STEM μπορεί να ενισχύσει την κριτική σκέψη, τη δημιουργικότητα και τη χωρική συλλογιστική, κρίσιμες δεξιότητες για τους μελλοντικούς μηχανικούς και σχεδιαστές (Σύννορα στην Εκπαίδευση, 2024).

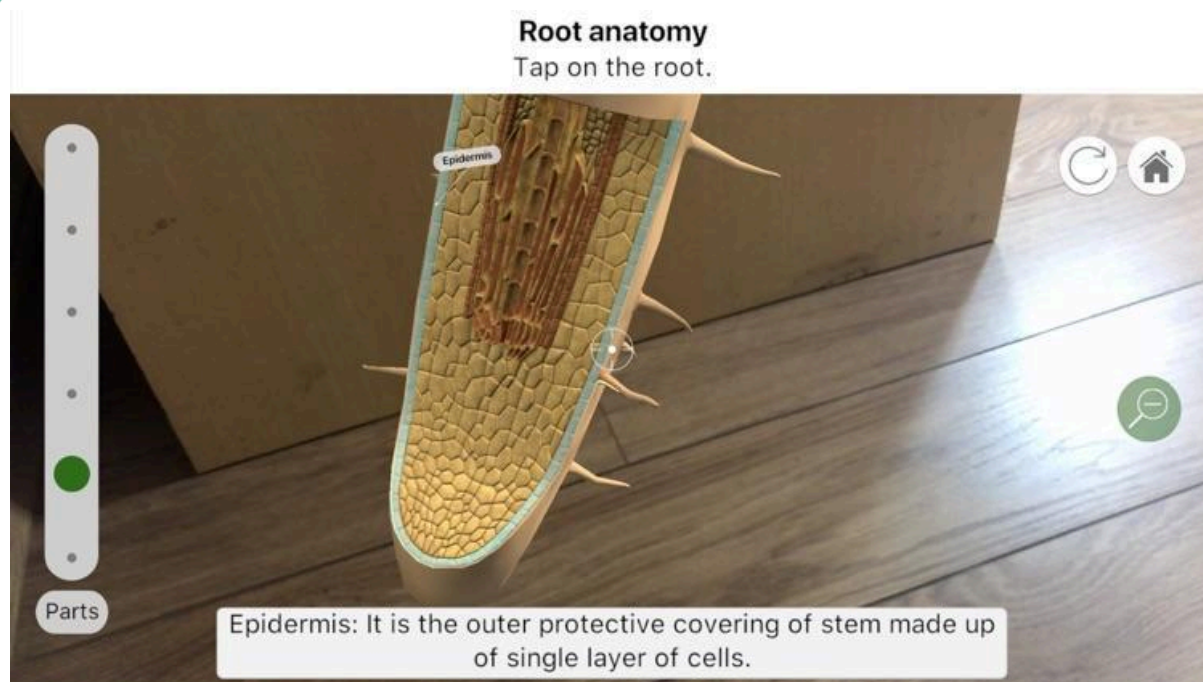
Επιπλέον, οι τεχνολογίες AR προσφέρουν ευελιξία και συμπερίληψη, προσαρμοζόμενες σε διαφορετικούς ρυθμούς και στυλ μάθησης. Οι μαθητές μπορούν να συμμετέχουν ατομικά ή σε συνεργασία, κατασκευάζοντας γνώσεις που ταιριάζουν στις μαθησιακές τους προτιμήσεις. Αυτή η ευελιξία συμβάλλει στη μεγαλύτερη προσβασιμότητα και ικανοποίηση των μαθητών σε περιβάλλοντα εκπαίδευσης STEM.

