

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Kasandra-Zorica Ivanić
MENADŽMENT INOVACIJA U BIONICI
Diplomski rad

Zagreb, 2013.

Ovaj rad, izrađen na Ekonomskom fakultetu, u Zagrebu, pod vodstvom doc.dr.sc. Mislava Ante Omazića, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja - magistar ekologije i zaštite prirode.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

Menadžment inovacija u bionici

Kasandra-Zorica Ivanić

Rooseveltova trg 6, Zagreb

Biomimetika (bios – život, i mimetikos – imitiranje) ili bionika je disciplina koja nalazi održiva tehnološka rješenja korištenjem obrazaca i strategija iz prirode koji su prošli najteže testove evolucije i vremena. Biomimetika se razlikuje od drugih bio-pristupa ciljanim promatranjem i konzultiranjem organizama i ekosustava te primjenom tako stečenih osnovnih dizajnerskih principa u menadžmentu inovacija. U radu je pružen široki pregled područja biomimetike, a primjeri biomimetike koji su detaljno obrađeni i prezentirani su sljedeći: čičak-traka (tvrtka Velcro), lotus-efekt (tvrtka STO), strukturna obojenost (tvrtka Qualcomm) i tuberkuli peraja grbavog kita (tvrtka WhalePower). Proučeni su prirodni fenomeni koji su prolaskom kroz biomimetičku spiralu dizajna i menadžment inovacije pronašli svoju tržišnu primjenu i valorizaciju.

(76 stranica, 18 slika, 116 literaturnih navoda, izvornik na hrvatskom jeziku)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: biomimetika / inovacije / dizajn / čičak-traka / lotus-efekt / strukturna obojenost / tuberkuli / ekonomski potencijal

Voditelj: dr. sc. Mislav Ante Omazić, doc.

Ocjenitelji: dr. sc. Mislav Ante Omazić, doc.
dr. sc. Zoran Tadić, doc.
dr. sc. Sven Jelaska, izv. prof.
(zamjena: dr. sc. Petar Kružić, doc.)

Rad prihvaćen: 24. 01. 2013.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Graduation Thesis

Innovation management in Bionics

Kasandra-Zorica Ivanić

Rooseveltovo trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Biomimetics (bios - life, and mimitikos - imitation) or bionics is a discipline that seeks sustainable technological solutions by using the forms and strategies from nature that have passed the toughest tests of time and evolution. Biomimetics differs from other bio approaches because of the targeted observing and consulting of organisms and ecosystems and by applying those acquired fundamental design principles in the innovation management. The thesis provides a broad overview of the biomimetics field, and the examples of biomimetics, which were studied in detail and presented here are the following: Velcro (Velcro company), lotus-effect (STO company), structural coloration (company Qualcomm) and tubercles on the fins of humpback whales (WhalePower company). The study includes the natural phenomena that have passed through the biomimetics design spiral and innovation management and thus found their market application and valorisation.

(76 pages, 18 figures, 116 references, original in Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: biomimetics / innovation / design / Velcro / lotus-effect / structural coloration / tubercles / economic potential

Supervisor: Dr. Mislav Ante Omazić, Assoc. Prof.

Reviewers: Dr. Mislav Ante Omazić, Assoc. Prof.
Dr. Zoran Tadić, Asst. Prof.
Dr. Sven Jelaska, Prof.
(Dr. Petar Kružić, Assoc. Prof.)

Thesis accepted: 24.01.2013.

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Koncept biomimetike	2
1.2. Ključni termini i sinonimi biomimetike	3
1.3. Biomimetika: most između gospodarstva i okoliša.....	5
1.4. Specijalizacija organizama kao inspiracija u tehnološkom dizajnu	7
1.5. Podjela primjene biomimetike u dizajnu	9
1.6. Uporaba biomimetike kao korisnog alata za industrijski dizajn	11
1.6.1. Od teorije do prakse: kako uklopiti biomimetiku u postojeće dizajnerske alate ..	12
1.6.2. Projekti Instituta za biomimikriju i biomimetička spirala dizajna	12
1.6.3. Baze podataka	15
1.6.3.1. Baza podataka AskNature pri Institutu za biomimikriju	15
1.6.3.2. Chakrabarti sustav - funkcionalni prikaz analogno izvedenih ideja za dizajn	16
1.6.3.3. TRIZ – metodološki alat za kreativno rješavanje problema	16
1.6.3.4. Kritike navedenih alata.....	17
1.7. Kritike biomimetike	17
1.8. Materijali i procesi u biologiji	19
1.9. Hijerarhijska organizacija biomaterijala	20
1.10. Primjene biomimetike u industriji.....	21
1.11. Područja zabrinutosti i izazovi biomimetike	22
2. Studija slučaja 1: Velcro - čičak-traka	23
2.1. Povijest nastanka čičak-trake	23
2.2. Istraživanje i razvoj čičak-trake	25
2.3. Komercijalizacija i licenciranje čičak-trake	26
2.4. Generički zaštitni znak proizvođača	27
2.5. Pregled poslovnih rezultata Velcro Industries od 1967. do danas.....	27
2.6. Industrijske primjene čičak-trake	28
2.6.1. Prednosti i nedostaci primjene čičak-trake.....	29
2.6.2. Varijacije čičak-trake	30
3. Studija slučaja 2: Lotus-efekt – svojstvo samoočišćenja	31
3.1. Povijest istraživanja lotus-efekta	31
3.2. Načelo funkcioniranja lotus-efekta	32
3.3. Svojstva samoočišćenja lista lotusa.....	34
3.4. Hidrofobne mikrostrukture površine krila Morpho leptira.....	35
3.5. Industrijska primjena lotus-efekta	36
3.6. STO Corporation – glavni proizvođač Lotusan proizvoda	38
3.6.1. Povijest STO korporacije	39
3.6.2. Lotusan® boje i premazi	39
3.6.2.1. Prednosti Lotusana® u odnosu na postojeće proizvode	40
3.6.2.2. Prodaja, dobiti i planovi za budućnost Lotusan proizvoda	40
4. Studija slučaja 3: Strukturna obojenost	41
4.1. Povijest istraživanja i načela strukturne obojenosti	41
4.2. Fiksne strukture koje omogućuju strukturnu obojenost	43
4.3. Varijabilne strukture – reverzibilni proteini u kromatoforama glavonožaca.....	45
4.4. Industrijske primjene strukturne obojenosti	45
4.5. Qulcomm Incorporated	47
4.5.1. Povijest korporacije Qualcomm	47

4.5.2. Mirasol® tehnologija – nova generacija zaslona	49
4.5.2.1. Stvaranje boje na Mirasol® zaslonima	49
4.5.2.2. Tehnološke prednosti i budućnost Mirasol® zaslona.....	50
5. Studija slučaja 4: Tuberkuli na perajama grbavog kita.....	50
5.1. Istraživanje i razvoj učinka tuberkula	51
5.2. Komercijalizacija i licenciranje tehnologije tuberkula.....	53
5.3. Industrijska primjena tehnologije tuberkula	54
5.4. WhalePower Corporation – predvodnik tehnologije tuberkula	55
5.4.1. Povijest WhalePower korporacije	55
5.4.2. Prednosti tuberkula	55
5.4.3. Proizvodnja proizvoda temeljenih na tehnologiji tuberkula.....	56
5.4.4. Proizvodi WhalePower korporacije.....	57
6. Utjecaj biomimetike na ekonomiju	57
6.1. Da Vincijev Indeks: mjerenje utjecaja biomimetike.....	58
6.2. Ekonomski potencijal biomimetike kao industrije	60
6.2.1. Prodaja i industrijski potencijal	60
6.2.2. Utjecaj biomimetike na rudarstvo, komunalije, i graditeljstvo.....	61
6.2.3. Utjecaj biomimetike na proizvodnja i informatička tehnologiju	61
6.2.4. Utjecaj biomimetike na skladištenje, pohranu i gospodarenje otpadom.....	62
6.2.5. Utjecaj biomimetike na arhitekturu, inženjering i srodne djelatnosti.....	62
6.3. Potencijalni ekonomski utjecaj biomimetike na SAD i svjetsku ekonomiju.....	63
6.3.1. Potencijalni utjecaj biomimetike na BDP SAD-a	63
6.3.2. Ublažavanja ekonomskih gubitaka.....	64
6.3.3. Utjecaj na zapošljavanje	64
6.3.4. Globalni utjecaj biomimetike na ukupnu svjetsku proizvodnju.....	64
6.4. Investiranje u biomimetiku	65
6.4.1. Povratak ulaganja u biomimetiku	65
6.4.2. Tokovi kapitala u biomimetiku i biotehnologiju.....	66
6.4.3. Načini investiranja u biomimetiku	67
6.4.4. Investicijski rizici u biomimetiku	67
7. Zaključak.....	68
8. Literatura	71

1.Uvod

Nakon milijarde godina evolucije, priroda je razvila izume koji rade, koji su prikladni za predviđene zadatke i koji traju. Korištenjem minimalnih resursa za postizanje maksimalne učinkovitosti došla je do brojnih trajnih rješenja (Gordon, 1976). Prepoznajući da je ova sposobnost i dalje znatno ispred mnogih naših tehnologija, ljudi su uvijek težili oponašanju prirode. Ovo polje, koje se također zove biomimetika, biomimikrija, bionika ili biogeneza, doseglo je impresivne razine koje uključuju imitaciju nekih od procesa ljudskog razmišljanja u računalima kopiranjem nekih ljudskih značajki, poput donošenja odluka i samostalnog upravljanja (Bar-Cohen, 2005).

Biologija nudi odličan model za razvoj mehaničkih alata, računalnih algoritama, učinkovitih materijala, kao i novih mehanizama i informacijske tehnologije. Prilagođavanjem mehanizama i sposobnosti iz prirode, znanstveni pristupi su pomogli ljudima da razumiju povezane pojave i pripadajuća načela kako bi projektirali nove uređaje i poboljšali njihovu sposobnost. Struktura temeljena na stanici, koja čini većinu bioloških stvorenja, nudi mogućnost da raste uz toleriranje kvarova i samopopravljanje, čineći sve stvari koje karakteriziraju biološke sustave. Stoga, inženjerske konstrukcije koje su izrađene od više stanica omogućile bi dizajn uređaja i mehanizama koji su nemogući s današnjim mogućnostima. Nanotehnologije u nastajanju sve više omogućavaju potencijal takvih struktura. Neke od komercijalnih implementacija napretka u biomimetici mogu se vidjeti u trgovinama igračkaka, u kojem se igračke pojavljuju i ponašaju poput živih bića (npr., psi, mačke, ptice, žabe). Ozbiljnije prednosti bionike uključuju razvoj protetičkih implantata i mehanizama za pomaganje osjetilima koji su povezani sa mozgom kako bi se pomoglo u slušanju, gledanju ili upravljanju instrumentima.

Kroz evoluciju, priroda je eksperimentirala s raznim rješenjima za svoje izazove i poboljšala uspješna rješenja. Organizmi koje je priroda stvorila, koji su sposobni preživjeti, nemaju nužno optimalnu tehničku izvedbu. Efektivno, sve što trebaju učiniti je da prežive dovoljno dugo da se reproduciraju. Živi sustavi arhiviraju akumulirane informacije nastale evoluiranjem tako što ih kodiraju u gene pojedinih vrsta i prenose informacije iz generacije u generaciju kroz samoreplikaciju. Dakle, kroz evoluciju priroda, ili biologija, je eksperimentirala s načelima fizike, kemije, strojarstva, znanosti o materijalima, mobilnosti,

kontrolom, sensorima, i mnogim drugim područjima koje ljudi prepoznaju kao znanost i tehniku. Iako još uvijek postoji sumnja glede razloga zašto su stvorenja poput mamuta izumrla, može se tvrditi da je eksperiment u evoluciji kopnenih životinja mega-razmjera neuspjao. Dok su morska stvorenja, poput kitova, preživjeli, eksperiment s velikim kopnenim životinjama završio je izumiranjem pretpovijesnih golemih stvorenja (npr. dinosauri i mamuti). Takva bića danas možemo naći samo u iskopinama i prirodoslovnim muzejima.

1.1. Koncept biomimetike

Pojam biomimetika prvi put se pojavio 1962. godine kao opći pojam, uključujući i bioniku te kibernetiku. Tada je pojam biomimetike objašnjavao sve vrste imitacija živih oblika, dok je izraz bionika definiran kao "...pokušaj da razumijemo trikove koje priroda koristi pri rješavanju svojih problema" (Bencaude-Vincent i sur., 2002). Izraz bionika zapravo je ranije korišten a pokriva više ili manje isto područje kao izraz biomimetika ili biomimikrija danas. Biomimikrija je u posljednje vrijeme postala omiljeno ime, posebice kroz knjigu Janine Benyus *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* (Benyus, 1997) Iako Benyus gleda biomimikriju s ekološki motivirane točke gledišta, današnji rastući interes za biomimikriju ili biomimetiku samo je u određenoj mjeri time motiviran. Jedan od glavnih razloga zbog čega je biomimetika popularna jednostavno može biti taj što, po prvi put u povijesti, imamo alate i sposobnosti za analiziranje prirode te možemo učiti iz njenih 3,8 milijardi godina iskustva u razvoju i održavanju. Štoviše, današnje znanstvene zajednice i mreže iz različitih područja trebale bi omogućiti potrebnu suradnju da biomimetika bude uspješna.

Povijesno gledano, životinje su poslužile kao inspiracija za tehnološki dizajn. Tijekom renesanse, morske životinje su identificirane kao uravnotežena tijela sa smanjenim otporom koja bi se mogla primijeniti na proizvodnju uređaja. Između 1505. i 1508. godine, Leonardo da Vinci (1452-1519) bio je posebno zainteresiran za strujanje vode, kao što je otkrio u svojim bilješkama, *Codex Leicester* (Ball, 2009). Da Vinci je pisao o funkciji ujednačenog tijela koje smanjuje otpor te se osvrnuo na moderni oblik ribe kao dobar primjer (Anderson, 1998). On je tvrdio da se riba kreće kroz vodu s malo otpora jer njezin oblik omogućuje vodi da teče glatko preko stražnjeg dijela bez preranog odvajanja. Da Vinci je prikazao sličan dizajn na

trupu brodova iako je puno poznatiji njegov leteći stroj koji se temeljio na proučavanju anatomije i leta ptica (Romei, 2008).

Giovanni Borelli je 1680. godine napravio pregled kretanja životinja prilikom plivanja s njihovom primjenom u podvodnoj tehnologiji (Borelli, 1680). U svojoj knjizi *De motu animalium (Kretanje životinja)*, Borelli je usporedio plivanje s letenjem, pritom zaključujući kako su oba načina ostvarena pomicanjem fluida, iako je ukazao na razlike u gustoći zraka i vode te njihov utjecaj na stabilnost i uzgon. Borelli je opisao dizajn rane podmornice koja uključuje ideje koje se dijelom temelje na životinjskim rješenjima regulacije uzgona i pogona.

Tek je u posljednjih nekoliko godina biomimikrija dobila na popularnosti. Janine Benyus, autorica šest knjiga, predvodnica je i jedna od pionira u ovom području (Benyus, 1997). Priroda se sve više gleda kao model, mentor i mjerilo. Ne bi nas trebalo čuditi da su milijuni godina evolucije u prirodi proizvele mehanizme i sustave koji su vrlo učinkoviti, izbjegavaju otpad, te su održivi u gotovo zatvorenom sustavu. Kao što je istaknuo Peter Foley, suradnik i direktor grupe za kognitivnu znanost u tvrtki Proctor & Gamble, priroda teži 'optimizirati' a ne 'maksimizirati'. Priroda je također model održivosti, budući da je sustav 'zatvorene petlje' (Foley, 2010).

1.2. Ključni termini i sinonimi biomimetike

Pojam biomimetika izveden je iz grčkih riječi *bios* i *mimesis*, a skovao ga je 1957. godine znanstvenik Otto Schmitt koji je u svojoj doktorskoj disertaciji razvio uređaj koji imitira električno djelovanje živca. U definiranju biomimetike slijedila sam definiciju koja se prvi put pojavljuje u Websterovom rječniku 1974. godine i definira se kao “proučavanje formiranja, strukture ili funkcije biološki proizvedenih tvari i materijala (poput enzima ili svile) i bioloških mehanizama i procesa (poput sinteze proteina ili fotosinteze), u svrhu objedinjenja sličnih proizvoda umjetnim mehanizmima koji oponašaju prirodne”. Polje biomimetike je uvelike interdisciplinarno. To uključuje razumijevanje bioloških funkcija, struktura i načela raznih objekata pronađenih u prirodi od strane biologa, fizičara, kemičara i stručnjaka za materijale.

Biomimikrija doslovno znači imitacija života, a riječ dolazi iz kombinacije grčkih riječi *bios* (život) i *mimikos* (imitacija). To međutim, nije jasno definiran pojam, jer se koristi nekoliko sinonima, uključujući sljedeće: biomimetika, bionika, biognosis i bionički kreativni inženjering. Tu su i discipline koje graniče s biomimikrijom, a koje koriste slične nazive, primjerice biomehanika i biofizika. Janine Benyus definira “Biomimikrija (...) se odnosi na proučavanje najuspješnijih rješenja iz prirode, a zatim oponaša dizajn i procese u svrhu rješavanja ljudskih problema. To se može shvatiti kao inovacija inspirirana prirodom” (Benyus, 1997).

Druge definicije i izrazi nastoje pokriti šire, drugačije, ili specijalizirano područje: na primjer, izraz bionika često se koristi za opisivanje znanosti o stvaranju umjetnih udova i dijelova tijela za ljude, disciplinu usko povezana s kibernetikom (Berger, 1978). Bionika, predmet kopiranja, oponašanja, i učenje iz biologije. Termin je skovao Jack Steele, pripadnik američkog ratnog zrakoplovstva, 1960. godine na sastanku u zračnoj bazi Wright-Patterson u Daytonu, Ohio (Vincent, 2001). Ovo polje se sve više poistovjećuje s novim temama u znanosti i inženjerstvu. Ova nova znanost predstavlja studije i imitaciju prirodnih metoda, dizajna i procesa. Dok se neke od temeljnih prirodnih konfiguracija i dizajna mogu kopirati, postoje mnoge ideje iz prirode koje su najbolje prilagođene ukoliko služe kao inspiracija koristeći ljudske sposobnosti. Ostale discipline koje graniče s biomimetikom su biomehanika i biofizika. One se djelomično preklapaju, i fokusiraju se na polja aerodinamike, termodinamike, mehanike kontinuuma i hidrodinamike (biomehanika), kao i akustičnog, svjetlosnog i temperaturnog inženjeringa (biofizika).

