



סטבע למהנדסים

ביומימיקרי הוא תחום דעת מתפתח ומבטיח, המזמין מהנדסים ומתכננים לבחון את מאגר הפתרונות של הטבע לאתגרים תכנוניים שונים. הטבע הוא מקור לפתרונות חדשניים, מקיימים ומפתיעים. התחום מאפשר את מימוש הידע הביולוגי המצטבר בקצב הולך וגובר והפיכתו לישים בהנדסה ובטכנולוגיה. מהנדסים שיחשבו לשפה העיצובית של הטבע יזכו להרחבת דעתם וחשיבתם. "הבט היטב בטבע ותבין הכול טוב יותר" (אלברט איינשטיין). // **יעל הלפמן כהן***

כבר נפתרו בטבע, על פי רוב בצורה יעילה וחסכונית במשאבי חומר ואנרגיה. הטבע הוא לא רק מחסן חומרים אלא גם מקור לידע ותובנות. בחינת הפתרונות התכנוניים של הטבע תמנע המצאת הגלגל מחדש ותספק פתרונות חדשניים ומקיימים. לעיתים, תהליך הלמידה מהטבע מסתכם בקבלת השראה בלבד מפתרון טבעי, כאשר הפיתוח ההנדסי שונה במהותו. תהליך זה מזוהה כ-"תכנון בהשראת הטבע" (Bioinspiration). לעיתים מבוצע תהליך של חיקוי מלא של פתרונות ביולוגיים עד רמת המודלים והפרמטרים של הפתרון. תהליך זה מזוהה כ-"Biomimetics" תחום או כ-"Bionics". במובן הרחב, תחום הביומימיקרי עוסק בלמידה מהטבע, מהשראה ועד העתקה. יתרונות הלמידה מהטבע ברורים. הפתרונות של הטבע הם תוצר של מעבדת התכן האבולוציונית, הם נבחנו במבחן הזמן ואינם מוגנים פטנט. מגוון המינים מהווה מקור לידע עצום ולפתרונות חדשניים ומקיימים.

ביומימיקרי מזוהה כמנוע חדשנות העתיד לתרום כטריליון דולר לתל"ג העולמי עד שנת 2025^[3]. פירות החדשנות הביומימטית באים לידי ביטוי בתחומי החיים השונים, לרבות תעשיות מסורתיות. בהקשר של תהליך התכן ההנדסי, ביומימיקרי מזוהה כמחולל רעיונות חדשניים ומקיימים (idea generator), ובא לידי ביטוי בעיקר בשלבים הראשוניים של תהליך התכן ההנדסי, שלב התכנון הרעיוני. בשלבים אלו מורחב מגוון הפתרונות הפוטנציאליים על ידי בחינת הפתרונות של הטבע. ידוע כי תרומתם של שלבים ראשוניים אלו לתוצר הסופי היא גבוהה מאוד, למרות

חשוב לזכור שהפתרונות התכנוניים בטבע הם לא תמיד אופטימאליים, אידיאליים או אלגנטיים. יתכנו טעויות תכנוניות בטבע שמתכנן אינטליגנטי לא היה מבצע.



של פתרונות הטבע, האיצה את הגיבוש של תחום הביומימיקרי כדיסציפלינה מדעית. כיום ביומימיקרי מזוהה כתחום דעת בצמיחה, עם גידול מתמיד במספר הפרסומים, הפטנטים ומענקי המחקר המיוחסים לתחום, כמו גם מכוני מחקר, עיתונים אקדמיים ((Biomimetics & Bioinspiration, (Design & Nature ותוכניות לימוד לתארים גבוהים^[2]. ההנחה הבסיסית היא שמרבית מהאתגרים התכנוניים איתם אנו מתמודדים כמהנדסים