Τέλος, η ενσωμάτωση της Επαυξημένης Πραγματικότητας (ΕΠ) στην εκπαίδευση βιο-έμπνευσης επιτρέπει στους μαθητές να αξιοποιήσουν θεωρητικές γνώσεις και αυθεντικές εμπειρίες επίλυσης προβλημάτων. Ο σχεδιασμός μιας βιομιμητικής πρόσοψης για τη μείωση της



υπερθέρμανσης των πόλεων ή η σύλληψη ενός συστήματος σκίασης που βασίζεται στη συμπεριφορά των φυτών παρέχει στους μαθητές διεπιστημονικές δεξιότητες στη διασταύρωση της βιολογίας, της τεχνολογίας και της αρχιτεκτονικής. Αυτή η ολιστική προσέγγιση καλλιεργεί την καινοτομία, τη βιωσιμότητα και την ετοιμότητα για τον πραγματικό κόσμο.

Συνοπτικά, η ενσωμάτωση εργαλείων AR στην εκπαίδευση STEM που επικεντρώνεται στη βιο-έμπνευση δημιουργεί δυναμικές, συμπεριληπτικές και μελλοντοστρεφείς μαθησιακές εμπειρίες που ενδυναμώνουν τους μαθητές να καινοτομούν μαθαίνοντας από τη φύση.



Εφαρμογή Plantale

Καθώς η τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας (AR) συνεχίζει να κερδίζει έδαφος στην εκπαίδευση, διάφορα σχολεία και εκπαιδευτικές πρωτοβουλίες έχουν ήδη καταδείξει τις δυνατότητές της να ενισχύσει τη μάθηση STEM μέσω της βιο-έμπνευσης. Αυτά τα έργα δείχνουν πώς η AR μπορεί να εμβαθύνει μαθητές ηλικίας 14 έως 18 ετών στην παρατήρηση βιολογικών φαινομένων, στην κατανόηση των φυσικών αρχών και στη δημιουργική εφαρμογή τους σε προκλήσεις μηχανικής και σχεδιασμού. Τα ακόλουθα παραδείγματα δείχνουν πώς η AR έχει ενσωματωθεί με επιτυχία σε περιβάλλοντα εκπαίδευσης STEM εμπνευσμένα από τη βιο-πηγή για την ενίσχυση της βαθύτερης εμπλοκής, της εννοιολογικής κατανόησης και των καινοτόμων δεξιοτήτων.