Biomimetika obično ne znači izravan transfer promatranja prirode na razvoj proizvoda, nego kreativnu primjenu bioloških koncepata putem inovacijskog menadžmenta u proizvodima. Razlog zašto biomimetika rijetko uključuje izravno kopiranje prirode objašnjava Robert J. Full iz Odjela za integrativnu biologiju sa Sveučilišta Berkeley u Kaliforniji: “Evolucija nije usavršavani princip, radi na načelu 'samo dovoljno dobar'. Ako za zadatak zaista želite nešto dizajnirati, morate pogledati raznolikost organizama u prirodi, a zatim se inspirirati načelima” (McNichol, 2002).

1.3. Biomimetika: most između gospodarstva i okoliša

Biomimetika bi mogla predstavljati revolucionarnu promjenu u našem gospodarstvu mijenjajući način na koji mislimo o projektiranju, proizvodnji, transportu i distribuciji robe i usluga. Biomimetika je disciplina koja primjenom načela iz prirode rješava ljudske probleme i osigurava sredstva za postizanje ekoloških i gospodarskih ciljeva. Biomimetika bi mogla značajno utjecati na zaokret u globalnoj ekonomiji. Primjena biomimetike do komercijalne uporabe može transformirati velike dijelove različitih industrija u narednim godinama i na kraju utjecati na sve segmente gospodarstva. Industrije na koje bi imala najveći utjecaj su komunalije, transportna oprema, kemijska proizvodnja, skladištenje, gospodarenje otpadom, arhitektura i inženjering.

Dva su vrlo različita pristupa korištena prilikom uporabe načela biomimetike. U nekim slučajevima, znanstvenici vide zanimljiv koncept u prirodi, a zatim pronalaze komercijalnu primjenu. U drugim slučajevima je upravo obrnuto: poduzeća traže rješenje za određeni problem i pokušavaju pronaći odgovor u prirodnom svijetu.

U proteklim godinama poduzećima koja prodaju proizvode nadahnute biomimetikom često se udvostručila godišnja prodaja. Mnogi od tih proizvoda mogu ponuditi kupcima smanjenje energetske potrošnje, manje otpada, i poboljšane performanse, dok se prodaju po konkurentnim cijenama ili čak i manjim od onih već postojećih proizvoda. Ograničenja s kojima se suočavaju poduzeća koja pokušavaju komercijalizirati proizvode po načelima biomimetike su: edukacija i uvjeravanje kupaca otpornih na promjene, pronalaženje dovoljno početnog kapitala, razvijanje novih opskrbnih lanaca, i kretanje od malih operacija do operacija većeg razmjera. Investitore bi biomimetika trebala privlačiti zbog brzog rasta prodaje i visoke stope povrata. Poduzetnički kapital mogao bi potaknuti rast industrijske biomimetike, jednakim tempom kao i kod biotehnološke, a procjenjuje se na 4,5 milijardi dolara za 2010. godinu (Ataide, 2010).

Biomimetika osigurava sredstva za postizanje ekoloških i ekonomskih ciljeva. Kao što su se politički čelnici diljem svijeta počeli više fokusirati na 'održivi rast', sukob između zaštite okoliša i gospodarskog interesa potencijalno bi mogao biti veći nego ikada. Recesijom se

smanjuje broj radnih mjesta, stoga pronalaženje ravnoteže između očuvanja naših prirodnih resursa i povećanje zapošljavanja predstavlja velike izazove.

Iako mnoge velike korporacije i javne agencije provode 'zelene' inicijative, fokus na očuvanju prirode daleko je od toga da postane ukorijenjen u našoj kulturi. Mnogi ciljevi zaštite okoliša ostvaruju se samo kroz zakonske mandate ili subvencije. Veći naglasak na povećanju zaposlenosti uz javni pritisak proračuna bi mogao ugroziti mnoge od tih napora. Programi poduzeća koji su usmjereni na zaštitu okoliša mogli bi biti osjetljivi na drugu recesiju i potrebom za smanjenjem troškova koji se ne smatraju od vitalnog značaja.

Posebno izvješće o održivom poslovanju u dnevniku *Financial Times* napomenulo je da su mnoga poduzeća, izvan poljoprivrede, hrane i lijekova, imale neke očite veze s prirodnim svijetom (Sukhdev, 2010). Možda se ta percepcija mijenja. Poduzeća koja su se dosad malo oslanjala na biljke ili životinje postaju svjesna koliko njihovo bogatstvo ovisi o očuvanju prirodnih ekosustava. Biomimetika bi mogla pružiti taj traženi most između gospodarstva i okoliša. Dugoročno, političari, poslovni ljudi i javnost obuhvatit će napore u zaštiti okoliša i očuvanju naših prirodnih resursa jedino ako to čine u gospodarskom smislu. Biomimetika omogućuje spajanje tih dvaju zasad teško spojivih aspekata. Rješenja inspirirana prirodom omogućuju nam podizanje standarda življenja i očuvanja okoliša povećanjem učinkovitosti i smanjenjem troškova.

Biomimetika ima potencijal za smanjenje triju glavnih izvora troškova:

- ekonomsku cijenu zagađenja,
- ekonomski trošak odlaganja otpada,
- ekonomsku cijenu iskorištavanja prirodnih resursa (Ataide, 2010).

Temeljem procjene Svjetske banke, troškovi iskorištavanja energije, minerala i šuma, zajedno s troškovima zagađenja ugljikovim dioksidom, trenutno u SAD-u iznose oko 350 milijardi dolara (<http://data.worldbank.org/topic/environment>). Sama cijena zagađenja obuhvaća širok spektar povezanih elemenata, uključujući zdravstvene troškove, izgubljene radne sate i plaće, gubitke u poljoprivredi, a i smanjivanje imovinske vrijednosti (Ataide, 2010).

Potencijalni ekonomski troškovi klimatskih promjena i globalnog zagrijavanja tek se počinju shvaćati.

Potencijal biomimetike dolazi iz iskustva poduzeća koja prodaju dobra i usluge s niskom emisijom ugljika. Istraživanje HSBC procjenjuje da je u 2008. u svijetu prodaja poduzeća u sektoru klimatskih promjena (uključujući poduzeća uključena u obnovljive izvore energije, alternativnu energiju, vodu i gospodarenje otpadom) dosegla 534 milijarde dolara. Ovo prelazi prihode zrakoplovnih i obrambenih sektora koji se procjenjuju na 530 milijarde dolara. Unatoč recesiji, u sektoru klimatskih promjena prodaja je porasla za oko 75% u odnosu na prethodnu godinu (Harvey, 2009).

Biomimetika nije samo vezana uz 'zeleno'. Dizajni novih proizvoda imaju potencijal smanjenje troškova samih proizvoda, što je važno za potrošače. Iako ankete sugeriraju da dvije trećine američkih kućanstava vjeruju da okoliš treba uzeti u obzir prilikom kupnje proizvoda, samo oko polovica je spremna platiti cijenu premije (Ataide, 2010). Sposobnost prirode da inspirira učinkovitija rješenja može ponuditi jeftinije proizvode za poduzeća na tržištu. Na ravnotežu, umjesto postavljanja situacije kao "ili-ili" rasprave između okoliša i radnih mjesta, biomimetika predstavlja "win-win" varijantu koja omogućuje oboje.

1.4. Specijalizacija organizama kao inspiracija u tehnološkom dizajnu

Inspiracija za razvoj novih tehnologija je u srcu pristupa biomimetike. Kao što postoji velika raznolikost bioloških oblika, pojedini atributi mogu biti usmjereni ka pružanju inovativnih rješenja inženjerskih problema. Biologija može osigurati nove tehnološke mogućnosti i povećati učinkovitost postojećih tehnologija. Biomimetika je alat za rješavanje problema u idejnim i primjenjivim fazama dizajna (Reap i sur., 2005). Cilj biomimetike je korištenje biološke inspiracije u dizajniranju strojeva koji oponašaju izvedbe živih organizama (Kumph i Triantafyllou, 1998), posebno u slučajevima gdje učinkovitost organizama premašuje trenutnu tehnologiju (Taubes, 2000). Prirodno eksperimentiranje koje je prošlo kroz evolucijski proces je proizvelo mnoštvo organizama, kako one žive tako i izumrle. Unutar filogenetskog podrijetla ovih organizama, došlo je do cost-benefit analiza gdje su pojedini

dizajni optimizirani za obavljanje specifičnih funkcija s obzirom na surovost njihova okoliša (Fish, 2006).

Živi organizmi mogu graditi iznenađujuće oblike i strukture koristeći materijale u svom okruženju ili materijale koje sami proizvode. Proizvedeni oblici i strukture unutar vrste su vrlo bliske kopije. Oni su također veoma otporni i podržavaju strukturno zahtijevanu ulogu u određenom vremenu. Takve strukture su ptičje gnijezdo i pčelinje saće. Često veličina strukture može biti znatno veća od vrste koja je gradi, kao što je u slučaju paukove mreže. Jedno stvorenje koje ima vrlo impresivne graditeljske vještine je dabar, koji gradi brane kao svoje stanište na potocima. Zanimljive građevine su i podzemni tuneli glodavaca. Ptice grade svoje gnijezdo od grančica i drugih materijala koji su osigurani raznim stabilnim objektima, a izdržljiva su tijekom sezone gniježđenja. Mnoga gnijezda su u obliku polukugle u području gdje polažu jaja. Moramo se zapitati kako ptice imaju sposobnost projektiranja i gradnje ispravnog oblika i veličine koja odgovara njihovim zahtjevima omogućavajući im polaganje jaja, valjanje pilića, i njihov rast sve do napuštanja gnijezda. Veličina gnijezda, u smislu potrebnog prostora, računa potencijalan broj jaja i pilića (Bar-Cohen, 2005). I biljke nude inspiraciju, gdje se oponašanjem koncepta sjemenki koje se pridržavaju za životinjsko krzno, dovelo do izuma čičak-trake, što je imalo enormni učinak u mnogim područjima, uključujući odjeću i vezanje električnih žica.

Biolozi su dobro upoznati s određenim prilagodbama prisutnih kod životinja, koje bi mogle biti od interesa za inženjere. Za biologa, program adaptacije omogućio je identifikaciju novih značajki kod organizama na temelju inženjerskih principa, dok je za inženjere, identifikacija takvih novih značajki potrebna da ih iskoriste za razvoj biomimetike. Ova nova sinergija između biologa i inženjera može biti korisna u unapređenju tehnologije traženjem rješenja u prirodi s ciljem pružanja rješenja za aktualne probleme.

Za morske tehnologe, biomimetički pristup obećava poboljšane performanse i povećanu učinkovitost za rad u vodenom okolišu. Upravo je u oceanima prvi život evoluirao, složeni su organizmi napredovali više od 600 milijuna godina, a morske predstavnike nalazimo u svim većim životinjskim klasifikacijskim odjeljcima. Morske životinje preživljavaju u veoma raznolikim sredinama poput tropskih koraljnih grebena, polarnih ledenih kapa, ali i bez

svjetla, u mračnim dubinama. Raznolikost dostupnog staništa u morskim sustavima dovela je do nepreglednog niza morfološkog dizajna te fizioloških i bihevioralnih mehanizama. Ove prilagodbe koje su se razvile u organizmima koriste se za prevladavanje biotičkih i abiotičkih izazova u oceanu (Fish i Kocak, 2011).

Kako bi se nosile sa surovim morskim okolišem, životinje su razvile specijalizirane osjetilne sustave (npr. eholokacija, elektroreceptori), mehanizme koji se nose s pritiskom (npr. kontrola uzgona), strategije štednje energije (npr. vretenasto tijelo, učenje), oklop (npr. koštane ljuske, školjke mekušaca), mehanizam stabilnosti (npr. parne i središnje peraje), mogućnost upravljanja (npr. fleksibilna tijela, usmjereni potisak), brzina (npr. mlazni pogon), skrivanje (npr. kamuflaža, prigušeni zvukovi), i korištenje usklađenih materijala (npr. kolagen, proteinske gumice, sluz) (Vincent, 1990). Korištenjem takvih specijalizacija kako bi poboljšale izgled za svoj ostanak, životinje pokušavaju funkcionirati na način da smanje ukupnu potrošnju energije, dok maksimiziraju performanse specijalizacije. Životinje optimiziraju onako kako inženjeri to nastoje učiniti sa svojim dizajnima.

1.5. Podjela primjene biomimetike u dizajnu

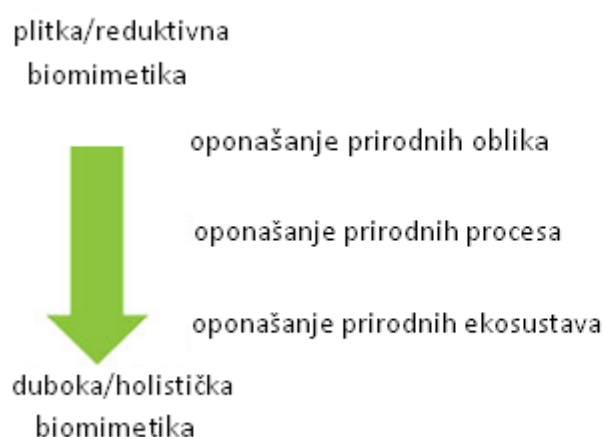
Baš kao što postoje razlike u tome kako biomimetiku treba definirati i koncipirati, postoje različita mišljenja o tome kako biomimetiku treba primijeniti, a podijeljena su između 'reduktivnog pogleda' (ili plitke biomimetike) i 'holističkoga pogleda' (ili duboke biomimetike) (Benyus, 1997).

Reduktivan pogled vidi biomimetiku kao prijenos bioloških tehnologija na domenu dizajna i inženjeringa, dok holistički pogled vidi biomimetiku kao mjeru za postizanje ekološki održivih proizvoda, tj. proizvoda koji ne štete okolišu tijekom proizvodnje, uporabe ili odlaganja. Reduktivna biomimetika fokusira se isključivo na imitiranje nekoliko značajki ili funkcija pojedinih organizama ili bioloških procesa. To je tradicionalna vrsta biomimetike, a nema izričit cilj omogućiti održivost okoliša kroz mimiku prirode.

Kada se govori o primjeni biomimetike u dizajnu, Janine Benyus dijeli biomimetiku na tri razine, od plitke do duboke biomimetike. Reduktivna ili plitka biomimetika sačinjava prvu razinu, a odnosi se na oponašanje oblika iz prirode. Primjer je oponašanje kuka i perca iz sovine perja kako bi se stvorio materijal koji se otvara bilo gdje duž vlastite površine. Reduktivna biomimetika pomoći će u rješavanju specifičnog problema, ali nema jamstva da će dati ekološki održivo rješenje (Reap i sur., 2005.) Biomimetika nastoji imitirati život stvarajući utisak da će proizvod dobiven biomimetikom automatski biti manje štetan za okoliš od klasičnih proizvoda. Međutim, rezultati ispitivanja pokazuju da se redukcijski biomimetički proizvodi ne mogu smatrati više održivima od norme.

Druga razina uključuje oponašanje prirodnih procesa. To je korak ka dubljoj ili holističkoj biomimetici, jer proizvodni procesi koji se nalaze u prirodi ne štete prirodi. Na primjer, sova stvara perje prirodnim putem pri tjelesnoj temperaturi, bez toksina ili visokih tlakova.

Na trećoj razini, oponašanje prirodnih ekosustava klasificirano je kao duboka ili holistička biomimetika. Ovo gledište obuhvaća cijeli način na koji priroda uspijeva proizvoditi bez oštećenja okoliša, gledajući sve kao dio cjelokupnog sustava (slika 1). Za dizajnera koji želi djelovati prema tom načelu će značiti da postaje "(...) poznavatelj životnog ciklusa planiranja uzimajući u obzir svaki korak u procesu dizajna proizvoda, počevši od ekstrakcije sirovina i završavanja s obnovom ili prenamjenom proizvedenog proizvoda" (Reap i sur., 2005).



Slika 1: Smjer primjene biomimetike u dizajnu (Preuzeto od Volstad, N.L., Boks, C. (2012): On the use of Biomimicry as a Useful Tool for the Industrial Designer. Sustainable Development 20: 189-199.)

Holistički pogled biomimetike je orijentirani pristup ka ekodizajnu. Sljedbenici holističkog pogled priznaju da reduktivni pristup biomimetici pridonosi znanju u određenim područjima pružajući vrijedne nove tehnologije te da je vrijedan alat za rješavanje određenih problema u pojedinim fazama procesa dizajna (Reap i sur., 2005). Međutim, zagovornici holističkog pogleda smatraju da biomimetika može dostići svoj puni potencijal jedino kada se koristi u holističkom kontekstu. U ovom radu, međutim, biomimetika će se razmotriti na tradicionalan način, odnosno kao reduktivnu formu, jer je glavna svrha članka procijeniti korisnost biomimetike kao izvor inspiracije i kao alat za rješavanje praktičnih problema dizajna i inovacije.

1.6. Uporaba biomimetike kao korisnog alata za industrijski dizajn

Dizajneri i inženjeri stalno su u potrazi za inspiracijom za rješavanje njihovih problema. Jedan od izvora inspiracije je priroda, koja je bila korištena stoljećima. Primjeri i inspiracija iz prirodnih pojava pomogli su riješiti mnoge probleme čovječanstva kroz biološke oblike, mehanizme, sustave i analogije. U svijetu industrijskog dizajna ovaj trend nije bio vidljiv ranije, ali u zadnje vrijeme postoje ozbiljni pokušaji da se iskoristi priroda kao inspiracija za dizajn – biomimetika, inovacija inspirirana prirodom (Kennedy, 2004). Neki istraživači smatraju da bez dublje, osjetljivije povezanosti među ljudima, prirode i izgrađenog okoliša, svaki prijedlog održivog dizajna u konačnici neće biti potpun, a time ujedno i neuspješan (Klein, 2009).

Kategorije biomimetike koji će se uzeti u obzir u odnosu na industrijski dizajn mogu se okvirno grupirati u sljedeće skupine:

- materijali (znanost o materijalima),
- mehanika / dinamika (opći i motorički inženjering),
- struktura (konstrukcije i arhitektura),
- forma (arhitektura i umjetnost) (Volstad i Boks, 2012).

Važno je napomenuti da navedene skupine nisu općenita kategorizacija područja u kojima dizajneri specijaliziraju. Industrijski dizajn uključuje puno više nego što obuhvaćaju četiri

navedene skupine. Područja kao što su ergonomija, marketing i upravljanje inovacijama su također uključeni (Roozenburg i Eekels, 1995).