שחר האנושות, האדם התבונן וחקר את הטבע. אריסטו שהתעניין בחיקוי וייצוג של הטבע, המציא את המושג "מימזיס" שמשמעותו חיקוי, וטען ש"אין יצירות חסרות תועלת בטבע" (אריסטו). מאות שנים אחר כך, דה וינצ'י מתבונן עמוקות בטבע ובגוף האדם מנקודת מבט הנדסית ובניסיון למזג בסיסי ידע הנדסיים וביולוגיים. הטבע והטכנולוגיה פועלים באותו מרחב של כוחות, עם אותם עקרונות מכאניים ועקרונות דרימה. דה וינצ'י הניח שברגע שנדע איך פועלים גוף האדם וכוחות הטבע, יהיה לנו בסיס למכונות שמחקות את הטבע. דה וינצ'י הקדיש שעות רבות ביום להתבוננות, להסתכלות, למחקר ולשרטוט של מעופפים שונים בטבע כמו דג מעופף, עטלף, שפירית ואחרים, במטרה לפתח מכונה מעופפת. הוא העמיק בלימודי הזואולוגיה והאנטומיה של התעופה הטבעית אך לא הסתפק בהתבוננות ובאיסוף ידע וחתר ליישמו. כידוע, דה וינצ'י לא צלח במשימתו לפתח את המטוס הראשון, אך הוא הניח את היסודות לתחום הביומימיקרי, המחבר ידע זואולוגי והנדסי בצורה מתודולוגית.

משמעות המילה ביומימיקרי היא "חיקוי החיים". ("bio" - חיים. "mimicry" נגזר מהמילה "mimesis" שטבע אריסטו ומשמעותו חיקוי). ביומימיקרי הוא תהליך של חיקוי מודע של הפתרונות התכנוניים של הטבע^[1]. למרות העניין התמידי בטבע, רק בעשרות השנים האחרונות אנו מזהים התגבשות של תחום דעת מדעי העוסק בחיקוי מתודולוגי של הידע הטבעי. ההתפתחות הטכנולוגית של העשורים האחרונים המאפשרת מידול וחקר

שבפועל מתכננים רבים נוטים לדלג עליהם ולחתור ישר לפתרון הסופי, תופעה המכונה הפרדוקס התכנוני^[4].

החדשנות הביומימטית קשורה קודם כל לתאפיינים האנלוגיים של תהליך התכנון הביומימטי. ביומיקרי בהגדרה הוא תהליך תכנון אנלוגי בו ידע מועבר מעולם תוכן אחד, המקור (ביולוגיה), לעולם תוכן אחר, היעד (תחום היישום). אנלוגיה ידועה כמקור לחדשנות. ככל שהמרחק בין תחום המקור לתחום היעד גדול יותר, פוטנציאל החדשנות רב יותר^[5].^[6] בתהליך התכנון הביומימטי, עולם התוכן הביולוגי מייצג מאגר פתרונות פוטנציאליים המבוססים על פרדיגמה תכנונית שונה. כך למשל כמעט ולא נמצא בטבע קווים או זוויות ישרות שנפוצים מאוד בפיתוחים טכנולוגיים. הפתרונות בטבע מבוססים על מגוון מצומצם של חומרים המספקים טווח נרחב של פונקציונאליות. נמצא שיש רק 12% דמיון בין פתרונות ביולוגיים וטכנולוגיים, כאשר בטכנולוגיה יש שימוש ניכר בחומר ואנרגיה, ואילו בטבע שימוש ניכר במבניות ומידע לפתרון אותם אתגרים תכנוניים^[7].

החיים, מבלי לייצר אשפה או נזק בלתי הפיך לאקוסיסטמה. ההיפך הן מעשירות את סביבתן תוך כדי פעילות. המבנים והצורות בטבע מספקים טווח נרחב של תכונות תוך שימוש מינימלי במשאבי חומר ואנרגיה. תהליכי הייצור בטבע מתקיימים בסביבת החיים, ועל כן אינם מבוססים על חימום לטמפרטורות גבוהות, לחצים כבדים או שימוש בחומרים רעילים^[1].

אך תהליך התכנון הביומימטי יכול להתחיל גם באתגר תכנוני מזוהה. בהמשך מאתרים מערכת ביולוגית המדגימה פתרון לאתגר אנלוגי. הפתרון הביולוגי נחקר ומיושם בפתרון הטכנולוגי המפותח. דוגמא לכיוון פיתוח זה היא הרכבת המהירה ביפן, שעוצבה מחדש בתהליך ביומימטי לפתרון בעיית הרעש שיצרה.