Φάση	Περιγραφή
Εξε ρευ νώ	- Έρευνα και Ανακάλυψη: Διερεύνηση βιολογικών συστημάτων (π.χ., σωροί τερμιτών, φύλλα λωτού, φωλιές πουλιών) και η σχέση τους με την αρχιτεκτονική.
	- Ανάπτυξη Περιεχομένου: Ανάπτυξη βασικού υλικού που εξηγεί πώς οι βιολογικές λειτουργίες μπορούν να εφαρμοστούν σε αρχιτεκτονικά στοιχεία (π.χ. αερισμός, μόνωση, δομή).
	- Ανάλυση Αναγκών: Εντοπισμός κενών γνώσης και ευκαιριών μάθησης στη βιοαρχιτεκτονική και τον βιώσιμο αστικό σχεδιασμό.
Εκτ ελώ	- Εφαρμογή Προγράμματος Σπουδών: Παράδοση διεπιστημονικών μαθημάτων που συνδυάζουν τη βιολογία και την αρχιτεκτονική (π.χ., πώς το δέρμα του κάκτου επηρεάζει τις επιφάνειες συλλογής νερού).
	- Διαδραστικές ασκήσεις: Εμπλέξτε τους μαθητές με πρακτικές δραστηριότητες και προσομοιώσεις AR για να μοντελοποιήσουν χαρακτηριστικά κτιρίων εμπνευσμένα από τη φύση.
	- Συλλογή σχολίων: Συγκεντρώστε πληροφορίες από μαθητές και εκπαιδευτικούς για να βελτιώσετε την ενσωμάτωση βιολογικών εννοιών στη σχεδιαστική σκέψη.
Επ αυξ άν ω	- Ενσωμάτωση AR: Εφαρμογή AR για την απεικόνιση και αλληλεπίδραση με βιομιμητικά δομικά στοιχεία (π.χ. προσομοίωση ροής αέρα σε συστήματα εξαερισμού εμπνευσμένα από τερμίτες).
	- Διαδραστική Μάθηση: Οι μαθητές χειρίζονται τρισδιάστατα βιολογικά μοντέλα και αρχιτεκτονικά ανάλογα, γεφυρώνοντας τη φύση με το δομημένο περιβάλλον.
	Παιχνιδοποιημένο Περιεχόμενο: - Πόντοι και Εμβλήματα: Κερδίστε ανταμοιβές εντοπίζοντας βιολογικές στρατηγικές και συνδέοντάς τις με αρχιτεκτονικές λύσεις (π.χ., μιμηθείτε το φαινόμενο του λωτού για αυτοκαθαρισμό πρόσοψης). - Πίνακες κατάταξης: Ενθαρρύνετε τον φιλικό ανταγωνισμό σε εργασίες όπως η αντιστοίχιση φυσικών συστημάτων με τα αντίστοιχα δομημένα συστήματα. - Αποστολές και Επίπεδα: Προχωρήστε μέσα από προκλήσεις βιομιμητικής, από βασικές βιολογικές έννοιες έως σύνθετες εφαρμογές σχεδιασμού. - Ανταμοιβές για Εξερεύνηση: Ανακαλύψτε κρυφές αρχιτεκτονικές στρατηγικές μέσα σε μοντέλα επαυξημένης πραγματικότητας (AR) ζωικών οικοτόπων ή φυτικών δομών. - Συνεργατικές Παιχνιδοποιημένες Εργασίες: Εργαστείτε σε ομάδες για να σχεδιάσετε ζώνες πόλης εμπνευσμένες από τη φύση, χρησιμοποιώντας AR για την προσομοίωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της ενεργειακής απόδοσης.
	Αξιολογήσεις που βασίζονται σε AR: - Χρησιμοποιήστε την Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) για να αξιολογήσετε την κατανόηση, ζητώντας από τους μαθητές να επιδείξουν τη μετάφραση μιας βιολογικής αρχής (π.χ., τη δομή των κληρονομικών) σε ένα δομικό στοιχείο (π.χ., αρθρωτά συστήματα τοίχων).





Αναφορά

Aamer, H. S., Hamza, A. F., Khairy, M., & Ghonimi, I. (2020). Η βιομίμηση ως μεθοδολογία βιώσιμου σχεδιασμού για τη συμπεριφορά των κτιρίων. *Engineering Research Journal*, 46(1), 191–201.

Bader, F., Αναπληρωτής Καθηγητής Halabi, M., Επίκουρος Καθηγητής Mohsen, H., και Αναπληρωτής Καθηγητής Youssef, M. (2021). ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΒΙΟΜΙΜΗΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ (ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΒΗΡΥΤΟΥΤΟΥ). *Περιοδικό BAU-Creative Sustain. Dev.* 2 (2). doi:10.54729/2789-8334.1041

Badarnah, L. (2017). Η μορφή ακολουθεί το περιβάλλον: Βιομιμητικές προσεγγίσεις στον σχεδιασμό του κελύφους των κτιρίων για την περιβαλλοντική προσαρμογή. *Buildings*, 10(4), 42.

Bar-Cohen, Y. (2012). *Βιομιμητική: Καινοτομία βασισμένη στη φύση*. CRC Press.

Barthlott, W., & Neinhuis, C. (1997). Καθαρότητα του ιερού λωτού ή διαφυγή από τη μόλυνση σε βιολογικές επιφάνειες. *Planta*, 202(1), 1–8.

Μπένιους, Τζ. Μ. (1997). *Βιομιμητισμός: Καινοτομία εμπνευσμένη από τη φύση* Πολυετές φυτό Harper.

BestColleges. (2024). Ο ρόλος της επαυξημένης πραγματικότητας στην ενίσχυση της εκπαίδευσης STEM. India Today. <https://bestcolleges.indiatoday.in/news-detail/the-role-of-augmented-reality-in-enhancing-stem-education>.