1.6.1. Od teorije do prakse: kako uklopiti biomimetiku u postojeće dizajnerske alate

Biomimetički izumi mogu nastati iz biologije za dizajn ili od dizajna do biologije. U pristupu od biologije ka dizajnu, biološka pojava sugerira nov način da se riješi izazov ljudskog dizajna. Noge macaklina inspirirale su znanstvenike da razviju 'Geko traku' koja sadrži milijarde sićušnih plastičnih vlakana koja su slična prirodnim dlačicama koje pokrivaju noge macaklinova stopala. To je pokazalo da su znanstvenici otkrili način na koji se životinje poput macaklina pridržavaju za površine, a zatim je došlo do praktične primjene. U pristupu od dizajna do biologije, dizajner počinje s izazovom ljudskog dizajna, identificira temeljnu funkciju, a zatim razmišlja kako razni organizmi ili ekosustavi postižu tu funkciju. Dobar primjer je pronađen u automobilskoj industriji, gdje su dizajneri tražili organizam koji je uspješno riješio izazov forme i aerodinamike, i pronašli su inspiraciju u ribi *Ostracion cubicus* L., tropskoj plivačici, čiji je neobičan, kockasti oblik tijela, iznimno uravnotežen i predstavlja ideal aerodinamičnosti s vrlo niskim koeficijentom otpora zraka, što je vrlo važan faktor u dizajnu automobila.

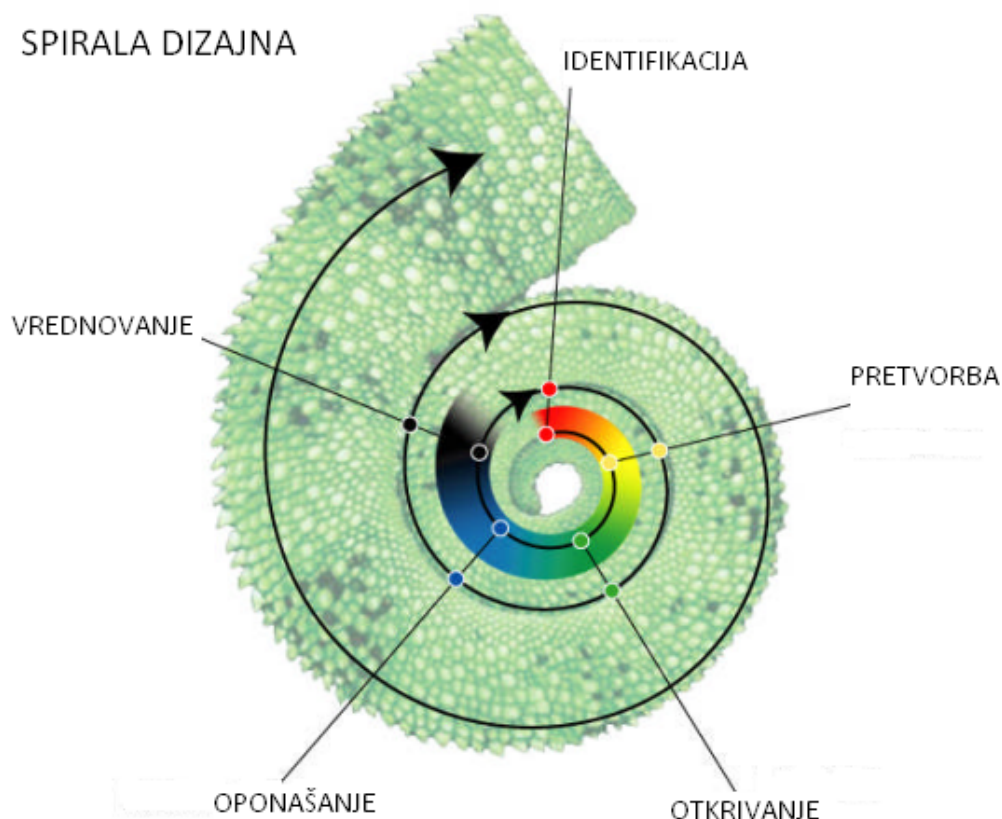
1.6.2. Projekti Instituta za biomimikriju i biomimetička spirala dizajna

Institut za biomimikriju, neprofitna organizacija koja promiče učenje i oponašanje prirodnih oblika, procesa, i ekosustava kako bi stvorili održivije i zdravije ljudske tehnologije i dizajn. Institut sugerira da dizajnerski tim gleda prirodu kao 'model, mjeru i mentora'. Postoje stotine tehnologija inspiriranih dokazanim sustavima dizajna koji postoje u prirodi. Ljudi postaju sve više upoznati s ovim primjerima kroz širenje i produblivanje unutarnje svijesti o prirodi.

Jedan od projekata Instituta za biomimikriju je 'Biolozi za stolom za dizajn' (Biologists at the design table - BaDT) (http://www.biomimicryguild.com/guild_badt.html) koji biologima predstavlja proces dizajna. U BaDT-u su biolozi, koji prolaze obuku metodologije biomimetičkog dizajna koja se ističe u pretraživanju bioloških istraživanja. Oni pronalaze

prirodne strategije koje zadovoljavaju određene dizajnerske izazove, te procijenjuju koji od tih projekata ili sustava strategija najviše obećava. Biolozi su stručnjaci u pretvaranju strategija iz prirode u strategije koje pomažu pri rješavanju problema dizajna kroz menadžment inovacija. Isporučuju analize isplativosti i planove djelovanja za provedbu odabrane biološki nadahnute strategije. Također postoji usluga pod nazivom 'Dial-a-Biologist'. Taj servis dio je Instituta za biomimikriju gdje stručnjaci odgovaraju na tehnička pitanja i sudjeluju u 'brainstorming'-u kako bi otkrili načine na koje je ideje iz prirode mogu pomoći unaprijediti proizvod ili proces. Usluga 'Dial-a-Biologist' također nudi predavanja, radionice i umrežavanje između istraživača / znanstvenika i poduzeća.

Institut za biomimikriju, u suradnji s drugim organizacijama, razvio je praktičan dizajnerski alat zvan biomimetička spirala dizajna (slika 2) koja koristi prirodu kao model. Ovaj alat prikazuje smjernice koristeći dolje navedene korake koji omogućuju učinkovitu i sustavnu primjenu alata prilikom stvaralačkog procesa.



Slika 2: Biomimetička spirala dizajna s pet kronološki poredanih smjernica (Preuzeto sa http://biomimicry.typepad.com/newsletter/files/biomimicry_newsletter_v4.1.pdf)

Identifikacija - razlaganje problema i razvijanje jezgrovitog dizajna za ljudske potrebe. Razlaganje dizajna do srži problema i specifikacija. Postavlja se pitanje „Što želite da vaš dizajn radi? (a ne „Što želite dizajnirati?“), a time se dolazi do dna problema. Definiranje posebnosti problema - ciljana tržišta (tko je uključen u problem i tko će biti uključen u rješenje). Bitna je lokacija, tj. gdje je problem i gdje će rješenje biti primijenjeno.

Pretvorba – pretvorba jezgre dizajna u biološke izraze, postavljenjem pitanja s prirodne perspektive. Identificiranje funkcija (kako priroda (ne) djeluje) i staništa / lokacija (klimatski, nutritivni, socijalni, vremenski uvjeti). Objedinjavanjem dolazimo do pitanja „Kako priroda postiže ovu funkciju u ovom okolišu?“

Otkrivanje - traženje bioloških modela koji zadovoljavaju jezgru dizajna. Razmatranje doslovnih ali i metaforičkih odgovora. Pronalazak najbolje prilagođenih organizama na isti problem koji ima i dizajn. Razmatraju se ekstremna staništa. Otvara se suradnja biologima i specijalistima polja koje se proučava. Stvaranje taksonomije životnih strategija i odabiru se najperspektivnije strategije za oponašanje uzimajući u obzir stanište i parametre dizajna.

Oponašanje - razvijanje koncepata i ideja koje se odnose na lekcije naučene iz prirode, te što više pokušavati primijeniti te lekcije u svojem dizajnu. Oponašanjem forme, funkcije i ekosustava saznavaju se pojedinosti o morfologiji, razumijevaju se razmjeri učinka, razmatraju se čimbenici koji utječu na učinkovitost forme / funkcije na organizam, razmatraju se načini koji oponašaju proces i / ili ekosustav. Fokus na dizajnu i isprobavanje što više strategija.

Vrednovanje – usporedba dizajna sa životnim principima. Može li se dizajn prilagoditi i evoluirati ili stvoriti uvjete pogodne za život? Uz postavljanje pravih pitanja poboljšava se i dizajn. Prepoznavanje daljnjih načina kako poboljšati svoj dizajn i razvoj novih pitanja za istraživanje.

Priroda neprestano uči, prilagođava se i razvija kroz svoje okruženje i procese. Prilikom dizajniranja profesionalci mogu također imati koristi od ovog načina razmišljanja. To bi im omogućilo da razvijaju dizajn ponavljanjem koraka promatranja i razvoja prilikom kojih bi otkrivali nove lekcije.

Primjenom tog procesa, moguće je stvoriti zgrade, proizvode i / ili procese koji su inherentno održiviji, imaju bolju izvedbu, koriste manje energije, eliminiraju ili stvaraju manje otpada, smanjuju materijalne troškove, te otvaraju mogućnosti za stvaranje novih proizvoda i potencijalno novih tržišta sa rastom broja inovacija.

1.6.3. Baze podataka

Neki ljudski izumi za koje se čini da su nastali biomimetikom možda nisu nužno rezultat adaptacije ideje iz prirode (Altshuller, 1988). U nekim alatima, priroda možda nije bila neposredni model, i sličnosti mogu biti slučajne. Međutim, neki ljudski izumi su primijenjeni iz biologije, kao u slučaju čička. U slučaju saća, čak i ako to možda nije bio izravni izvor ovog izuma koji se koristi u mnogim zrakoplovnim strukturama, (Gordon, 1976) to je još uvijek ista struktura i njegovo ime je isto kao proizvod kojeg su izgradile pčele. Ponovljene inovacije iz prirode mogu se smanjiti ako ti izumi mogu biti dokumentirani, ali ne kao biološka opažanja, nego kao inženjerski mehanizmi i alati. Efektivno, postoji potreba za uspostavljanjem baze podataka i priručnika koji logično katalogizira sposobnosti prirode, njene specifikacije, mehanizme, postupke, alate i funkcije u smislu principa, materijala, dimenzija, ograničenja, itd. Takve dokumentirane informacije, koje mogu proizvesti biolozi da bi ih koristili inženjeri, uvelike mogu pomoći ljudima u izradi novih biomimetičkih izuma. Rad prema takvom cilju može razmatrati prirodu s tehnološkog pogleda, uzimajući u obzir korištenje jedinstvenog pristupa kako bi se opisali biološki izumi. Takva dokumentacija može pomoći da se ubrza napredak tehnologije.

Postoji nekoliko pokušaja da se razvije baza podataka gdje bi se predstavili dizajneri i inženjeri sa jednostavnim i jasnim načinom traženja i pristupa biološkim informacijama koje su im potrebne, neke od njih su navedene u nastavku.

1.6.3.1. Baza podataka AskNature pri Institutu za biomimikriju

AskNature, što ga je razvio Institut za biomimikriju, je online projekt osmišljen kako bi nadahnuo inovacije i tehnologije koje stvaraju pogodne uvjete za život. Da bi to postigli, AskNature (<http://www.asknature.org/>) organizira svjetsku biološku literaturu prema funkciji uz pristup biološkim nacrtima i strategijama, bioinspiriranim proizvodima i skicama dizajna,

te omogućuje razgovor i suradnju sa stručnjacima u svrhu rješavanja problema. Zamišljena je kao alat za unakrsni prijenos biološkog znanja preko granica disciplina. To je mjesto gdje dizajneri, arhitekti, inženjeri i mogu koristiti napredne alate za pretraživanje bioloških informacije, pronalaze stručnjake, i surađuju kako bi pronašli ideje koje potencijalno mogu riješiti njihove izazove. AskNature.org sadrži 6 različitih vrsta informacija za pretraživanje; izazovi, strategije, organizmi, ljudi, citati i proizvodi.

1.6.3.2. Chakrabarti sustav - funkcionalni prikaz analogno izvedenih ideja za dizajn

Ovaj je sustav stvoren za pronalazak novih rješenja za probleme dizajna proizvoda koju je razvio Chakrabarti (Chakrabarti i sur., 2005). Metoda nastoji pružiti analogijski izvedene ideje za dizajn, koji može biti umjetan ili inspiriran prirodom. Ona se temelji na dvije paralelne baze podataka - jedna opisuje prirodne sustave sposobne na određene pokrete (npr. kukci - let, ribe - plivanje, skakavci - skakanje), a druga sadrže umjetne mehaničke sustave sa raznim karakteristikama (brzina - prijenos, usisivač - usis) kako bi se olakšalo međudjelovanje i izvelo stvaranje alternativnih ideja relevantnih za rješavanje problema dizajna. Za njihovo objedinjavanje razvijen je zajednički jezik za opisivanje pokreta ponašanja u dvije baze podataka. Ispitivanje sustava pokazalo je da su ispitanici u stanju proizvesti značajan broj dodatnih rješenja pomoću softvera, ali rezultati ne pokazuju koliko od tih rješenja potječe iz biološke baze podataka.

1.6.3.3. TRIZ – metodološki alat za kreativno rješavanje problema

TRIZ je poznati alat za kreativne inovacije, temeljen na bazi podataka rješenja iz različitih područja. To je popis od 40 inventivnih načela dobivenih opsežnom analizom uspješnih patenata, postupaka izdvajanja definicije problema do osnovnog oblika gdje se mogu usporediti sa bilo kojim sličnim rješenjem, i kontradikcijskih matrica koje se koriste za mapiranje odnosa između glavnih problema i inventivnih načela. Trenutno, nije puno bioloških podataka uključeno u TRIZ. Međutim, integriranje znanja iz bioloških i biomimetičkih znanosti u okviru TRIZ-a je provedeno na Sveučilištu u Bathu-u (Vincent i sur., 2006).

1.6.3.4.. Kritike navedenih alata

Navedeni alati su stvoreni za pomoć dizajnerima da pristupe velikoj količini bioloških podataka. Često je cilj projektanta pronaći rješenje za specifične probleme, a navedeni alati su pogodni za to. Ovi alati su dobar pokušaj pomaganja dizajnerima u korištenju biomimetike na učinkovit, logičan i na rješenje orijentirani način, međutim postoje neki nedostaci. Svi su u određenoj mjeri još uvijek u razvoju ili u početnoj fazi (što se tiče biomimetike), i kao takvima teško je predvidjeti njihovu iskoristivost. Osim toga, BaDT inicijativa, iako je vrlo praktičan način povezivanja dizajnera s biologima, vjerojatno će biti preskupa za samostalne dizajnera ili male dizajnerske studije.

Spomenute baze podataka, iako su uglavnom još uvijek u razvoju, mogle bi se pokazati korisnima. Dizajneri ih mogu sporadično koristiti u općenitoj potrazi za rješenjem, ne zahtijevajući da biomimetika bude izabrana kao jedini način. Međutim, softverski pristup i moguće naknade za korištenje mogle bi predstavljati problem; još jedan mogući nedostatak je to što baze podataka uključuju učenje formalnog jezika da bi mogli ispravno pretraživati, zahtijeva vrijeme, trud i novac od dizajnera ili poduzeća.

1.7. Kritike biomimetike

Iako se s jedne strane biomimetika čini kao pravi odgovor na mnoge (ekološke) probleme, postoji nekoliko razloga za zabrinutost. Mnogi od njih kritiziraju holistički pogled te probleme i kontradikcije koje on uključuje. Međutim, postoje neke kritike prema biomimetici kao cjelini, uključujući reduktivni pogled.

Postoji zabrinutost da dizajneri i ostali koji gledaju prirodu kao inspiraciju to rade na način na koji su im stavovi 'zasjenjeni romantičnom čežnjom'. To znači da ako dizajneri zainteresirani za biomimetiku izgube svoj kritički pogled na ono što je zapravo korisno, a što jednostavno oponaša prirodu, biomimetika premašuje svoj cilj (Papanek, 1984). Pretjeranim idealiziranjem prirode s vremenom može težiti smanjenjem ljudskih postignuća. Izražena je zabrinutost da biomimetika i njen fokus na prirodu stoji u suprotnosti s ljudski usmjerenim gledištem na industrijski dizajn, te da se biomimetika ne obazire na složenu mrežu ljudskog

društva, unutar kojeg dizajn funkcionira. Odgovor bi mogao biti u premisi 'dizajn uvijek za korisnika', a kada se biomimetika vidi kao mogući način da se obogati rješenje za probleme dizajna definirane na temelju korisnika, tada ne bi trebalo biti nikakvih sukoba interesa u korištenju biomimetike u dizajnu.

Kaplinsky ističe da mnogi sljedbenici biomimetike smatraju da je prirodni dizajn optimiziran, ali samo ljudi mogu optimizirati, jer evolucija nastavlja malim koracima ali nikada ne počinje od nule. Prirodna optimizacija dodavanjem može proizvesti neke izrazito suboptimalne rezultate, jer niti jedan dizajner ne bi povezo živce žirafinog mozga i grkljana tako da stvara petlju do kraja vrata pa natrag do grla, kao što se dogodilo u prirodi. Evolucija je, međutim, bila ograničena anatomijom žirafina pretka, kod kojega je živac stvarao petlju oko krvnih žila u donjem dijelu vrata. Za razliku od prirode ljudska mašta može napraviti skok i raditi na radikalno novom dizajnu (Kaplinsky, 2006).

Mnogi projekti koji su u prošlosti koristili biomimetiku bili su konceptualni projekti, poput automobila inspiriranog ribom *Ostracion cubicus L.*, uspješnog u testiranju kao i konceptu, ali kojemu nije zaživjela proizvodnja. Objašnjenje za ovo može biti u činjenici da, iako biomimetika kao pristup dizajnu trenutno dobiva na zamahu i potiče na razmišljanje o dizajnu, to je nekad bila samo fascinacija pojedinaca, ali ne (još) nužno poduzeća i korporacija sa snagom i sredstvima za komercijalizaciju proizvoda (Volstad i Boks, 2012).