מערכות בטבע מאופיינות על ידי זרימה יעילה של חומר ואנרגיה. למידת הפתרונות של הטבע מהווה אם כן מקור לפתרונות מקיימים, בהנחה שהמתכנן אינו מסתפק בהעתקת מבנה או מודל מהטבע, אלא גם חותר לייצרו בדרך מקיימת תוך שימוש בחומרים ידידותיים לסביבה.

אך חשוב לזכור שהפתרונות התכנוניים בטבע הם לא תמיד אופטימאליים, אידיאליים או אלגנטיים. יתכנו טעויות תכנוניות בטבע שמתכנן אינטליגנטי לא היה מבצע^[8]. מבנה העין האנושית הוא דוגמא לתכנון לא אופטימאלי. החיבורים העצביים וכלי הדם בעין ממוקמים לפני התאים קולטי האור, ובכך פוגעים ביעילות קליטת האור, בעוד שהגיוני יותר היה למקמם מאחורי הרטינה ולמנוע את הנקודה העיוורת בעין. לעיתים האילוצים התכנוניים של הטבע אינם רלוונטיים למרחב התכנוני ההנדסי. מכאן שעלינו ללמוד בצורה שקולה וביקורתית את הפתרונות התכנוניים של הטבע ולהציע שינויים או שיפורים לפתרון הטבעי, אם נדרש.

ההבטחה של תחום הביומימיקרי גדולה. פתרונות הטבע יכולים להפתיע אותנו כמהנדסים, לסייע לנו להשתחרר מקיבעונות תכנוניים ולהוות מקור לחדשנות סביבתית. אך לצד ההבטחות, יש גם מגבלות. לעיתים המעבר בין מערכות ביולוגיות לטכנולוגיות הוא גם מעבר של סדר גודל (למשל ממיקרו למקרו), מעבר הכרוך לעיתים במגבלות ואילוצים שעלולים למנוע מהפתרון הביולוגי לתפקד במרחב ההנדסי. לעיתים, לא נמצאת חלופה חומרית ראויה לחומר הביולוגי, ולעיתים, למרות שהפתרון הביולוגי מובן יש מגבלות טכנולוגיות המונעות את ייצורו.

תהליך התכנון הביומימטי

תהליך התכנון הביומימטי ייחודי מתהליכי תכנון רגילים בכך שהוא יכול להיות מבוצע בשני כיוונים: מהביולוגיה להנדסה (Solution based design) או מההנדסה לביולוגיה (Problem based design)^[9].

אפקט הלוטוס

עלה לוטוס תמיד נראה נקי למרות שהוא גדל בסביבות בוציות. עובדה זו כמובן מסייעת לו לבצע תהליכי פוטוסינתזה יעילים. כיצד צמח הגדל בסביבה בוצית נראה תמיד נקי? עובדה זו סקרנה מדענים שנים רבות. ברטלווייט (Barthlott), בוטנאי גרמני, חשף את מנגונו הניקוי העצמי של עלי הלוטוס, וכינה אותו אפקט הלוטוס^[20]. עלה הלוטוס מכוסה בגבשושיות ננומטריות מכוסות שעווה. מבנה הגבשושיות מקטין את שטח המגע של טיפות המים הנופלות על המשטח ויוצר זוויות מגע של מעל 140 מעלות בין הטיפה למשטח, תכונה המאפיינת משטחים סופר-הידרופוביים (דוחים מים בצורה קיצונית). טיפות מים הנופלות על המשטח מקבלות צורה ספרית ומתגלגלות על משטח העלה המשופע בכוח הגרביטציה. בדרך הן מסירות חלקיקי לכלוך המצויים על העלה בשל מערך כוחות האדהזיה המאפיין את מבנה הבליטות. התוצאה - חלקיקי הלכלוך מוסרים באופן קבוע על ידי טיפות מים, משאב זמין בסביבת העלה, ללא השקעת אנרגיה, תוך ניצול כוחות האדהזיה וכוחות הגרביטציה. לאפקט זה נרשמו פטנטים ויישומים ביומימטיים רבים לרבות צבעים, זכוכיות ובדים המתנקים בעצמם.