Chayaamor-Heil, N. (2023). Από τη βιοέμπνευση στη βιομίμηση στην αρχιτεκτονική: ευκαιρίες και προκλήσεις. *Εγκυκλοπαίδεια 3* (1), 202–223. doi:10.3390/encyclopedia3010014

Calabrese, E. (2015). Η πρακτική των βιοφιλικών σχεδιαστικών μονοπατιών προς την ευημερία. Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <https://www.researchgate.net/publication/321959928>.

Dicks H, Bertrand-Krajewski J-L, Ménéz C, Rahbe Y, Pierron J και Harpet C 2021 Εφαρμογή της βιομίμησης στις πόλεις: Το δάσος ως μοντέλο για τον αστικό σχεδιασμό και τον σχεδιασμό, σελ. 271–88.





Dixit, S., και Stefańska, A. (2023). Βιολογία: μια ανασκόπηση της βιομιμητικής εφαρμογής στον αρχιτεκτονικό και δομικό σχεδιασμό. *Ain Shams Eng. J.* 14 (1), 101822. Πανεπιστήμιο Ain Shams, 1 Φεβρουαρίου. doi:10.1016/j.asej.2022.101822

Ferwati, M. S., Alsuwaidi, M., Shafaghat, A., και Keyvanfar, A. (2019). Χρήση βιομιμητικής στην αστική μεταμόρφωση αναζητώντας βιωσιμότητα: μελέτες περιπτώσεων. *Archit. City Environ.* 14 (40), 133–162. doi:10.5821/ace.14.40.6460

Fratzl, P., & Barth, F. G. (2009). Συστήματα βιοϋλικών για μηχανοανίχνευση και ενεργοποίηση. *Nature*, 462(7272), 442–448.

Frontiers in Education. (2024). Επαυξημένη Πραγματικότητα για την Εκπαίδευση STEM: Οφέλη, Προκλήσεις και Μελλοντικές Ερευνητικές Κατευθύνσεις.
<https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2024.1391803/full>

IUCN (2020b). Οδηγίες για τη χρήση του παγκόσμιου προτύπου της IUCN για λύσεις που βασίζονται στη φύση. 1. Gland, Ελβετία: IUCN. IUCN, Διεθνής Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης. doi:10.2305/IUCN.CH.2020.09.en

Jamei, E., και Vrcelj, Z. (2021). Βιομιμητισμός και δομημένο περιβάλλον: μαθαίνοντας από τις λύσεις της φύσης. *Appl. Sci. Switz.* 11 (16), 7514. MDPI AG, 2 Αυγούστου. doi:10.3390/app11167514

Jain A, Cummings A, Lim G S, Shah I, Haan L, Teo L, Fadnavis M, Toh M M, Hays N, Dhuri R και Swaminathan S 2023 Βιομιμητισμός για τροπικά κτίρια, ένα σύνολο εργαλείων σχεδιασμού για τη διαχείριση της θερμικής άνεσης χρησιμοποιώντας την ιδιοφυΐα της φύσης (Σιγκαπούρη: bioSEA Pte. Ltd.)

Judith Oginga, M. (2022). Οραματιζόμενοι το μέλλον των πόλεων. Νέα Υόρκη: Έκδοση των Ηνωμένων Εθνών.

Ju, J., Bai, H., Zheng, Y., Zhao, T., Fang, R., & Jiang, L. (2012). Ένα πολυδομικό και πολυλειτουργικό ενσωματωμένο σύστημα συλλογής ομίχλης σε κάκτους. *Nature Communications*, 3, 1247.

Kennedy, E., Fechey-Lippens, D., Hsiung, B.-K., Niewiarowski, P. H., & Kolodziej, M. (2015). Biomimicry: Μια πορεία προς τη βιώσιμη καινοτομία. *Θέματα Σχεδιασμού*, 31(3), 66–73.

Koch, K., Bhushan, B., & Barthlott, W. (2009). Πολυλειτουργικές επιφανειακές δομές φυτών: Μια έμπνευση για τη βιομιμητική. *Progress in Materials Science*, 54(2), 137–178.