Postignut je značajan napredak inspiriranjem i oponašanjem biologije, ali u prirodi postoje još mnoge sposobnosti koje su još uvijek daleko superiornije od projektiranih sposobnosti, a ovo su neki primjeri:

- sonar morskih životinja je daleko superiorniji od bilo kojeg postojećeg morskog sonara (Muller i Hallam, 2004),
- morske školjke i kosturi morskih beskralješnjaka daleko su jači i lakši od materijala koje je čovjek izradio a i njihova proizvodnja ne onečišćuje okoliš,
- školjke se lijepe za stijene iako se prianjanje događa u vodi, i održavaju se zalijepljenima unatoč jakom utjecaju morskih valova. S druge strane, većina ljepila ne uspijeva kada se prianjanje vrši na mokroj površini.

1.8. Materijali i procesi u biologiji

Tijelo je kemijski laboratorij koji obrađuje kemikalije iz prirode, te ih pretvara u energiju, građevni materijal, otpad i razne višenamjenske strukture (Mann, 1995). Ljudi su prepoznali prirodne materijale kao izvor hrane, odjeće i ugone poput krzna, kože, meda, voska, mlijeka i svile. Iako su neka od stvorenja i kukaca koji proizvode materijale relativno mali, oni mogu masivno proizvesti količinu materijala koja je dovoljna da zadovolji ljudsku potrošnju (npr. med, svila i vuna). Korištenje prirodnih materijala proteže se unazad tisuća godina. Svila, koja je proizvedena kako bi zaštitila čahuru dudova svilca, ima osobine poput ljepote, snage i izdržljivosti. Ljudi su prepoznali te prednosti, što je dovelo do proizvodnje umjetnih verzija i imitacija kako bi se zadovoljila potražnja. Neke od fascinantnih sposobnosti prirodnih materijala uključuju samoizlječenje, samorepliciranje, rekonfiguraciju, kemijsku ravnotežu i multifunkcionalnost. Mnogi materijali koje je napravio čovjek obrađeni su zagrijavanjem i pritiskom, što je u suprotnosti s prirodom koja uvijek koristi uvjete okoliša. Materijali poput kosti, kolagena i svile su napravljeni unutar tijela organizma bez grubih tretmana koji se koriste u procesima nastanka naših materijala. Izrada biološki dobivenih materijala stvara minimalni otpad i ne dolazi do zagađenja, a rezultat je biorazgradiv i može se reciklirati u prirodi. Učenje o tome kako obraditi takve materijale mogu povećati izbor materijala i poboljšati našu sposobnost za stvaranje reciklirajućih materijala koji mogu bolje zaštititi okoliš. Također postoje i studije koje su poboljšavaju protetiku, koji uključuju kukove, zube, strukturnu potporu kostiju i drugih.

Biološki materijali visoko su organizirani od molekularne do nanoskale, od mikroskopskih do makroskopskih razmjera, često je u hijerarhijskom načelu zamršena nanoarhitektura koja u konačnici čini bezbroj različitih funkcionalnih elemenata (Alberts i sur., 2008). Priroda koristi najčešće materijale. Svojstva materijala i površina proizlaze iz složene međugre između površinske strukture i morfologije te fizičkih i kemijskih svojstava. Mnogi materijali, površine i uređaji pružaju multifunkcionalnost. Uređaji molekularnih razmjera, superhidrofobnost, samoočišćenje, smanjenje otpora u smjeru strujanja, pretvorba i očuvanje energije, visoka mogućnost prijanjanja, povratna adhezija, aerodinamički uzgon, materijali i vlakna visoke mehaničke čvrstoće, biološko samookupljanje, antirefleksija, strukturna obojenost, toplinska

izolacija, samoiscjeljivanje i osjetilna potpora mehanizama samo su neki od primjera koje nalazimo u prirodi a koje su od komercijalnog interesa.

1.9. Hijerarhijska organizacija biomaterijala

Priroda razvija biološke objekte pomoću rasta ili biološki kontroliranog molekularnog samoudruživanja prilagođavajući se na stanje okoliša pomoću najčešće nađenih materijala. Biološki materijali su razvijeni pomoću informacija koje su zapisane u genetskom kodu. Kao rezultat toga, biološki materijali i tkiva su stvoreni od strane hijerarhijskog strukturiranja na svim razinama kako bi prilagodili oblik i strukturu funkciji, oni imaju sposobnost prilagodbe na promjenjive uvjete i molekularno samoudruživanje (Fratzl i Weinkamer, 2007). Genetski algoritam surađuje s okolišnim uvjetima, što omogućuje fleksibilnost. Na primjer, grana stabla može rasti drugačije od smjera vjetra ali i u suprotnom smjeru. Jedini način da se omogući prilagodljivo molekularno samoudruživanje je hijerarhijska samoorganizacija materijala. Hijerarhijsko strukturiranje omogućava prilagodbu i optimizaciju materijala na svakoj razini (Bhushan, 2009).

Priroda ima ogroman bazen izuma koji je prošao oštre testove praktičnosti i trajnosti u promjenjivom okolišu. Kako bi iskoristili najviše iz izuma prirode važno je da se povežu područja biologije i tehnike. Ovo premošćivanje može biti ključ za okretanje prirodnih izuma u mogućnosti tehnike, alata i ustroja. Kako bi se prirodi pristupilo u inženjerskom smislu potrebno je kategorizirati biološke mogućnosti zajedno s tehnološkim kategorijama koristeći ili 'top-down' strukturu (s vrha prema dolje) ili 'bottom-up' (s dna prema vrhu). Naime, može se uzeti svaki aspekt biološki identificiranih obilježja i tražiti analogiju u smislu umjetne tehnologije. Pojavom nanotehnologije, stvaraju se minijaturni vrlo sposobni i brzi mikroprocesori, učinkovito skladištenje napajanja, velika kompaktnost i brz pristup memoriji, bežična komunikacija i mnogi drugi elementi čine sposobnost oponašanja prirode više izvedivom. Razloga tome je taj što obje prirodne i umjetne strukture ovise o istim temeljnim jedinicama atoma i molekula.

Očito je da je priroda koristi hijerarhijske strukture, koje se u mnogim slučajevima sastoje od nanostruktura, kako bi postigla željeni učinak (Nosonovsky i Bhushan, 2008). Razumijevanjem uloge hijerarhijske strukture, razvoja niskih troškova i fleksibilnih tehnika izrade olakšala bi se komercijalna primjena.

1.10. Primjene biomimetike u industriji

Riječ biomimetika je relativno nova, međutim, naši preci su tražili inspiraciju u prirodi i razvili različite materijale i uređaja prije mnogo stoljeća (Ball, 2002). Na primjer, Kinezi su pokušali napraviti umjetnu svilu prije 3000 godina. U 20. stoljeću, razni proizvodi, uključujući dizajn zrakoplova, bili su inspirirani prirodom. Od 1980-ih, umjetna inteligencija i neuronske mreže u informacijskim tehnologijama inspirirane su željom za oponašanjem ljudskog mozga. Postojanje bioloških stanica i DNA služe kao izvor inspiracije za nanotehnologe, koji se nadaju da će jednog dana izgraditi samookupljajuće uređaje koji rade po molekularnom principu. U molekularnoj biomimetici, proteini se koriste za kontrolu materijala u formiranju praktičnog inženjerstva u svrhu samookupljanja, hibrida i funkcionalne strukture materijala (Grunwald i sur., 2009). Od sredine 1990-ih, tzv. lotus-efekt bio je korišten za razvoj raznih površina za superhidrofobnost, samoočišćenja, smanjenje otpora u smjeru strujanja i niske prionjivosti (Bhushan i sur., 2009). Imitacija dinamičnog penjanja je provedena u svrhu razvoja gaznog sloja robota koji se kreću po zidu (Cutkosky i Kim, 2009). Replikacija kože morskog psa korištena je za razvoj pokretnih objekata s niskim otporom, npr. profesionalni kupaći kostimi. Nanoarhitektura korištena u prirodi korištena je za razvoj reflektirajućih i antirefleksirajućih površina. U području biomimetičkih materijala, postoji područje biološki inspirirane keramike koja se temelji na školjkama i drugim biomimetičkim materijalima. Inspirirani krznom polarnog medvjeda, razvijaju se umjetna krzna i tkanine. Samoobnavljanje bioloških sustava iz prirode je također od interesa za industriju.

Postoje mnoga obilježja koja mogu identificirati biomimetički mehanizam. Jedna od važnih sposobnosti je da rade samostalno u kompleksnim okruženjima, mogu se prilagođavati neplaniranim i nepredvidljivim promjenama i obavljati multifunkcionalne zadatke. Izrada mehanizma s takvim obilježjima dramatično povećava moguće sposobnosti i može doći do

razina jednako dobrih ili čak superiornih u odnosu na ljudske / životinjske. To može uključivati djelovanje 24 sata dnevno bez pauze ili rad u uvjetima koji predstavljaju rizik za zdravlje ljudi. Koristi od takvih mogućnosti može uključivati obavljanje sigurnosnog praćenja i nadzor, traganje i spašavanje, funkcioniranje pod djelovanjem kemikalija, bioloških i nuklearnih opasnosti, poduzimati neposredne korektivne i upozoravajuće akcije, kao i mnoge druge.

Razne značajke koje se nalaze u prirodnim objektima su u nanoskali. Glavni naglasak na nanoznanost i nanotehnologiju od ranih 1990-ih pružio je značajan poticaj u oponašanju prirode korištenjem tehnike nanoprodukcije za komercijalnu primjenu (Bhushan, 2007). Biomimetika je potaknula interes u mnogim disciplinama. Procjenjuje se da je 100 najvećih biomimetičkih proizvoda generiralo oko 1,5 milijardi dolara tijekom 2005 - 2008. godine. Očekuje se da će se godišnja prodaja nastaviti dramatično povećavati.

1.11. Područja zabrinutosti i izazovi biomimetike

Postoje mnogi primjeri koncepata, uređaja, mehanizama i ostalih koji su inspirirani biologijom. Jedna od nevjerojatnih sposobnosti prirode uključuje sposobnost pauka da u precizno tempiranom trenutku, na sobnoj temperaturi i pritisku, stvori nevjerojatno ravnu i jaku mrežastu strukturu koja je prilično izdržljiva u vanjskim uvjetima. Paukova mreža nadahnula je izradu ribolovne mreže, vlakana, tkanina i mnogih drugih stvari koje se koriste u svakodnevnom životu. U nekim slučajevima, mogućnosti koje nalazimo u prirodi inspirirale su izradu i superiornijih proizvoda. Na primjer, letenje, ljudski naponi da kopiraju ptičja krila kako bi proizveli leteći stroj vođeni su prilično ograničenim mogućnostima kao što su u kasnim 1880-ima i 1890-ima pokazali Horatio Phillips i Otto Lilienthal. Tek nakon što su ljudi savladali aerodinamička načela, uspjeli su letjeti s velikom superiornosti nad pticama. Sposobnosti zrakoplova koje su stvorili inženjeri nevjerojatan su ljudski uspjeh u kojem projektirani zrakoplov daleko premašuje bilo koje leteće stvorenje koje je ikad postojalo. To uključuje dostizanje znatno viših visina u kraćem vremenu i noseći više težine zbog ogromnog volumena.

Priroda nudi brojne mogućnosti koje su jedinstvene za neke vrste, i razumijevanje uvjeta za njihove prilagodbe mogu nam pomoći na mnoge načine. Neke od tih mogućnosti nude ogroman potencijal za ljude, ali još uvijek nismo otkrili njihove tajne. Za primjenu u medicini zanimljiva je sposobnost medvjeda da spava šest mjeseci bez mokrenja i bez da dođe do trovanja krvi. Rješenje ove zagonetke može pomoći u borbi protiv dijabetesa. Gušterova sposobnost otpuštanja svog repa kao mamac u slučaju opasnosti, i njegov ponovni rast bez ožiljaka je važan model u području medicine. Prilagođavanje ove sposobnosti može pomoći u liječenju teško ozlijeđenih pacijenata i osoba s invaliditetom.

Cilj diplomskog rada

Pružiti široki pregled područja biomimetike. U ovom radu namjera mi je opisati i prikazati pretvorbu fizioloških i organizacijskih rješenja prirode u proizvode i usluge te njihovu implementaciju i ekonomsku iskoristivost kroz odabrane primjere.

2. Studija slučaja 1: Velcro - čičak-traka

'Velcro' (naziv za čičak-traku) je poduzeće koje proizvodi i koje je prvo komercijalno plasiralo tkaninu, tj. zatvarač po principu kuke i petlje (Benbow, 1989). Taj je koncept 1948. godine smislio švicarski inženjer elektrotehnike George de Mestral, koji je čičak-traku patentirao 1955. godine, a potom je usavršavao i razvijao praktičnu izradu do njenog komercijalnog uvođenja u kasnim 1950-ima.

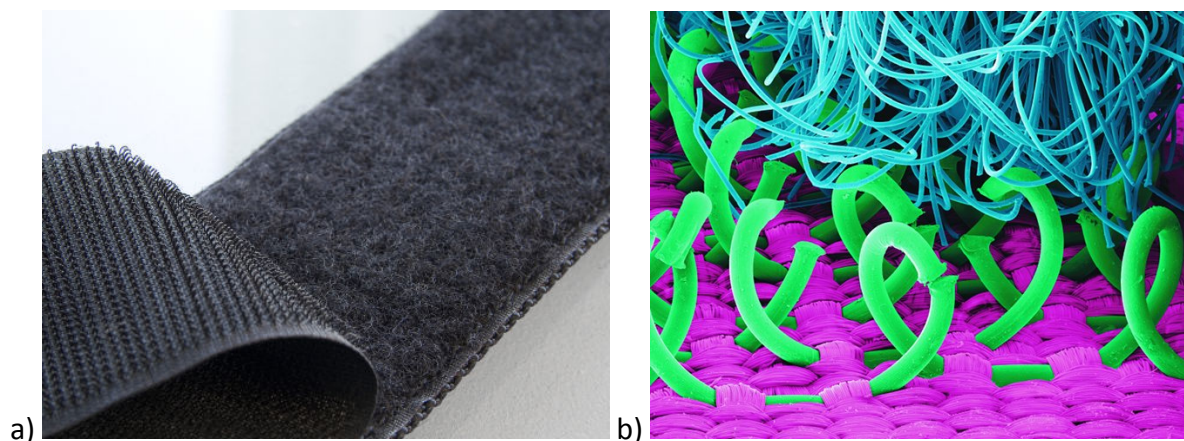
Velcro Industries je tehnički vođena, globalna organizacija i lider industrije. Poduzeće preko svojih podružnica diljem svijeta nudi stotine različitih proizvoda koji omogućuju pričvršćivanje prema principu kuke i petlje. Ponude se kreću od standardnih tkanih i pletenih traka za pričvršćivanje do po mjeri izgrađenih specijaliziranih zatvarača koji imaju veliki raspon svojstava i karakteristika, materijala, veličina i oblika.

2.1. Povijest nastanka čičak-trake

Georges de Mestral iz mjesta Commugny u Švicarskoj, došao je do ideje 1941. godine, nakon što se sa svojim psom vratio iz lova u Alpama. Poblize je promotrio sjemenke čička koje su se

zadržale na njegovoj odjeći i na krznu psa. Pregledao je sjemenke pod mikroskopom i primijetio stotine „kuka“ koje su se vezale za sve što ima petlju, poput odjeće, životinjskog krzna ili kose. Uvidio je mogućnost povratnog vezivanja dvaju materijala na jednostavan način, ukoliko otkrije kako kopirati kuke i petlje (Stephens, 2007). Ovu inspiraciju iz prirode ili kopiranje mehanizama iz prirode (zove se bionika ili biomimetika) uzeli su Steven Vogel (Vogel, 1989) i Werner Nachtigall (Nachtigall, 1974) kao ključan primjer.

Prvi Velcro uzorak napravljen od pamuka pokazao se nepraktičnim (Strauss, 2001). Zamijenili su ga najlon i poliester. Čičak zatvarači s teflonskim petljama, poliesterskim kukama i staklenom podlogom (slika 3) koriste se u letjelicama (npr. space shuttle) (Schwarcz, 2003). Varijacije na standardnu Velcro kuku i petlju su zatvarači s kukama na obje strane, gumbima, patentnim zatvaračima, vezicama i kopčama.



Slika 3: a) čičak-traka i b) prikaz čičak-trake pod elektronskim mikroskopom (Preuzeto sa <http://www.howitworksdaily.com/technology/what-makes-velcro-stick/>)

Riječ velcro nastala je spajanjem prvih slogova dviju francuskih riječi: 'velours' (baršun) i 'crochet' (kuka) (Stephens, 2007). Čičak-trake sastoje se od dva dijela: obično su to dvije trake koji su pričvršćene (npr. ušivene, nalijepljene) kako bi se čvršće povezale sa suprotnim površinama. Prva komponenta sadrži sićušne kuke, druga još manje i 'dlakavije' petlje. Pritiskanjem tih dviju traka kuke se uhvate u petlje i trake se privremeno pričvrste i povežu. Povlačenjem se trake odvajaju i čuje se prepoznatljiv zvuk 'paranja'. Patent George de Mestrala istekao je 1978. godine, ali je termin Velcro registrirani zaštitni znak u većini zemalja. Svojevremenu terminologiju ovih zatvarača uključuju 'kuka i petlja'. Iako tvrtka navodi

da ne prodaje niti jedan proizvod pod nazivom Velcro (<http://www.velcro.com/en/About-Us.aspx>), marka Velcro je primjer generičkog zaštitnog znaka te je ime marke postao generički pojam u mnogim jezicima. Sjedište Velcro poduzeća je u Manchesteru, New Hampshire, SAD.

2.2. Istraživanje i razvoj čičak-trake

U početku de Mestral i njegova ideja nisu shvaćeni ozbiljno, zbog čega je otišao u Lyon, tadašnje središte tkanja. U izvedbi mu je pomogao jedan lokalni tkalac koji je napravio dvije funkcionalne pamučne trake. Međutim, pamuk se brzo trošio te se de Mestral okrenuo sintetičkim vlaknima. Odlučio se za najlon zbog više njegovih svojstava: ne slama se, ne truli, ne privlači plijesan i može se proizvesti u nitima raznih debljina. Najlon je izumljen nedugo prije toga, tako da je de Mestral putem pokušaja i pogrešaka otkrio da najlon ušiven pod toplom infracrvenom svjetlosti stvara kuke koji su savršene za 'kukastu' stranu zatvarača. Iako je shvatio kako napraviti kuke, morao je naći način kako mehanizirati proces i osmisliti stranu s petljama. Otkrio je da najlonska nit utkana u petlju i tretirana toplinom zadržava svoj oblik i otpornost, no petlje su morale imati pravi omjer omogućavajući višestruko vezivanje i odvezivanje. Na rubu odustajanja, došao je do nove ideje: škarama je podšišao vrhove petlji, stvarajući kuke koje se savršeno slažu s petljama u hrpi.