החדשנות הביומימטית אם כן מוסברת על ידי פתרונות פוטנציאליים רבים, המבוססים על פרדיגמה שונה ומועברים בתהליך אנלוגי להנדסה ולטכנולוגיה, כאשר הידע הביולוגי ההולך ומואץ עם השנים הוא הדלק של מנוע החדשנות הביומימטית. הטבע מזוהה גם כמקור לפתרונות מקיימים. מערכות ביולוגיות פועלות תחת מגבלות





- טכנולוגי. לכן שלב ההפשטה הוא שלב קריטי בתהליך התכנון הביומימטי. העברה לאפליקציה
- בתום שלב ההפשטה, הידע המזוקק מועבר ומיושם במודל ההנדסי / טכנולוגי.

הרכבת המהירה ביפן

הרכבת המהירה ביפן (Shinkansen), הידועה גם כרכבת הקליע, עוצבה באופן ביומימטי. בכל פעם שהרכבת יצאה ממנהרה לאוויר הפתוח היא יצרה גל רעש שהגיע למרחק של 80 ק"מ, פגע באיכות התושבים באזור, ולא עמד בתקני הרעש שהוגדרו. אחד ממנהגיה הרכבת היה חובב ציפורים. באחת הפעמים ששהה בטבע הוא הבחין בשלדג הצולל למים על מנת לתפוס דג. כניסת השלדג החלקה למים ללא גל רעש מאפשרת לו להצליח במשימתו ולשרוד. המהנדס זיהה אתגר אנולוגי לבעיית הרעש ברכבת בצלילתו של השלדג למים. גם השלדג וגם הרכבת עוברים מתווך אחר לתווך אחר בעלי צפיפות שונה, ועליהם לבצע זאת ללא גל רעש. תובנה זו הובילה לחקר השלדג. הפתרון זוהה במבנה המקור קטר הרכבת תוכנן מחדש על בסיס הפרמטרים של מקור השלדג, שהיווה מודל לפתרון. המקור הוא דוגמא למודל אופטימאלי, תוצר מעבדת התכן הטבעית, המהווה תחליף לחישובים מתמטיים מורכבים בתחום של דינמיקת הזרימה. התוצאה - בעיית הרעש ברכבת נפתרה, מהירות הרכבת והיעילות האנרגטית שלה גדלו^[13].

בתיאורי מקרה של פיתוחים ביומימטיים רבים יש כיום תחושה של חיבור אקראי בין המערכת הביולוגית לבין האתגר ההנדסי. כך למשל, מהנדס הרכבת היפנית שהה במקרה מול השלדג שזוהה כמקור הידע לפתרון בעיית הרעש ברכבת, ולא בוצע חיפוש שיטתי של אורגניזם. חסרה כיום מסגרת מתודולוגית שתתמוך בתהליך תכנון ביומימטי שיטתי. האתגר המרכזי בתהליך הפיתוח הביומימטי הוא גישור על הפער בין הביולוגיה לבין ההנדסה / טכנולוגיה, שתי דיסיפלינות המבוססות על צורת חשיבה וטרמינולוגיה שונות. למהנדסים לרוב חסרים ידע, שפה וצורת חשיבה ביולוגית, הנדרשים כדי לאתר ולהבין ידע ביולוגי. גם לביולוגים חסרים ידע, שפה וצורת חשיבה הנדסית, הנדרשים כדי לתרגם את הידע הביולוגי הנחקר לאתגר טכנוני הנדסי. העולם האקדמי נרתם לאתגר ועוסק בפיתוח של כלים ומתודולוגיות לגישור על הפער בין הביולוגיה ובין ההנדסה ולתמיכה בתהליך התכנון הביומימטי. להלן כלים נבחרים:

כלים לחיפוש אורגניזמים:

הדרך המקובלת לאתר מערכות ביולוגיות היא לבצע חיפוש לפי פונקציה, כאשר הפונקציה היא ההגדרה של האתגר הטכנוני, ויש לה משמעות

תהליך התכנון הביומימטי יכול להתחיל בזיהוי תופעה ייחודית בטבע שנחקרה על ידי ביולוגים, זואולוגים או בוטנאים. בהמשך מאתרים אתגר טכנוני אנולוגי לבעיה שנפתרה בטבע, ומוצעות אפליקציות אפשריות. כך למשל, גילוי של אפקט הלוטוס הוביל לסדרה של טכנולוגיות לניקוי עצמי.