Landrum, N. E., και Mead, T. (2022). Βιωσιμότητα στο βιοτικό σύστημα* Σιγκαπούρη. Springer, 1–15. doi:10.1007/978-981-19-1812-4_1/COVER





Matthews, J., Ocampo, E., και Cruz, D. (2022). Ενσωμάτωση λύσεων που βασίζονται στη φύση για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και τη διαχείριση του κινδύνου καταστροφών: ένας οδηγός για επαγγελματίες.

Madmar, S, Zaly Saleh. M, Ak Mattusin. A.M.R, Ilhan. A.A. (2023). Εφαρμογές της βιομίμησης στον αστικό σχεδιασμό: διερευνώντας τη σημασία των αναδυόμενων προσεγγίσεων για τον σχεδιασμό πόλεων αντλώντας έμπνευση από τη φύση. Σειρά Συνεδρίων IOP: Επιστήμη της Γης και του Περιβάλλοντος, doi:10.1088/1755-1315/1274/1/012015

Nørgaard, T., Dacke, M., & Warrant, E. J. (2012). Συμπεριφορά που λιάζεται στην ομίχλη και αποτελεσματικότητα συλλογής νερού σε σκαθάρια της ερήμου Namib. *Frontiers in Zoology*, 9, 9. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-9-9>.

Oguntona, O. A., και Aigbavboa, C. O. (2023a). Έμπνευση, μίμηση και άμιλλα από τη φύση: βιομιμητική σκέψη, μονοπάτι προς τη βιωσιμότητα στον κατασκευαστικό κλάδο. *Front. Built Environ.* 9, 1085979. doi:10.3389/fbuil.2023.1085979

Oguntona, O. A., και Aigbavboa, C. O. (2023b). Έμπνευση, μίμηση και άμιλλα από τη φύση: βιομιμητική σκέψη - μονοπάτι προς τη βιωσιμότητα στον κατασκευαστικό κλάδο. *Front. Built Environ.* 9. doi:10.3389/fbuil.2023.1085979.

Othmani, N. I., Mohamed, S. A., Abdul Hamid, N. H., Ramlee, N., Yeo, L. B., και Mohd Yunus, M. Y. (2022). Ανασκόπηση μελετών περίπτωσης βιομιμητικού σχεδιασμού ως λύση για βιώσιμο σχεδιασμό. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29 (46), 69327–69340. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. doi:10.1007/s11356-022-22342-z.

Sowińska-Świerkosz, B., και García, J. (2022). Τι είναι οι λύσεις που βασίζονται στη φύση (NBS); Καθορισμός βασικών ιδεών για την αποσαφήνιση των εννοιών. Λύσεις που βασίζονται στη φύση 2, 100009. doi:10.1016/j.nbsj.2022.100009

Turner, J. S., & Soar, R. C. (2008). Πέρα από τη βιομίμηση: Τι μπορούν να μας πουν οι τερμίτες για την υλοποίηση του ζωντανού κτιρίου. Πρώτο Διεθνές Συνέδριο για τις Βιομηχανικές, Ευφυείς Κατασκευές.

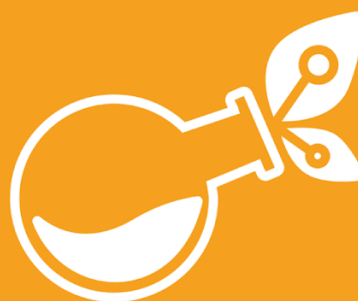
Urdinola-Serna, D., και Diseño, B. (2018). Πρώτη Έκδοση, 2018. Έργο: Ρεπερτόριο βιοεμπνευσμένων επιφανειών και υφών μέσω μορφολογικού πειραματισμού με τεχνολογία ψηφιακής κατασκευής. Αριθμός αρχείου 601B-05/16-35. Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <https://www.upb.edu.co>.

Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., & Pahl, A.-K. (2006). Βιομιμητική: η πρακτική και η θεωρία της. *Περιοδικό της Βασιλικής Εταιρείας Διεπαφής*, 3(9), 471–482.





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY



Project Number: KA220-BW-23-30-126516

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.