Veliki proboj George de Mestral napravio je razmišljanjem o zatvaranju kukica i petlji na smanjenom mjerilu (Strauss, 2001). Zatvarači na principu kuke i petlje poznati su već stoljećima, no kod čičak-trake novina je bila mjerilo u kojem su izrađene kuke i petlje. Smanjivanje kuka dovelo je do još dvije važne razlike. Prvo, umjesto jednog retka kuka, čičak-traka ima dvodimenzionalnu površinu. Smanjivanjem veličine kukice, smanjila se i snaga što je zahtijevalo više kuka za istu snagu. Druga razlika je u tome što čičak ima neodređeno podudaranje između kuka i petlji. Kod većih kuka i petlji, svaka kuka ima svoju petlju. Na malenom mjerilu kao što je čičak, podudaranje svake od tih kuka s odgovarajućom petljom je nepraktično što dovodi do neodređenog podudaranja (Robert, 1993). Mehanizacija procesa tkanja kuke trajala je osam godina, i bila je potrebna još jedna godina za stvaranje razvoja za

skraćivanje petlji nakon tkanja. U konačnici, trebalo je deset godina da se stvori proces mehanizacije koji funkcionira.

2.3. Komercijalizacija i licenciranje čičak-trake

Godine 1951. u Švicarskoj je podnio zahtjev za patent, koji je odobren 1955 (Stephens, 2007). Nedugo zatim otvorio je trgovine u Njemačkoj, Švicarskoj, Velikoj Britaniji, Švedskoj, Italiji, Nizozemskoj, Belgiji, Kanadi. Godine 1957. proširio se na današnje tekstilno središte Manchester, New Hampshire u Sjedinjenim Američkim Državama. Velek, poduzeće iz Montreala, steklo je ekskluzivno pravo stavljanja proizvoda na tržište u Sjevernoj i Južnoj Americi te u Japanu. Američka poduzeća Velcro, Inc. u New Hampshireu, i Velcro Sales u New Yorku reklamirale su čičak-traku u SAD-u (Porter, 1957). Iako je zarađivao manje od 60 dolara tjedno u svojim prvim godinama poslovanja, de Mestral je zaradio milijune nakon što je prodao prava na izum Amerikancu Jean Revaudu. De Mestral je dobio patente u mnogim zemljama odmah nakon izuma čička, no njegova integracija u tekstilnu industriju je trajala. Kad se pojavio ranih 1960-ih, čičak je izgledao kao da je napravljen od ostataka komadića jeftine tkanine jer nije bio ušiven u odjeću, niti je bio naširoko korišten (Freeman, 1997).

Brojni proizvodi u kojima se koristio čičak prikazani su na modnoj reviji u hotelu Waldorf Astoria u New Yorku 1959 (Suddath, 2010). Popularizacija materijala započela je korištenjem u zrakoplovnoj industriji kako bi astronauti lakše manevrirali unutar i izvan glomaznih svemirskih odijela. To je ojačalo njegovu poziciju u svijesti stanovništva koje je dotad smatralo da je čičak-traka nešto s vrlo ograničenom praktičnom uporabom. Sljedeća važna uporaba čička bila je kod skijaša, zbog sličnosti njihovih odijela astronautskim. Nakon toga uslijedila je proizvodnja ronilačke i morske opreme. Vidjevši astronaute kako spremaju vrećice hrane na zidove, proizvođači dječje odjeće su se odlučili priključiti. Čičak-traka počela se široko upotrebljavati nakon što ju je usvojila i popularizirala NASA koja je i, nepravедno, sebi pripisala zasluge za njegovo otkriće (Jones i Benson, 2002). Do sredine 1960-ih čičak je korišten u futurističkim kreacijama modnih dizajnera kao što su Pierre Cardin, André Courrèges i Paco Rabanne (Pavitt, 2008). Kasnija poboljšanja uključivala su jačanje niti dodavanjem poliestera. Nakon što je istekao de Mestralov patent, na tržištu se pojavilo

mnoštvo jeftinih imitacija iz Tajvana, Kine i Južne Koreje. Danas je zaštitni znak čičak-trake predmet više od 300 znakova registracija u više od 159 zemalja. George de Mestral je primljen u izumiteljsku 'Hall of Fame' (Strauss, 2001).

2.4. Generički zaštitni znak proizvođača

Termin generički proizlazi iz prava intelektualne zaštite. Generički proizvodi su proizvodi kojima je istekao period patentne zaštite i koje slobodno mogu koristiti svi sudionici na tržištu. Opća karakteristika generičkih proizvoda je da su oni najčešće iste ili slične kvalitete kao i originalni proizvodi, ali su troškovi njihove proizvodnje znatno niži, stoga je niža i njihova tržišna cijena. Generička proizvodnja široko je zastupljena u mnogim industrijskim granama (proizvodnja lijekova, proizvodnja sredstava za zaštitu bilja i sl.). Prisustvo generičkih proizvoda dovodi do demonopolizacije tržišta, a samim tim potiče jačanje konkurencije i razvoj inovacija na tržištu.

Marka Velcro primjer je generičkog zaštitnog znaka – marka koja je postala generički pojam za vrstu proizvoda. Tvrtka Velcro zabranila je svojim zaposlenicima da koriste termin 'Velcro' (čičak), u nastojanju da zaustavi taj trend. Umjesto toga, zaposlenici upotrebljavaju generičke pojmove poput 'hook and loop fastener', 'hook tape', ili 'loop tape'. Tvrtka se odnosi vrlo zaštitnički prema svom proizvodu te objavljuje detaljne smjernice namijenjene očuvanju snage zaštitnog znaka marke Velcro (<http://www.velcro.com/Legal-Privacy/Patents-and-Trademarks.aspx>). Osim što se koristi kao generički termin za čičak-traku, riječ 'Velcro' postala je i glagol 'Velcroed', što znači da je nešto pričvršćeno čičkom (Velcro). Izraz se počeo koristiti početkom 1970-ih (Benbow, 1989).

2.5. Pregled poslovnih rezultata Velcro Industries od 1967. do danas

Godine 1967. prodaja je iznosila oko 10 milijuna dolara godišnje sa cijenom od 81 dolara po dionici. Godišnja prodaja u fiskalnoj godini 1988. bila je 93 milijuna dolara, a do 1992. narasla je na 115 milijuna dolara. Sredinom 1990-ih nekoliko je čimbenika smanjilo zaradu tvrtke i cijene dionica. Velcro Industries se povezao s korporacijom Kimberly-Clark, koja je koristila

zatvarač na svojoj premium liniji pelena, Huggies Supreme. Novi način vezivanja bio je isplativiji za ovaj program od tradicionalne čičak-trake. Zbog dobre reputacije na pakiranju Huggies Supreme bio je objavljen naziv Velcro. Nakon toga prodaja Velcro proizvoda u SAD-u je rasla od 5 do 10 milijuna dolara godišnje. Godine 1996. zarada je skočila gotovo 20 %, na 16,3 milijuna dolara, dok je prodaja porasla za više od 10 %, na 177,1 milijuna dolara. Jaka europska nazočnost ostala je prioritet za tvrtku što pokazuje i njihovo preuzimanje Ausonia SRL, vodećeg proizvođača čičak-trake u Italiji. Dobit Velcro Industries 1998., prije oporezivanja iznosila je 41 milijuna dolara, a prodaja 235 milijuna dolara. U to vrijeme tvrtka je imala 1 200 zaposlenika. Ukupni prihodi u 2003. godini iznosili su 261,2 milijuna dolara gdje je američko tržište činilo 73% prodaje, dok je u Europi ostvareno 22% ukupne zarade. Prihodi su pali u 2004. zbog povećane konkurencije i nepovoljnih tečajnih stopa, izvijestio je Business Week (Wahlgren, 2004). Velcro trenutno ima 2856 zaposlenika diljem svijeta, s više od 300 aktivnih patenata širom svijeta i više od 50 godina iskustva i prihod im je u 2012. bio 305 milijuna dolara (<http://www.fundinguniverse.com/company-histories/velcro-industries-n-v-history/>).

Dva glavna konkurenta Velcro Industries su bivše podružnice: Aplix S.A. (osnovana kao Velcro Francuska 1958), vodeći europski proizvođač čičak-trake čija se prodaja učtverostručila tijekom proteklih 10 godina i u 2011. je iznosila 137 milijuna eura, sa šest tvornica u svijetu i ukupno 700 zaposlenika, i Kuraray Co, Ltd, bivša podružnica Velcro Japan. Nakon što je de Mestralu istekao patent one su iskoristile priliku i odvojile se. Zbog velike potražnje za čičak-trakom među proizvođačima odjeće i obuće, Velcro nije mogao ispuniti povećanu potražnju te su izgubili dio posla sa stranim klijentima. Međutim, zbog prekomjerne proizvodnje čičak-trake dobavljači su bili prisiljeni spustiti cijene.

2.6. Industrijske primjene čičak-trake

Budući da je jednostavna za korištenje i održavanje te je bezopasna, čičak-traka je korištena u gotovo svim mogućim primjenama gdje je potrebna privremena veza. Osobito je popularna na odjeći u kojoj zamjenjuje gumbe ili patentne zatvarače, a i kao zatvarač obuće. Čičak-trake koriste se u prilagođenoj odjeći, poput odjeće dizajnirane za ljude s tjelesnim invaliditetom,

starije i nemoćne osobe, koji mogu imati poteškoća pri oblačenju zbog nemogućnosti da rukuju zatvaračima, kao što su gumbi i patentni zatvarači. S obzirom da je čičak-trakama lakše manipulirati, one čini dobru zamjenu.

Čičak-traka održala je vezanim ljudsko srce tijekom prve operacije umjetnog srca. U automobilima se koristi za lijepljenje krovne tapiserije, sagova i poklopaca zvučnika. Koristi se u kući kod plisiranja draperije, držanja tepiha i pričvršćivanja presvlake. Zatvara naprtnjače, aktovke i bilježnice, osigurava džepove, i drži jednokratne pelene. NASA upotrebljava značajnu količinu čičak-trake. Svaki space shuttle ima 10.000 inča posebne čičak-trake izrađene od teflonskih petlji, poliesterskih kuka i staklene podloge (Schwarcz, 2003). Čičak-trake koriste se svugdje, od astronautskih odijela do usidranja opreme.

Američka vojska još je jedan veliki korisnik. Ona koristi čičak-trake na borbenim odorama za pričvršćivanje trake imena, obilježje ranga, džepova na ramenu za prepoznavanje jedinice, oznaka spretnosti i uređaja za prepoznavanje, poput infracrvene (IC) povratne veze američke zastave. Ona čak ima tihu verziju čičak-trake razvijenu za uporabu na uniformama američkih vojnika, s obzirom da bi zvuk odvajanja čičak-trake mogao odati položaj vojnika. Stvorena je, naime, nova verzija koja smanjuje buku za preko 95% (Schwarcz, 2003). Proizvodni proces stvaranja ove bešumne čičak-trake je, međutim, vojna tajna.

2.6.1. Prednosti i nedostaci primjene čičak-trake

U prilog čičak-traci ide njezina jednostavnost za korištenje, sigurnost i besplatno održavanje. Postoji samo minimalan pad učinkovitosti, čak i nakon mnogih učvršćivanja i odvajanja. Buka prilikom odvajanja trake također može biti korisna protiv džepara.

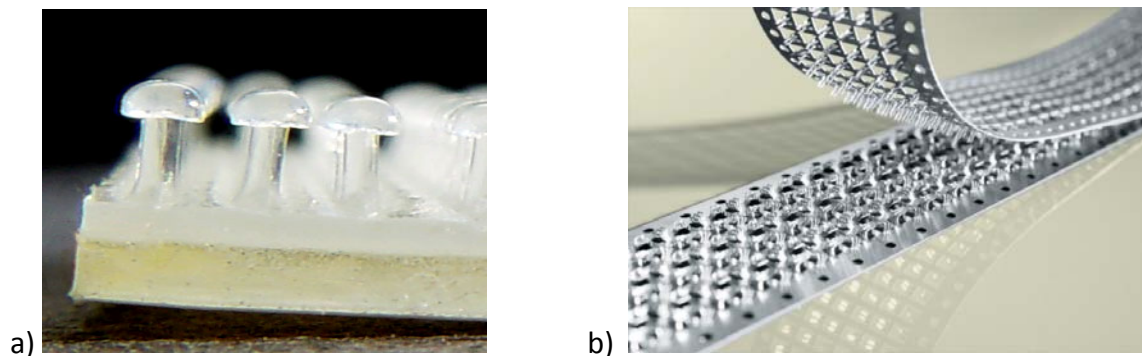
No, čičak-traka ima i nekoliko nedostataka: sklona je taloženju kose, prašine i krzna u svojim kukama nakon nekoliko mjeseci redovite uporabe. Petlje se mogu slomiti ili izdužiti nakon duljeg korištenja. Čičak-traka se često veže za odjevne predmete, posebno za labavo tkane predmete poput vesti. Osim toga, odjeća se može oštetiti kada se pokušava ukloniti čičak-traku, čak i ako se polako odvajaju. Buka nastala odvajanjem čičak-trake čini ga neprikladnim za neke primjene. Na primjer, vojnik koji se skriva od neprijatelja upozorio bi neprijatelja na

svoj položaj otvaranjem džepa sa čičak trakom. Ona također upija vlagu i znoj kada se nosi uz kožu, što znači da će biti neugodnog mirisa ukoliko se ne pere redovito.

Tekstil može sadržavati kemikalije ili spojeve, npr. boje, koje mogu biti alergeni, problematični za osjetljivu populaciju. Proizvodi od čičak-trake testirani su prema Oeko-tex (<http://www.velcro.com/business/Company/Product-Development.aspx>) certificiranom standardu koji nameće ograničenja na kemijske sadržaja tekstila u svrhu rješavanja pitanja ekološke sigurnosti.

2.6.2. Varijacije čičak-trake

Zatvarač s klizajućim putem spajanja razvijen je za rješavanje nekoliko problema s čičak-trakom (Mone, 2007). Za teške radne varijante (npr., 'Dual Lock' 3M) imaju plastični držak u obliku gljiva na svakoj strani zatvarača (slika 4a). Jaka ljepljiva podloga pridržava svaku komponentu na svome mjestu.



Slika 4: a) Dual Lock 3M i b) Metaklett

(Preuzeto sa <http://www.andybaird.com/travels/gertie/superlock.htm> i http://stahl-info.de/stahlinnovationspreis/stahlinnovationspreis_2009/Medieninformationen/pm_metaklett_kurz.asp)

Metaklett (od njemačkog Metall, metal + Klettband, vrpce čičak-trake) je materijal za pričvršćivanje izrađen od čelika koji djeluje na sličnom principu kao čičak-trake. Razvili su ga Reinz-Dichtungs-GmbH, Tehničko sveučilište u Münchenu, Holzel Stanz-und Feinwerktechnik GmbH & Co KG i Koenig Verbindungstechnik GmbH, i oni tvrde da Metaklett podržava otpornost na klizanje 35 t/m² na temperaturama do 800°C (Hein, 2009). Sastoji se od dvije

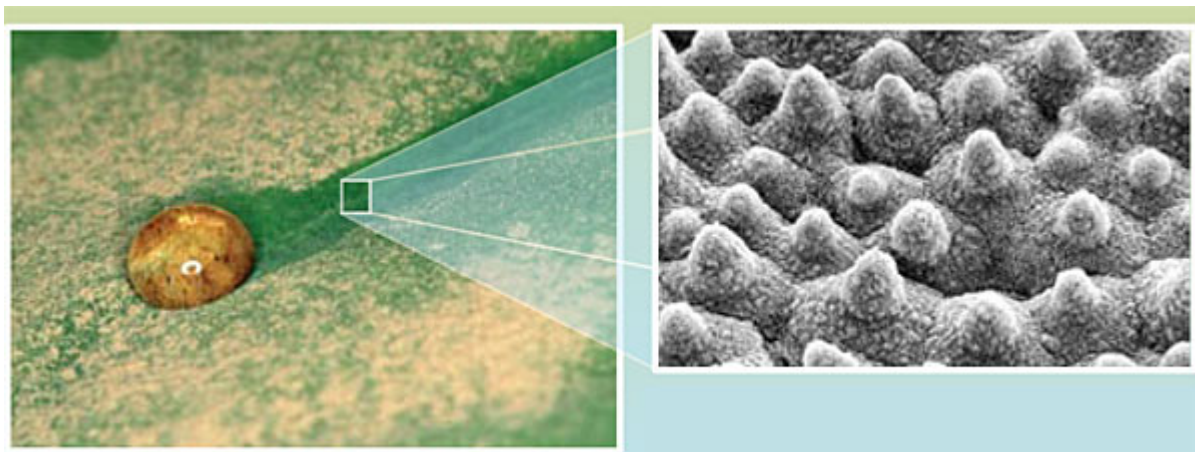
komplementarne pruge od perforiranog čelika debljine 0,2 mm s hvatačima i rupama (slika 4b). Druga se varijanta sastoji od dvije trake s izbočenim četkicama i kukama. Postoji i hibridna varijanta s jednom metalnom i jednom sintetičkom vrpcom.

3. Studija slučaja 2: Lotus-efekt – svojstvo samoočišćenja

Cvijet indijskog lotusa (*Nelumbo nucifera L.*) simbol je čistoće u nekoliko azijskih religija. Glavni razlog za to je svojstvo samoočišćenja njegovih listova. Čak i nakon izlaska iz blata, lišće ne zadržava prljavštinu kada se otvara (Lafuma i Quere, 2003). Ovaj efekt lako se može dokazati u mnogim drugim biljkama, primjerice *Tropaeolum* (dragoljub), *Opuntia* (opuncija), *Alchemilla* (vrkuta), ali i na krilima nekih insekata. Mnoge biološke površine su hidrofobne zbog svog kompliciranog sastava i mikrostruktura na površini. List lotusa sastoji se od voštanih nano- i mikrostruktura dok krila leptira i nekih kukaca imaju brojne strukturne ljuskice. Navedene strukture zbog svoje superhidrofobnosti same čiste svoju površinu uz pomoć fizičkih svojstava molekula vode.