בתהליך העברת הידע בין הביולוגיה להנדסה לעיתים נעזרים רק במערכת ביולוגית אחת, ולעיתים הפתרון מבוסס על חקר של מספר מערכות ביולוגיות, כאשר התכנון מורכב יותר ומבוסס על מספר פונקציות. הידע המועבר מהביולוגיה להנדסה הוא לרוב ידע פונקציונאלי הקשור לרמות חיקוי של מבנים, תהליכים ועקרונות טכנוניים ברמות סדר שונות מרמת התא, דרך רמת האיבר, רמת האורגניזם ועד רמת המערכת האקולוגית.

בכל כיוון פיתוח ובכל רמת חיקוי חייבים להימצא שלושה מרכיבים עיקריים בתהליך התכנון הביומימטי: (1) מערכת ביולוגית (2) הפשטה (3) העברה לאפליקציה ההנדסית / טכנולוגית. שלבים אלו הם פועל יוצא של תהליך תכנון אנולוגי בו יש מקור (מערכת ביולוגית) ויש יעד (מערכת הנדסית / טכנולוגית). גם ועידת התקינה הביומימטית הבינלאומית הפועלת בימים אלו לגיבוש תקן ביומימטי ומבוססת על ידע שפותח בגרמניה^[10], הגדירה את שלושת המרכיבים הנ"ל כמדד לזיהוי פיתוח ביומימטי בהשוואה לפיתוח שאינו ביומימטי.

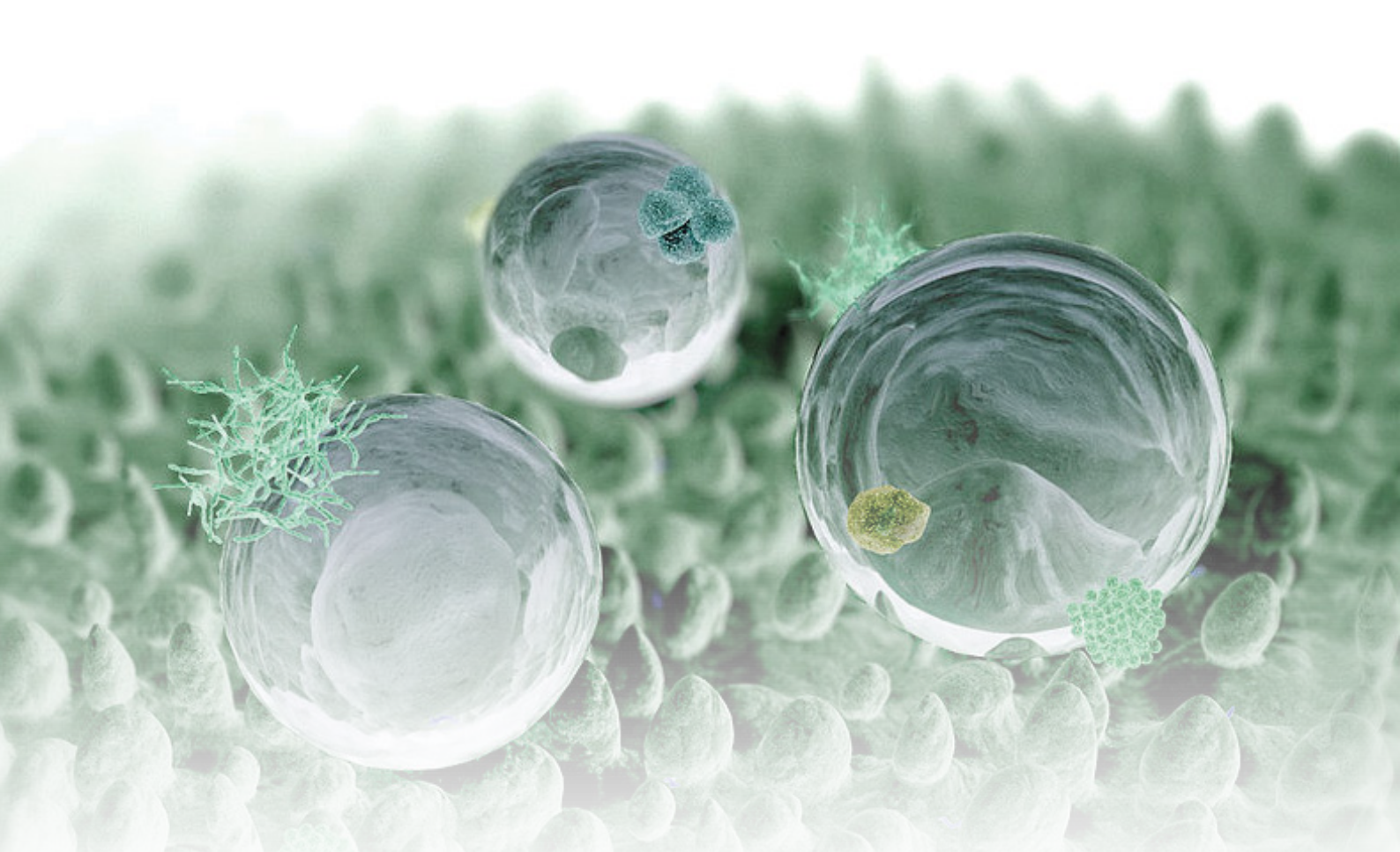
להלן הסבר השלבים:

• מערכת ביולוגית

יש לאתר מערכת ביולוגית אנולוגית לאתגר הטכנוני. אם אנו מתחילים במרחב הביולוגי, אנו מאתרים אורגניזמים, בעלי חיים או צמחים, בעלי מנגנון ייחודי, ובהמשך מזהים אתגר טכנוני אנולוגי. אם אנו מתחילים במרחב ההנדסי, אנו מגדירים אתגר טכנוני, ומאתרים מערכת ביולוגית המדגימה פתרון אנולוגי לאתגר זה.

• הפשטה

כל העברת ידע אנולוגית דורשת שלב של הפשטה^[6]. הפשטה בהקשר של תכנון ביומימטי היא תהליך של זיקוק הידע הביולוגי הנלמד למספר עקרונות פעולה, אסטרטגיות או מודלים מייצגים, המסבירים את הפתרון הביולוגי, ויכולים להיות מועברים בהמשך לאפליקציה ההנדסית. בשלב ההפשטה לרוב אנו יוצרים מודל פונקציונאלי, התנהגותי ומבני של הפתרון הביולוגי. שלב זה לרוב מערב ניתוח ביו-מכאני ומורפולוגי של המערכת הביולוגית הנחקרת^[11]. בתהליך ההפשטה נבנה הגשר בין הביולוגיה לבין הנדסה. לאחר שלב זה המתכנן יכול להתנתק מעולם התוכן הביולוגי ולעבור לעולם התוכן ההנדסי /



3(9): p. 471-82.

8. Miller, K.R., Life's grand design. Technology Review Manchester NH, 97: p. 24-24, 1994
9. Helms, M., S.S. Vattam, and A.K. Goel, Biologically inspired design: process and products. Design Studies, 30(5): p. 606-622, 2009
10. VDI 2011 Biomimetics.: conception and strategy—difference between bionic and conventional methods/products, in VDI 6220: 2011-06: Berlin: Beuth, 2011
11. Speck, T., Burgert, I., Process sequences in biomimetic research. Design and nature, 4: p. 3-11. 2008
12. www.asknature.org
13. http://biomimicry.net/
14. Nagel, J.K., R.B. Stone, and D.A. McAdams, An engineering-to-biology thesaurus for engineering design. Proc. 2010 ASME IDETC/CIE, Montreal, Quebec, Canada, 2010.
15. Nagel, R.L., et al., Exploring the use of functional models in biomimetic conceptual design. Journal of Mechanical Design, 130: p. 121102, 2008
16. Helfman Cohen Y, Reich.Y., Greenberg S, What can we learn from biological systems when applying the law of system completeness?, in ETRIA European TRIZ Association: Dublin, 2011
17. Helfman Cohen Y, Reich.Y., Greenberg S, Substance Field Analysis and Biological Functions, in ETRIA European TRIZ Association.: Lisbon, 2012
18. Helfman Cohen Y, Reich.Y., Greenberg S, Biomimetics: Structure-function patterns approach. Journal of Mechanical Design, Submitted for publication, 2014
19. Altshuller, G., The innovation algorithm, TRIZ, systematic innovation and technical creativity. Worcester, MA: Technical Innovation Center, Inc, 1999
20. Solga, A., Cerman, Z., Striffler, B. F., Spaeth, M., Barthlott, W., The dream of staying clean: Lotus and biomimetic surfaces. Bioinspiration & biomimetics, 2(4): p. S126, 2007