3.1. Povijest istraživanja lotus-efekta

Fenomen su prvi put proučavali Dettre i Johnson 1964. pomoću grubih hidrofobnih površina. Njihov rad razvio je teorijski model temeljen na pokusima sa staklenim zrcima presvučenim parafinom ili PTFE telomerom. Svojstvo samoočišćenja intenzivno su istraživala dva njemačka botaničara, Barthlott i Neinhuis sa Sveučilišta u Bonnu (Barthlott i Ehler, 1977). Oni su 1975. godine otkrili razlog za efekt samoočišćenja. Prije toga je vladalo opće mišljenje da što je glađa površina, manje prljavštine i vode će se pridržavati na nju. Pomoću skeniranja elektronskim mikroskopom (SEM) dva znanstvenika su otkrila da površina lista lotusa nije glatka. Prikazana je kombinacija nano i mikrostruktura koja je davala površini grubu strukturu. Objašnjenje za efekt leži u dvije fizičke karakteristike: svojstvima tih mikrostruktura da odbijaju vodu i nanostrukturama koje se nalaze na vrhu mikrostruktura (slika 5) i sastoje se od voštanog materijala koji ne voli vlagu.



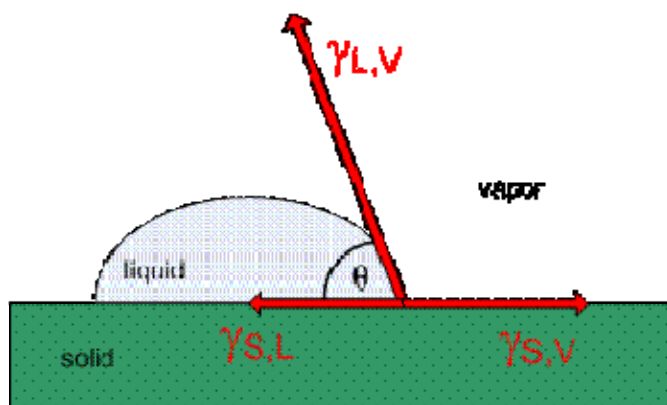
Slika 5: Površina lotusovog lista pod elektronskim mikroskopom

(Preuzeto sa <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=self-cleaning-materials-inspiration>)

Prema Barthlottu i Neinhuisu, lotus-efekt je kombinacija kemije, ultra struktura i prijanjajućeg svojstva prljavštine i vode na površinu. James F. Brown je 1986. razvio perfluoralkil i perfluoropolietar koji su razvijeni za rukovanje kemijskim i biološkim tekućinama. Ostale biotehničke aplikacije su se pojavile 1990-ih.

3.2. Načelo funkcioniranja lotus-efekta

Za razumijevanje fizike koja stoji iza lotus-efekta, treba proučiti sile koje djeluju na kap tekućine na površini lista.

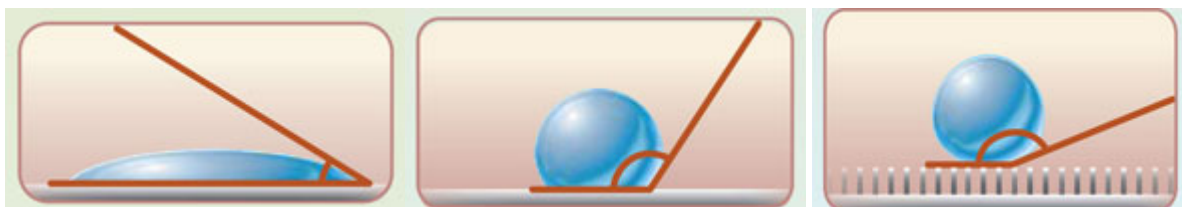


Slika 6: Kontaktni kut uz tri sile djelovanja (Preuzeto sa <http://lotusleafeffect.org/>)

Oblik kapi na površini određen je trima silama koje je povlače na kontaktnu liniju tri različite faze, liniju između čvrste i tekuće faze ($\gamma_{S, L}$), između čvrste i plinovite faze ($\gamma_{S, V}$), i između tekuće i plinovite faze ($\gamma_{L, V}$). Ove tri sile zajedno definiraju ukupnu površinsku napetost (energija po jedinici površine). Kontaktni kut θ izravno ovisi o sve tri površinske napetosti (slika 6).

Hrapavost površine poboljšava sposobnost vlaženja za hidrofilnu površine ($\theta < 90^\circ$). Kap će izgledati da tone u hidrofilnu površinu. Sposobnost vlaženja se smanjuje za hidrofobne površine ($\theta > 90^\circ$). Energetski je preskupo vlažiti grubu hidrofobnu površinu. Rezultat je povećana hidrofobnost. Energetski najbolja konfiguracija za kap je na vrhu valovite linije koju sačinjavaju nano i mikrostrukture na listu (Baeyer, 2000).

Zbog svoje visoke površinske napetosti, kapljice vode imaju tendenciju smanjivanja svoje površine pokušavajući postići sferičan oblik. U dodiru s površinom, sile adhezije rezultiraju vlaženjem površine. Bilo potpuno ili nepotpuno, vlaženje može ovisiti o strukturi površine i napetosti fluida kapljice. Uzrok svojstva samoočišćenja je hidrofobna nepromočiva dvostruka struktura površine (Neinhuis i Barthlott, 1997). To omogućuje dodirno područje i adhezijske sile između površine i kapljice koje su značajno smanjene, rezultirajući procesom samoočišćenja (Neinhuis i Barthlott, 2001). Ova dvostruka hijerarhijska struktura formirana je od karakteristične epiderme (krajnji sloj je kutikula) i pokrivajućih voskova. Epiderma biljke lotusa posjeduje papile s 10-20 μm visine i 10-15 μm širine na kojoj su takozvani epikutikularni voskovi. Ovi nadodani voskovi su hidrofobni i formiraju drugi sloj dvostruke strukture.



Slika 7: Prva slika prikazuje hidrofilnu površinu s kutom manjim od 90° ; druga slika prikazuje hidrofobnu površinu s kutom višim od 90° ; treća slika prikazuje superhidrofobnu površinu s kutom višim od 150° (Preuzeto sa <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=self-cleaning-materials-inspiration>)

Površinska hidrofobnost odnosi se na svoj dodirni kut. Što je veći dodirni kut, veća je i hidrofobnost plohe. Površine s dodirnim kutom manjim od 90° nazivaju se hidrofilne, a one s kutom većim od 90° hidrofobne. Neke biljke imaju dodirne kutove do 160° i nazivaju se superhidrofobne (slika 7), što znači da je samo 2-3% površine kapljice u kontaktu s listom. Biljke s dvostruko strukturiranim površinama poput lotusa mogu doseći dodirni kut od 170° , dok je stvarno dodirno područje kapljice samo 0,6%. Sve to dovodi do učinka samoočišćenja (Lai, 2003).

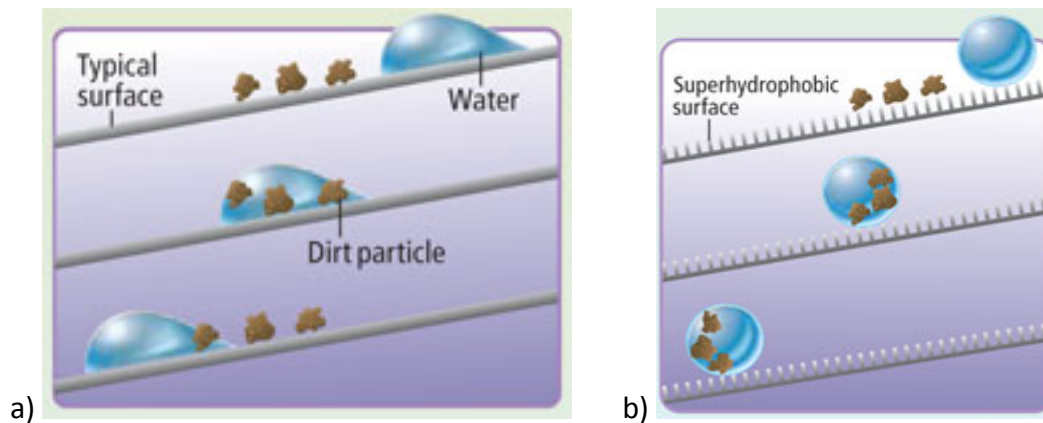
Čestice prljavštine s iznimno smanjenom kontaktnom površinom skupljene su kapljicama vode i na taj način lako očišćene s površine. Ako se kapljica vode otkotrlja preko takve kontaminirane površine ona prijanja između čestica prljavštine, bez obzira na njegovu kemiju, zbog toga što je kapljica veća od razmaka između čestice i površine. Kako se učinak samoočišćenja temelji se na visokoj površinskoj napetosti vode, on ne funkcionira s organskim otapalima. Zbog toga, lotus-efekt nije zaštita protiv grafita.

Ovaj je efekt od velike važnosti za biljke kao zaštita protiv patogena poput gljivica ili rasta algi, a također i za životinje poput leptira, vretenaca i ostalih kukaca koji nisu sami sposobni očistiti sve svoje dijelove tijela (Forbes, 2008). Još jedan pozitivan učinak samoočišćenja je prevencija kontaminacije na području površine biljke izložene svjetlu, što je rezultiralo smanjenjem fotosinteze.

3.3. Svojstva samoočišćenja lista lotusa

Kapljica na nagnutoj superhidrofobnoj površini ne sklizne, ona se otkotrlja. Kad se kapljica kotrlja preko onečišćenja, čestica je uklonjena s površine ako je sila apsorpcije čestice veća od statičkog trenja sile između čestice i površine. Obično je sila potrebna za uklanjanje čestice vrlo niska zahvaljujući minimiziranoj kontaktnoj površini između čestice i površine.

Kao rezultat toga, kapljica čisti list kotrljanjem s površine.



Slika 8: a) površina bez izraženih hidrofobnih ili hidrofobnih svojstava i b) superhidrofobna površina (Preuzeto sa <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=self-cleaning-materials-inspiration>)

Na tipičnoj površini koja nije izrazito hidrofobna ili hidrofobna, kap klizi i ostavlja većinu čestica prljavštine da se pridržavaju objekta (slika 8a), dok na superhidrofobnoj površini, kap se kotrlja preko, skupljajući prljavštinu i odnoseći je (slika 8b). Voda i prljavština imaju veći afinitet jedno za drugo nego što bi imale pojedinačno za površinu.

3.4. Hidrofobne mikrostrukture površine krila *Morpho leptira*

Poput nekih biljaka, krila mnogih velikih krilatih kukaca odbijaju prljavštinu (npr. leptiri, moljci, vretenca), što je očita prednost za učinkoviti let, a oni to uspijevaju bez korištenja kemijskih deterdženata ili trošenja energije. To se postiže interakcijom između više slojeva brojnih ljuskica na mikro i nano razini na površini krila i fizičkih svojstava molekule vode.

Niz specifičnih struktura pojavljuje se na površini krila, ali sve dijele slične omjere u veličini i udaljenosti izbočina koje su povezane sa superhidrofobnošću. Na primjer, krila leptira pokazuju dvije ključne periodične strukture: pojedine epidermalne ljuske (svaka veličine 40x80 mikrona) koje prekrivaju krila leptira i mikro-reljefa podignutih izbočina koje prekrivaju svaku ljusku na krilima sa širinom 1000-1500 nm između svake (Collins, 2004).

Zbog toga što voda i zrak slabije prijanjaju od vode i krutih tvari, hrapave površine mogu smanjiti silu adhezije na kapljice vode, kao što zarobljeni zrak u međuprostoru hrapavih

površina rezultira smanjenjem dodirne površine tekućine hrapave površine. To omogućuje formiranje sfere zbog međusobnog privlačenja polarnih molekula vode. Čestice prljavštine na površini krila lijepe kapljice, zbog prirodne adhezije između vode i krute tvari ali i zbog toga što se kontakt s površinom krila smanjuje zbog mikro-reljefa krila leptira. Najmanji kut na površini krila tada uzrokuje da se kapljice vode otkotrljaju zbog gravitacije, noseći vezane čestice prljavštine sa sobom. Ovaj efekt samoočišćenja bioloških površina primjenjuje se na bojama, staklu, tekstilu, smanjujući potrebu za otrovnim kemikalijama, ali i radnom snagom.

Leptiri su odabrani za proučavanje njihovih obilježja konfokalnom svjetlosnom mikroskopijom, elektronskom mikroskopijom i mjerenjem kontaktnog kuta. Kontaktni kut kapljica vode i leptirovih krila veći je od 140 stupnjeva. Prašina s površine lako se čisti pomicanjem sferične kapljice kada je nagiba kut veći od 3 stupnja (Collins, 2004). Zaključuje se da je površina krila leptira nepromočiva i sama se čisti, tj. ima karakteristike lotus-efekta.

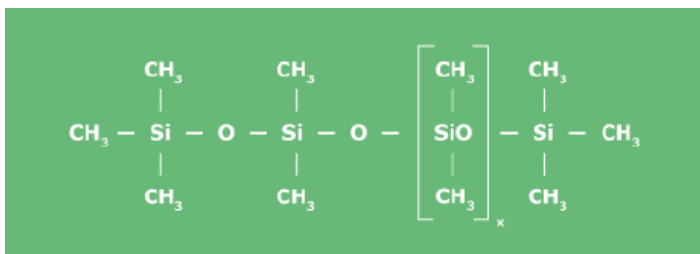
3.5. Industrijska primjena lotus-efekta

Nanotehnolozi su razvili tretmane, premaze, boje, crijepove, tkanine i druge površine koje mogu ostati suhe i same se očistiti na isti način kao lotusov list. To se obično može postići pomoću posebnih fluorokemijskih ili silikonskih tretmana na strukturiranim površinama ili s kompozicijama koje sadrže čestice mikro razmjera. Superhidrofobni premazi koji sadrže mikročestice teflona korišteni su u medicinskim dijagnostičkim slajdovima preko 30 godina. Takvi učinci postižu se pomoću kombinacije polietilenglikola s glukozom i saharozom (ili bilo kojim netopivim česticama) u sprezi s hidrofobnom tvari. Kako se samoočišćenje superhidrofobnih mikroskopskih pa do nanoskopskih površina temelji na fizikalno-kemijskom učinku, ono se može prenijeti na tehničke površine po biomimetičkoj osnovi (Solga i sur., 2007). Jedan od primjera proizvoda s superhidrofobnim svojstvima samoočišćenja je fasadna boja Lotusan® (http://www.sto.hr/9952_HR-Tehni%C4%8Dki_%C4%8Dlanci_-_Fasada-StoLotusan.htm)

Daljnja primjena na tržištu su stakla koja se sama čiste, instalirana u sensorima prometnih kontrolnih jedinica na njemačkim autocestama (Ferro GmbH). Evonik AG razvio je sprej za

stvaranje filmova za samoočišćenje na raznim supstratima. Superhidrofobni premazi primjenjuju se na mikrovalnim antenama te značajno smanjuju preuranjeno trošenje i nakupljanja leda i snijega. Superhidrofobne površine savršene su za mikrofluidne uređaje poput 'laboratorija-na-čipu' (Ressine i sur., 2007), i mogu uvelike poboljšati bioanalizu temeljenu na površini.

Lotus-efekt rješava probleme vezane uz vodu, bilo sprečavanjem korozije metala ili ispiranjem boje. Tvrtke poput Sto Corp i JFlint Products Co. iskoristile su aspekte lotus-efekta u svojim proizvodima. Proizvod Envicoat® iz JFlint Products Co. (<http://the-lotus-effect.wikispaces.com/Industrial+Applications>) primjenjuje lotus-efekt kao premaz za staklene površine. Envicoat koja sprječava interakcije vodikovih veza između površine silikona i vode (slika 9). Rezultat toga je vrlo mala privlačnost između molekula silikona i vode omogućujući lako uklanjanje molekula vode sa silikonske površine. Ali kako bi se silikonski polimeri vezali na staklene površine i ne reagirali s molekulama vode, pažljivo se određuje dužina polimera tako da polimer nije ni prekratak (zbog čega se neće vezati), ali ni predug (kako bi se spriječio učinak razmazivanja). Envicoat u svom silikonskom polimeru sadrži katalizator za povećanje stope po kojoj se veže na površinu stakla. Staklene površine imaju tendenciju da na sebe vežu vodu i druge molekule (poput prljavštine) zbog svoje polarne površine. Envicoat je razvijen kako bi se staklene površine održale suhe i čiste i spriječila ta interakcija. se sastoji od silikonskog lanca polimera (organopolisiloksan). Silikoni su molekularni spojevi koji sadrže atom silicija, kisika i organske skupine (metilna skupine, CH₃). Metilne skupine djeluju kao nepolarna površina na polimeru.



Slika 9: Kemijska formula koja je osnova proizvoda Envicoat (Pruzeto sa <http://the-lotus-effect.wikispaces.com/Industrial+Applications>)

StoCoat Lotusan i Envicoat su plasiranjem proizvoda na tržište naglašavali da će površina zahtijevati manje vrijeme održavanja te biti čišća i suša. Oba proizvoda su netoksična i ne utječu na okoliš. Envicoat se razlikuje od StoCoat Lotusana u činjenici da on samo iskorištava kemijska svojstva lotus-efekta (nepolarne površine odbijaju polarne molekule), dok Lotusan koristi i kemijska i fizikalna svojstva (hrapavost površine). Postoji mnogo primjera lotus-efekta u komercijalnom svijetu koji su modificirani za korištenje potrošača (Forbes, 2008). Primjeri su: NanoSphere® i GreeShield® koji svojom nanotehnologijom omogućuju da prljavština i voda jednostavno otkližu s površine tekstila ili uz pomoć Nanotechnology Solution-s proizvoda, kapljice zbog posebnih premaza mogu otklizati sa gotovo svake površine u našoj okolini.

Ponekad velike inovacije mogu krenuti u neočekivanom smjeru. Izvorni osnivači GreenShield tehnologije su radili na povećanju površine keramike za primjenu u stomatologiji. Prilikom izlaganja na industrijskim sajmovima, pristupili su im predstavnici tekstilne industrije i pitali ako se njihova tehnologija može primijeniti na tekstilu. Nakon početnog ispitivanja otkriveno je da GreenShield tehnologija više nego zadovoljava standarde učinkovitosti te je tako stvorena nova obrada tekstila. GreenShield nastavlja rasti u tekstilnom tržištu što omogućuje nastavak istraživanja dodatnih mogućnosti za tehnologiju.

3.6. STO Corporation – glavni proizvođač Lotusan proizvoda

Svjetski lider u proizvodnji fleksibilne žbuke i vanjskih izolacijskih sustava. STO dizajnira i proizvodi inovativne, ekološki sigurne proizvode za arhitektonsku i građevinsku industriju. Globalnim zaokretom ka 'zelenijim proizvodima' STO korporacija je angažirala profesora Barthlotta koji je otkrio pozadinu lotus-efekta. Profesor je pokušao lotus-efekt iskoristiti u tehničke svrhe. Intenzivnim istraživanjem i razvojem uspjelo mu je prenijeti efekt lotusa na fasadnu boju StoLotusan. StoLotusan ima mikrostrukturnu površinu koja se može usporediti s lotosovim listom. Dodatnim povećanjem hidrofobnosti površine aktivira se superhidrofobnosti. Rezultat je najbolja moguća zaštita fasada koje se same čiste.

3.6.1. Povijest STO korporacije

Povijest poduzeća STO, sa sjedištem u južnom Baden Stühlingen-u, seže u 1835. godinu kada Anton Gäng osniva tvornicu cementa i vapna u Weizenu u Njemačkoj. Wilhelm Stotmeister, kupuje pogon 1936. i sa sinom Fritzom 1948. godine preuzima njezino vođenje. Nakon Drugog svjetskog rata, uspon je počeo na globalnoj razini. Otkupljuju licence za žbuku od umjetne smole 1955. i počinju proizvodnju u Weizenu i time je Stotmeister GmbH prvo poduzeće na tržištu organske žbuke. Otvaraju se tvornice u Njemačkoj i Austriji. 1979. otvara se prva podružnica u Americi. U posljednjih 20 godina preuzima konkurentna poduzeća u Europi ali i u Kini. Sada ima više od 1.000 različitih proizvoda i sustava fleksibilne žbuke, vanjske izolacije, akustičnih stropova bez spojeva, rashladnih i grijanih stropova, boja koje uklanjaju mirise, ekološke boje i boje koje se same čiste. Tvrtku sada vodi treća generacija osnivačke obitelji Stotmeister, koji drži 90 posto dionica s pravom glasa. Gotovo polovica vrijednosnih papira STO korporacije su povlaštene dionice kojima se slobodno trguje. Ukupni promet u 2011. je iznosio 1,1 milijardu eura (<http://de.wikipedia.org/wiki/Sto>).

Pet je stupova korporacije STO: Sto AG, StoDesign, StoCretec GmbH, Verotec GmbH i Inotec GmbH. Društva kćeri i holding društva samostalno, aktivno i vrlo fleksibilno grade mrežu inovacija na tržištu, od čega profitira cijela Sto Grupa. Interne sinergije induciraju nove, sveobuhvatnije pakete usluga, s kojima raste i općenita stručnost grupe Sto jer na kraju, na objektu se ujedanjuju sve pojedinačne stručne sposobnosti ne bi li se postiglo estetsko rješenje koje će biti optimalno kako u funkcionalnom tako i u gospodarskom pogledu (http://www.sto.hr/17241_HR-Grupa_Sto-Grupa_Sto.htm).

3.6.2. Lotusan® boje i premazi

Lotus-efekt, milijunima godina poznato i dokazano otkriće prirode, prenesen je razvojem biomimetike i na fasadnu boju StoLotusan. Efekt lotusa postiže se kombinacijom superhidrofobnosti i specijalnih mikrostrukturnih svojstava površine koja su slična kao u lista lotusa čime se kontaktna površina za vodu i prljavštinu znatno smanjuje. Znatno se smanjuje i prijanjanje prljavštine. Zahvaljujući Lotusanu voda zajedno s prljavštinom odmah sklizne, a

fasada ostaje u velikoj mjeri suha i čista. Čak i one strane pročelja koje su jako izložene atmosferskim utjecajima.

3.6.2.1. Prednosti Lotusana® u odnosu na postojeće proizvode

Lotusan proizvod je boja i premaz koji se nanosi valjanjem ili prskanjem. Namijenjen je za uporabu na otvorenom i može se koristiti na bilo kojoj površini, međutim ukoliko se koristi na drvu i metalu, površinu prvo treba premazati temeljnom bojom. Lotusan je i UV stabilna boja (Holstein i Bright, 2006). Lotus učinak ima puno potencijala da utječe na mnoge proizvode. Lotusan boja je vrlo korisna za vanjske površine jer se sama čista (na primjer, visoke zgrade, zgrade s teško dostupnim mjestima, pukotinama i procjepima, ili one stalno izložene padalinama). Budući da se voda ne zadržava na boji, boja je postojana. Potrebna je minimalna njega a i površine se ne moraju toliko često bojati.

Nova tehnologija također smanjuje rizik od napada mikroorganizama. Alge i spore gljiva se ispiru ili nisu u stanju preživjeti na suhom i eksterijeru bez prljavštine. Prema studiji iz 2002., razina mikroba na površinama obojanih Lotusanom bila 90 posto niža, čak i nakon 3 godine, od onih površina koje su premazane s konvencionalnim bojama (http://www.paintpro.net/Articles/PP705/PP705_ProductProfiles.cfm). Proizvod je dizajniran da se koristi u mjestima gdje pada velika količina kiše pada tako da se zidovi mogu redovito ispirati. Proizvod je imao najviše uspjeha na istočnoj obali, posebno Floridi, kao i sjeverozapadu SAD-a. U Europi je najprodavaniji u Njemačkoj.

3.6.2.2. Prodaja, dobiti i planovi za budućnost Lotusan proizvoda

Trošak proizvodnje neznatno je viši od konvencionalnih premaza, preračunavanjem u cijene proizvoda razlika je 10 do 15%. Prednosti korištenja Lotusana je njegova dugotrajnost, traje od 4 do 8 godina, dok ostali proizvodi traju 3 do 4 godine. Smanjenjem učestalost ponovnog bojanja donosi značajne uštede. Građevine koje su obojane s Lotusan premazom bolje kotiraju na tržištu nekretnina. Primarno tržište Sto Corp. je komercijalni sektor u kojem trenutno vide rast u obnovljivim projektima. Od uvođenja Lotusan proizvoda u SAD-u 2005., prodaja se udvostručila svake godine. Lotusan premaz nema izravnog konkurenta na američkom tržištu, a kao rezultat toga, udio na tržištu brzo raste. U ovoj fazi, Sto ne razmišlja

o licenciranju, ali će na to biti spremni ukoliko bude visoka potražnja. U sljedećih 20 godina Sto se nada da će sa svojim Lotusan premazom zauzimati 50% tržišta (Ataide, 2010). Jedan od ograničenja s kojima se Sto suočava je cijena. Budući da cjenovna prednost u usporedbi s konvencionalnim proizvodima nije ostvarena, mnogi kupci nisu spremni platiti premiju za Lotusan proizvode.

4. Studija slučaja 3: Strukturna obojenost

Strukturna obojenost je izrada boje s mikroskopski strukturiranim površinama dovoljno finim da se miješaju s vidljivim spektrom svjetlosti, ponekad u kombinaciji s pigmentima: na primjer, perje paunovog repa sadrži smeđi pigment, ali struktura pera omogućuje im da izgledaju plavo, tirkizno, zeleno, često se i prelijevajući (Hooke, 1665). Kod životinja, na primjerima kao što su perje ptica i ljuske leptira, interferencija je stvorena nizom fotonskih mehanizama, uključujući difrakciju rešetki, selektivnih ogledala, fotonskih kristala, kristalnih vlakana, matrica nanokanala i proteina koji mogu mijenjati svoju konfiguraciju. Mnogi od tih mehanizama odgovaraju složenim strukturama vidljivim elektronskim mikroskopom.

Strukturna obojenost ima potencijal za industrijsku, komercijalnu i vojnu primjenu, s biomimetičkim površinama koje bi mogle omogućiti briljantne boje, adaptivnu kamuflažu, učinkovite optičke prekidače i staklo s malom refleksijom.

4.1. Povijest istraživanja i načela strukturne obojenosti

Strukturnu obojenost po prvi put su proučavali engleski znanstvenici Robert Hooke i Isaac Newton, a načelo interferencije valova objasnio je Thomas Young stoljeće kasnije. Young je načelo prelijevanja boja objasnio kao rezultat interferencije između refleksija dvije (ili više) površina tankih filmova, u kombinaciji s lomom ulazne svjetlosti koja ostavlja takve filmove. Geometrija onda određuje da se pri određenom kutu reflektirana svjetlost s obje površine konstruktivno interferira, dok se kod drugih kutova svjetlo odbija. Zbog toga se različite boje pojavljuju pod različitim kutovima.

Strukturne boje su uzrokovane efektom interferencije, a ne pigmentima. Učinak boje nastaje kada je materijal sačinjen od mnoštva finih paralelnih linija, koje formiraju jedan ili više paralelnih tankih slojeva, ili na drugi način sastavljena od mikrostrukture u rasponu valnih duljina boje (Parker i Martini, 2006). Ako su mikrostrukture raspoređene nasumice, svjetlost kraćih valnih duljina će se po mogućnosti raspršiti stvarajući Tyndallov efekt boja: boja neba (Rayleighovo raspršenje, uzrokovano strukturama mnogo manjim od valne duljine svjetlosti, u ovom slučaju molekula zraka), sjaj opala, i plava boja ljudske šarenice. Ako su mikrostrukture poredane u nizovima, na primjer niz rupica u CD-ovima, one se ponašaju kao difrakcijske rešetke: rešetka reflektira različite valne duljine u različitim smjerovima zbog pojave interferencije, odvajajući pomiješano 'bijelo' svjetlo u svjetlo različitih valnih duljina. Ako je struktura jedan ili više tankih slojeva, onda će reflektirati neke valne duljine i prenijeti drugima, ovisno o debljini slojeva.

Strukturna obojenost odgovorna je za plavu i zelenu boju perja mnogih ptica (žute pčelarice, vodomara i kanarinca), kao i krila mnogih vrsta leptira i kukaca kornjaša (Ball, 2012). Boje se često prelijevaju, kao paunovo perje i unutrašnjost školjki, poput srebrnousnih bisernica (*Pteriidae*) i nautilusa. To je zato što reflektirajuća boja ovisi o kutu gledanja, što zauzvrat određuje prividni razmak između odgovornih struktura.

Preljevanje boja nastaje kada iznimno tanki filmovi reflektiraju dio svjetlosti koje pada na njih s njihovih gornjih površina. Ostatak svjetlosti prolazi kroz filmove, i njegov daljnji dio se reflektira od njihove donje površine. Dva seta reflektiranih valova putuju natrag prema gore u istom smjeru. No, budući da donji reflektirajući valovi putuju malo dalje – oni su kontrolirani debljinom i indeksom loma filma, i kuta pri kojem svjetlost pada – dva seta valova su izvan faze. Pri određenim specifičnim kutovima, oni konstruktivno interferiraju, stvarajući snažnu refleksiju. Kod drugih kutova i faznih razlika, oni se mogu odbiti, dajući slabe refleksije. Tanki film stoga selektivno reflektira samo jednu valnu duljinu, čistu boju, pod bilo kojim kutom, ali i druge valne dužine, različite boje na različitim kutovima. Dakle, kako se struktura tankog filma poput krila leptira ili perja ptice pomiče, čini nam se da mijenjaju boju (Vukušić, 1998).

4.2. Fiksne strukture koje omogućuju strukturnu obojenost

Brojne fiksne strukture mogu stvoriti strukturne boje, uz pomoć mehanizmima koji uključuju difrakcije rešetke, selektivnih ogledala, fotonskih kristala, kristala vlakana i deformiranih matrica. Strukture mogu biti daleko složenije od jednog tankog filma: filmovi mogu biti naslagani da bi omogućili snažan prelijevajući učinak boja, spajanje dviju boja ili balansiranje neizbježne promjene boje s kutom koji daje više difuzan, a manje prelijevajući učinak. Svaki mehanizam nudi specifično rješenje za problem stvaranja svijetle boje ili kombinacije boja vidljivih iz različitih smjerova.

Difrakcijska rešetka izrađena od slojeva hitina uzrokuje prelijevanje boja pomoću različitih ljuskica s leptirovih krila (slika 10e), kao i kod repnih pera ptica poput pauna. Hooke i Newton bili su u pravu kad su tvrdili da je boja paunovog perja stvorena interferencijom, ali odgovorne strukture su bile manje od izbrazdanih struktura koje su mogli vidjeti svojim svjetlosnim mikroskopom. Još jedna varijanta postoji kod rajske ptice, *Parotia lawesii* Ramsay. Barbule jarko obojenog perja na prsima su u obliku slova V, stvarajući tanki film mikrostruktura koje snažno reflektiraju dvije različite boje, intenzivnu plavo-zelenu i narančasto-žutu. Kad ptica pomiče prsno perje tada dolazi do oštrog prijelaza između tih dviju boja. Tijekom udvaranja, mužjaci sustavno rade kratke i brze pokrete da privuku ženke, tako da je takva struktura evoluirala kroz seksualni odabir (Stavenga, 2010).

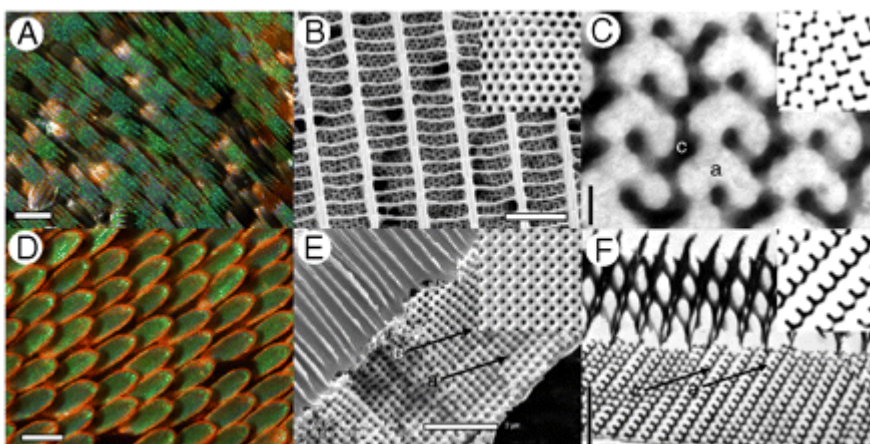
Da bi selektivna zrcala stvorila učinak intereferencije, ona su formirana od mikronskih zdjelastih jamica obloženih s više slojeva hitina na ljuskama krila leptira *Papilio palinurus* Fabricius. One djeluju kao visoko selektivna zrcala za dvije valne duljine svjetlosti. Žuta svjetlost se reflektira izravno iz središta jamica, dok se plava svjetlost reflektira dva puta po bočnim stranama jamica. Kombinacija obaju svjetlosti daje zelenu boju, ali pod mikroskopom se vidi kao niz žutih mrlja okruženih plavim krugovima (Ball, 2012).

Fotonski kristali mogu se formirati na različite načine. Kod *Parides sesostris* Cramer, fotonski kristali na ljuskama krila oblikuju hitinske nizove rupica nano veličine. Rupice su međusobno udaljene oko 150 nanometara (Yablonovitch, 2001), i pravilno su raspoređene na male dijelove (slika 10 d,e,f); susjedni dijelovi sadrže nizove različitih orijentacija. Rezultat toga je

da te ljuske ravnomjerno reflektiraju zeleno svjetlo (slika 10a) pod različitim kutovima umjesto da se prelijevaju (Vukušić, 2004). Kod *Lamprocyphus augustus* Illiger, vrste žižka iz Brazila, hitinski egzoskelet prekriven je prelijevajućim ovalnim zelenim ljuskama. One sadrže kristalne rešetke, bazirane na strukturi dijamanta, koje su orijentirane u svim smjerovima stvarajući tako briljantnu zelenu obojenost koja teško varira s kutom. Ljuske su učinkovito podijeljene u piksele široke oko jedan mikrometar. Svaki takav piksel je jedan kristal i reflektira svjetlost u drukčijem smjeru od susjednog piksela (Galusha i sur., 2008).

Kristalna vlakna formirana su od heksagonalni nizova šupljih nanovlakana koja se koriste za stvaranje blještavih prelijevajućih boja na čekinjama *Aphrodita aculeata* L., morskog miša, pripada rodu morskih kolutičavaca. Aposemantički je obojen, čime upozorava grabežljivce da ga ne napadaju. Hitinski zidovi udubina čekinja formiraju heksagonalne fotonske kristale u obliku saća; heksagonalne udubine su udaljenje 0,51 mikrometara. Struktura se ponaša kao da se sastoji od snopa 88 difrakcijskih rešetki, (McPhedran, 2002) zbog čega je morski miš morski organizam s najizraženijim svojstvom prelijevanja boja.

Deformirane matrice, koje se sastoje od nasumično orijentiranih nanokanala u spužvastoj keratinskoj srži pera, stvaraju difuznu neprelijevajuću plavu boju kod *Ara ararauna* L., plavo-žutih ara. Budući da refleksija nije orijentirana u istom smjeru, boje ne variraju mnogo s kutom, tako da one nisu prelijevajuće (Vukušić i Sambles, 2003).



Slika 10: Fiksne strukture koje omogućuju strukturnu obojenost kod porodica *Lycaenidae* i *Papilionidae*. Svjetlosnom mikroskopijom krila roda *Callophrys*, porodica *Lycaenidae*, stvara zelenu boju opala zbog nasumično orijentiranih fotonskih kristala (slika 10a). SEM slika

dorzalne površine ljuski *Callophrys gryneus* Hubner, pokazuje razdvojene kristale ispod mreže paralelnih, uzdužnih grebena i tankih poprečno raspoređenih rebara (slika 10b). TEM slika nanostruktura *C. gryneus* s jedinstvenim obilježjem giroidne morfologije (slika 10c). Svjetlosna mikrografija krila vrste *Parides sesostris*, porodica *Papilionidae* (slika 10d). SEM slika nanostruktura bočne površine krila razmjera *P. sesostris* pokazuje stopljene polikristalne domene ispod višerednih prozora stvorenih mrežom grebena i razmaknutih unakrsnih rebara. Razlomljene značajke stvaraju hitinske kvadratne rešetke ispunjene zrakom (slika 10e). TEM slika nanostruktura *P. sesostris* s jedinstvenim obilježjem giroidne morfologije (slika 10f).