בטבע והפונקציות הגנריות הקשורות אליהם מנקודת מבט של תפקידם במערכת השלמה. חלק מהבנים אלו מתפקדים כמונעים של המערכת, מנצלים מקורות אנרגיה זמינים בסביבה לעבודה מכאנית. חלק מהבנים מתפקדים כבלמים של המערכת, בולמים מקורות אנרגיה מזיקים למערכת. בתהליך ההפשטה, מבנים אלו מוצבים במודל מערכת שלמה, מודל הנגזר מ-TRIZ, תיאוריה לפתרון בעיות בצורה המצאתית-שיטתית, המבוססת על חקר של מאות אלפי פטנטים [19]. ■

***הכותבת הינה מייסדת שותפה ומנכ"ל ארגון הביומימיקרי הישראלי. דוקטורנטית בשלבי סיום באוניברסיטת תל אביב בתחום של תכן ביומימטי. נציגה בוועדת התקינה הביומימטית הבינלאומית מטעם מכון התקנים הישראלי. מרצה בתחום במסגרות אקדמיות ופרטיות.**

אזכורים:

1. Benyus, J., Biomimicry: Innovation Inspired by Nature. Quill. New York, 1997
2. http://www.pointloma.edu/experience/academics/centers-institutes/fermanian-business-economic-institute/da-vinci-index-biomimicry.
3. Fermanian Business & Economic Institute, P.L.N.U., Global biomimicry efforts: an economic game changer, 2010
4. Ullman, D.G., The mechanical design process. McGraw-Hill, New York, 2002
5. Vosniadou, S., Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: A developmental perspective. Similarity and analogical reasoning, p. 413-437, 1989
6. Goel, A.K., Design, analogy, and creativity. IEEE expert, 12(3): p. 62-70, 1997
7. Vincent, J.F., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., Pahl, A. K., Biomimetics: its practice and theory. J R Soc Interface, 2006.

גם במרחב הביולוגי וגם במרחב ההנדסי.

- מאגר Asknature [12] - הוא מאגר ביומימטי המכיל כ-2000 מערכות ביולוגיות, ומאפשר איתור של מערכת ביולוגית לפי פונקציה. כל חיפוש של פונקציה מניב מספר רשומות של מערכות ביולוגיות בעלות פונקציה זו. הרשומה מכילה הסבר לגבי המנגנון הביולוגי, קישור למקורות מידע נוספים ואף רעיונות לפיתוחים ביומימטיים. במידה ופיתוחים אלו כבר קיימים, יש קישור לחברה המפתחת. מאגר זה הוא פיתוח של מכון הביומימיקרי האמריקאי [13], ומהווה מקור מידע פתוח ונגיש למתכננים ביומימטיים.
- תזארוס של פונקציות הנדסיות-ביולוגיות - כלי זה מאפשר חיפוש במאגרים ביולוגיים כלליים באמצעות שימוש בפונקציות כמילות חיפוש. התזארוס מקשר בין פונקציות הנדסיות לבין מילות חיפוש בעלות משמעות במרחב הביולוגי [14].

כלים להפשטה:

- מודול פונקציונאלי - מידול פונקציונאלי הוא תיאור של מערכת בעזרת כלל הפונקציות המרכיבות אותה והקשרים ביניהן. בתהליך זה הפונקציה המרכזית של המערכת מפורקת לתתי פונקציות שהן פחות מורכבות לתכנון. שיטת מידול זו מסבירה את המבנה וההתנהגות של המערכת. מידול פונקציונאלי של מערכת ביולוגית הודגם כישים בתהליכי הפשטה ביומימטיים [15]
- שימוש בדפוסים מבניים ובמודל המערכת השלמה - כלי זה פותח על ידי כותבת המאמר במסגרת עבודת דוקטורט בהנחיית פרופ' יורם רייך מאוניברסיטת תל אביב [16-18]. הכלי כולל רשימה של מבנים חוזרים