(Preuzeto sa <http://www.pnas.org/content/107/26/11676/F1.expansion.html>)

4.3. Varijabilne strukture – reverzibilni proteini u kromatoforama glavonožaca

Neke životinje, uključujući glavonošce poput lignje, u mogućnosti su brzo mijenjati svoje boje bilo za kamuflažu ili signalizaciju. Mehanizmi uključuju reverzibilne proteine koji se mogu prebacivati između dvije konfiguracije (Matoničkin i sur., 1999). Konfiguracija reflektirajućih proteina u kromatoforama u koži lignje *Loligo pealeii* Lesueur, kontrolira električni naboj. Kada je naboj odsutan, proteini se čvrsto slažu zajedno, stvarajući tanki, više reflektirajući sloj, kada je naboj prisutan, molekule se labavije slažu, formirajući deblji sloj. Budući da kromatofore sadrže više reflektirajućih slojeva, prekidač mijenja razmak između slojeva, a time i boju svjetla koje se reflektira.

4.4. Industrijske primjene strukturne obojenosti

Strukturna obojenost mogla bi se iskoristiti industrijski i komercijalno. Izravna paralela bila bi stvaranje vojne maskirne tkanine koja mijenja boje i uzorke kako bi se stopila s okolinom, baš kao što to čine kameleoni i glavonošci. Sposobnost da se razlikuje refleksija različitih valnih dužina svjetlosti također može dovesti do učinkovitih optičkih prekidača koji bi mogli funkcionirati poput tranzistora, omogućujući inženjerima izradu brzih optičkih računala i usmjerivača (Ball, 2012).

Složena površina oka kućne muhe gusto je pakirana mikroskopskim projekcijama koje utječu na smanjivanje refleksije i time povećavaju prijenos upadne svjetlosti. Slično, oči nekih moljaca imaju antirefleksijske površine, koristeći nizove stupača manjih od valne duljine svjetlosti. 'Moth-eye' efekt nanostrukture koriste se za stvaranje niske refleksije stakla, solarnih ćelija, zaslona uređaja i 'nevidljive' vojne tehnologije (Boden i Bagnall, 2008). Antirefleksijska biomimetička površina po 'Moth-eye' principu, proizvede se tako da se najprije litografijom sa zlatnim nanočesticama stvori maska, a zatim se uklanjanja površina materijala djelovanjem nagrizajućih tvari poput reaktivnih iona (Morhard i sur., 2010).

Postoji mnogo proizvoda koji su inspirirani ili koriste strukturalnu obojenost. Na primjer, ChromaFlair® (<http://www.jdsu.com/en-us/Custom-Color-Solutions/Products/chromaflair-pigment/Pages/default.aspx>) registrirani je zaštitni znak za pigment koji se koristi u sustavima boja, prvenstveno za automobile. Kada se primjenjuje, mijenja boju ovisno o izvoru svjetla i kutu gledanja. ChromaFlair je osmislila produkcijska grupa u JDS Uniphase Flex firmi iz Kalifornije a koristi je DuPont i PPG.

Učinak se postiže uplitanjem u refleksiju i prelamanje svjetlosti. Oslikane površine objekta sadrže sićušne sintetičke listiće debljine od jednog mikrometra. Listići su izrađeni od aluminijske i obloženi staklastim magnezijevim fluoridom te ugrađeni u poluproziran krom. Aluminijski i krom daju bojama jarki metalik sjaj, dok staklasti premaz djeluje poput prelamajuće prizme, mijenjajući prividno boju površine pomicanjem promatrača. ChromaFlair boje ne sadrže konvencionalne upijajuće pigmente, nego je to pigment prelamanja svjetlosti. Promatrana boja je u cijelosti stvorena lomom svjetlosti na listićima. ChromaFlair pigment je dostupan u tisućama različitih varijacija boja. Obično se primjenjuje na predmetima s važnim vizualnim identitetom poput motornih vozila (Cadillac) ili električnih gitara. Yves Saint Laurent privučen metalnim karakteristikama kukaca poput kornjaša, leptira, i vretenaca razvio je revolucionarnu kozmetiku. Kremenjašice, vrste čija je stanična stijenka građena od silicijevog dioksida, imitirao je u proizvodnji prve kozmetike se prelijevajućim bojama i nijansama. Nakon njega trend su slijedili Chanel i L'Oréal.

Jedan od neuspjelih primjera biomimetike a tiče se strukturne obojenosti je Morphotex tkanina sa strukturno obojenim vlaknima japanskog proizvođača Teijin Fibers Limited. Pri

izradi se ne koriste boje ili pigmenti nego se boja stvara na temelju različite debljine i strukture vlakana. Potrošnja energije i industrijski otpad su maksimalno reducirani jer se ne koristi proces bojenja. No, unatoč svim navedenim pozitivnim karakteristikama Morphotex je bez objašnjenja 2011. povučen s tržišta. Još jedan 'negativan' primjer je Fastskin® LZR Racer, kupaći kostim kompanije Speedo, koji se temelji na obliku i teksturi kože morskog psa. Na Olimpijadi 2008. u Pekingu, 98% svih medalja osvojenih na plivačkim natjecanjima je bilo plivajuću u Fastskin kupaćem kostimu. No, zbog očite dominacije i 'tehnološkog dopinga' zabranjeni su godinu poslije.

4.5. Qualcomm Incorporated

Qualcomm Incorporated je američka globalna korporacija koja dizajnira, proizvodi i prodaje digitalne bežične telekomunikacijske proizvode i usluge. Sjedište korporacije je u San Diegu. Preuzimanjem poduzeća Iridigm, Qualcomm korporacija se fokusirala se na MEMS tehnologiju koja je otvorila put otkrivanju Mirasol® tehnologije. Mirasol® tehnologija, samo je jedan u nizu Qualcomm-ovih izuma ali je značajna za ovaj rad jer je inspiracija za tehnologiju preuzeta iz strukturne obojenosti *Morpho* leptira što je temelj biomimetike – inspiracija iz prirode.

4.5.1. Povijest korporacije Qualcomm

Qualcomm je 1985. osnovao profesor Irwin Jacobs sa sveučilišta u San Diegu sa još 7 kolega. OmniTRACS lokator satelita i komunikacija su bili Qualcomm-ovi prvi proizvodi i usluge koje su koristila poduzeća koje se bave transportom na duge relacije. Proizvodili su i specijalizirane integrirane krugove za digitalne radio komunikacije, poput Viterbi dekodera. Godine 1990, Qualcomm je počeo dizajnirati prvu CDMA mobilnu baznu stanicu na temelju izračuna OmniTRACS satelitskog sustava. Dizajniranje je započelo zbog ugovora sa AirTouch-om koji je zbog manjka mobilnih kapaciteta u Los Angelesu krenuo u proširenje. Dvije godine kasnije Qualcomm je počeo proizvodnju CDMA mobitela, baznih stanica i čipova. Qualcomm je 1999. prodao svoje poslovanje s baznim stanicama Ericssonu, a kasnije je prodao svoju proizvodnju mobilnih telefona Kyocera-i (<http://www.qualcomm.com/about/history>). Tvrtka

je sada usmjerena na razvoj i licenciranje bežične tehnologije i prodaju ASIC-a koji je provode.

U kasnim 1980-im tvrtka pod nazivom Iridigm razvila je tehnologiju prikaza kombinirajući optiku tankog filma i MEMS koji stvara boju interferencijom svjetla što se često viđa u prirodi. Tipični zaslone kao LCD ili OLED ne koriste pigmente nego svjetlo koje prolazi kroz filtere, polarizatore i tekuće kristale (za LCD) ili kemikalije koje se osvijetle djelovanjem struje (OLED). U svakom slučaju, u suprotnosti su reflektirano svjetlo i stvoreno/isijavajuće svjetlo. Motivacija je realizacija mogućnosti onoga što se može postići kada se te sposobnosti tehnološke prednosti primijenjene na zaslonu: vidljivosti na otvorenom, mala potrošnja energije i prekrasne prelijevajuće boje.

Qualcomm je preuzeo Iridigm u 2004. i formirao Qualcomm MEMS Technologies (QMT) Inc, podružnicu u potpunom vlasništvu. Ova podjela je odgovorna za razvoj i dovođenje na tržište Mirasol® zaslona. Mirasol je prvi zaslon male snage, koji pri sunčevoj svjetlosti omogućuje oštrinu boja i sadržaja na temelju tehnologije interferometrijske modulacije (IMOD). Ovaj jedinstveni pristup za prikaz tehnologije je inspiriran prirodom i temelji se na istom fenomenu treperenja koji stvaraju krila leptira na suncu. Od preuzimanja, Qualcomm je izgradio laboratorij za istraživanje MEMS tehnologije u San Joseu i proizvodni pogon u Tajvanu i počeo isporučivati Mirasol zaslone partnerima. Qualcomm je komercijalizirao niz uređaja prijašnjih generacija, sljedeća komercijalizirana generacija komercijalne verzije tehnologije će biti u 5,7" zaslonu za e-čitače i tablete.

Danas je tvrtka je vodeći nositelj patenta u naprednim 3G i 4G mobilnim tehnologijama. Priljev licenci iz patenata od svojih izuma, i njihovih srodnih proizvoda su glavna komponenta Qualcomm-ovog poslovanja. Tehnologija tvrtke je sastavni dio mobilnih telefona, tableta, e-čitača, mobilnih aplikacija i drugih bežičnih uređaja i usluga koje koriste milijarde ljudi diljem svijeta. Tvrtka ima 21 200 zaposlenika na 157 lokacija širom svijeta. Prihod tvrtke u 2012. je iznosio 19,12 milijarde dolara (Clevenger, 2012).

4.5.2. Mirasol® tehnologija – nova generacija zaslona

Proučavajući i oponašajući procese i strukture iz prirode, Qualcomm-ovi inženjeri su razvili rješenje inspirirano strukturnim obojenjem, tj, ljuskicama Morpho leptira. To rješenje je Mirasol tehnologija koja se koristi u zaslonima. Posebnost Mirasol zaslona je što se po prvi put koristi interferometrijska modulacija (IMOD); tehnologija koja se temelji na mikro elektromehaničkom sustavu (MEMS) koji stvara boje iz reflektirane svjetlosti sa mikroskopskih zrcala. IMOD element, jezgra izgradnje Mirasol tehnologije zaslona, ima dva stabilna stanja. Kad nema napona, ploče su odvojene, a svjetlo koje udara u podlogu se odbija. Kod primjene malog napona, ploče se međusobno privlače zbog elektrostatskih sila privlačenje i svjetlost je apsorbirana pretvarajući podlogu u crnu boju. Dva stabilna stanja su od temeljne važnosti jer omogućuje da Mirasol zasloni budu najbolji u svojoj klasi što se tiče energetske učinkovitosti.

4.5.2.1. Stvaranje boje na Mirasol® zaslonima

Na temeljnoj razini, Mirasol® zaslon je optička rezonantna šupljina. Uređaj se sastoji od samonosivih deformabilnih reflektirajućih membrana i slojeva tankog filma koji se nalaze na prozirnoj podlozi. Svaka optička rezonantna šupljina djeluje kao zrcalo. Kada svjetlost pogodi strukturu, reflektira se i o slojeve tankog filma i od reflektujuće membrane. Ovisno o visini optičke šupljine, svjetlost određene valne duljine koja se reflektira o membranu će biti malo izvan faze s obzirom da se reflektira i o strukturu tankog filma. Na temelju fazne razlike, neke valne duljine će konstruktivno interferirati, a druge destruktivno. Ljudsko oko će percipirati boju na način da će određene valne duljine biti pojačane u odnosu na druge.

Slika na Mirasol zaslonu se može prebacivati između odabrane boje i crne mijenjajući stanje membrane. To se postiže primjenom napona na slojeve tankog filma, koji provode elektricitet i zaštićeni su izolacijskim slojem. Kada se primjeni napon, elektrostatske sile uzrokuju kolaps membrane. Promjena u optičkoj šupljini sada rezultira konstruktivnom intreferencijom pri ultraljubičastim valnim duljinama koje nisu vidljive ljudskim okom. Zbog toga se pojavljuje crna slika na ekranu. Zaslon u boji sastavljen je od IMOD elemenata koji reflektiraju u crvenim, zelenim, i plavim valnim duljinama.

4.5.2.2. Tehnološke prednosti i budućnost Mirasol® zaslona

Mirasol zasloni prikazuju intenzivne boje i sadržaj koji je vidljiv na izravnom suncu. Ova jedinstvena tehnologija omogućuje dugotrajniju bateriju čineći ga vodećim u klasi ali i idealnim za jedinstvene zahtjeve današnjeg mobilnog potrošača. Jedinice baterija u uređajima koji koriste Mirasol zaslon obično traju tri puta duže u usporedbi s LCD-om (<http://www.qualcomm.com/mirasol/benefits>). Zbog zaslona koji reflektira boje, Mirasol dobiva osvjetljenje iz okoline u kojoj se koristi. Što znači da čak i u najsvjetlijim uvjetima, Mirasol zaslon će pružati oštar i jasan prikaz. U slučajevima gdje nema osvjetljenosti, Qualcomm MEMS tehnologija je razvila integrirano svjetlo za čitanja kojim se osvjetljuje zaslon. Revolucionarni Mirasol zasloni koriste mikroskopske zrcala da bi reflektirali okolno svjetlo, tj. zasloni ne koriste pozadinsko osvjetljenje, što je jedan od najvećih potrošača energije u današnjim s zaslonima s pozadinskim osvjetljenjem. Mirasol zasloni su također dvostabilni, što im omogućava gotovo nikakvu potrošnju energije u situacijama gdje je prikaz slike nepromijenjen zbog čega znatno štede na energiji, pogotovo u odnosu na zaslone koji se kontinuirano osvježavaju, poput LCD-a. Mirasol prikazuje genijalno stvaranje boje nadahnuto prirodom. Prikaz stvara boje oponašajući procese uočene na leptirovim krilima ili paunovom perju. Ta prirodna paleta omogućuje prelijevajuće, svjetlucave i intenzivne boje.

Mirasol zaslon ima potencijal da se koristi u gotovo svakom mobilnom uređaju koji zahtijeva zaslon. To bi moglo uključivati mobitele, e-čitače, tablete, prijenosna računala, GPS jedinice i kamere. Glavna ograničenja s kojima se Qualcomm suočava su u proizvodnom procesu jer za intenziviranje visokog volumena proizvodnje jednostavno treba vremena.

5. Studija slučaja 4: Tuberkuli na perajama grbavog kita

Grbavi kit (*Megaptera novaeangliae* Borowski) je izuzetak među velikim kitovima usanima zbog svoje sposobnosti manevriranja prilikom hvatanja plijena. Tuberkuli grbavom kitu omogućuju kretanje ispod svog plijena i otpuštanje prstena mjehurića. Ti mjehurići oblikuju kavez koji olakšava hvatanje hrane. Nasuprot tome, drugi kitovi usani, poput plavetnog i velikog sjevernog kita, imaju glatke peraje i plivaju ravno naprijed u potrazi za hranom. Grbavi kitovi koriste peraje u obliku krila koje su izuzetno mobilne prilikom okretanja i skretanja. Veliki zaobljeni tuberkuli uz vanjski rub peraja (slika 11) jedinstvene su morfološke

strukture u prirodi. Vanjski rub tuberkula djeluje kao pasivni uređaj za kontrolu protoka, koji poboljšava performanse i sposobnost manevriranja peraja. Moguće je da su dinamički mehanizmi tekućina odgovorni za poboljšanu izvedbu, uključujući odgodu usporavanja kroz proizvodnju vrtloga i izmjenu graničnog sloja, te povećanjem efektivnog raspona smanjenjem protoka tekućine s donje površine peraje prema gornjoj ali i snagom od vršnog vrtloga (Fish i sur., 2011). Tuberkuli pružaju bioinspirirani dizajn koji je komercijalno održiv za strukture poput krila. Prednosti pasivne kontrole protoka je eliminiranje složenih, skupih, teško održivih i kompliciranih kontrolnih mehanizama, uz poboljšanje performansi za uzgon tijela bilo u zraku ili vodi. Vanjski rub tuberkula može se primijeniti u dizajnu brodica i zrakoplova, lopatica ventilatora i vjetroturbina.

5.1. Istraživanje i razvoj učinka tuberkula

Istraživači sa sveučilišta Harvard došli su do matematičkog modela koji pomaže objasniti ovu hidrodinamičku prednost potvrđujući prva kontrolirana ispitivanja modela peraja s tuberkulima u zračnom tunelu provedena 2003. godine na Američkoj pomorskoj akademiji u Annapolisu, gdje se dokazalo da se usporavanje pojavljuje pri kutu napada od 12° te je kod peraja s tuberkulima ono odgođeno na 18° . U tim testovima, otpor je smanjen za 32 % i uzgon poboljšan za 8 % (Mikolsovic i sur., 2004). Rad daje teorijsku težinu sve većem broju empirijskih dokaza da bi slične izbočine mogla dovesti do stabilnijeg dizajna zrakoplova, podmornica s većom okretnosti i lopatica turbina koje mogu prikupiti više energije iz vjetra i vode (Van Nierop i sur., 2008). Prednost peraje grbavog kita čini se da je mogućnost visokog kuta napada – kut između protoka vode i prednje strane peraje. Kada kut napada peraje kita, ili krila zrakoplova, postaje previše strm, rezultat je usporavanje (*stall*). U zrakoplovstvu, usporavanje znači da nema dovoljno zraka koji struji preko gornje površine krila. To uzrokuje kombinaciju povećanog otpora i gubljenja uzgona, što je potencijalno opasno stanje koje može dovesti do naglog gubitka visine. Prethodni su pokusi pokazali, međutim, da kut napada peraje grbavog kita može biti i do 40 posto strmiji nego kod glatke peraje, što se događa prije usporavanja.

Dokazano je da izbočine na perajama grbavog kita, poznate kao tuberkuli, mijenjaju raspodjelu pritiska na peraja, zbog čega neki dijelovi usporavaju prije drugih. S obzirom na to da različiti dijelovi peraja usporavaju pri različitim kutevima napada, lakše je izbjeći naglo usporavanje. Ovaj efekt također daje kitu više slobode za napad pri višim kutovima i mogućnost da bolje predvidi svoja hidrodinamička ograničenja. Presjek peraja sličan je onome krila zrakoplova. Ova usporedba nagnala je dr. Frank Fish, profesora biologije na Sveučilištu West Chester i glavnog autora izvorne studije, da uoči potencijal uporabe tuberkula izvan vode. Provedena je procjena učinkovitosti tuberkula izradom modela peraje grbavog kita. Tim suradnika dr. Fisha konstruirao je dvije peraje, jednu s tuberkulima, a drugu bez. Veličina svake peraje iznosila je oko dva metra, a ispitane su u zračnom tunelu. Rad u zračnom tunelu pokazao je da peraja s tuberkulima omogućuje povećanje operativnog kuta od 11 do 17%, što predstavlja poboljšanje performansi od gotovo 40%. Razlog za učinkovitost tuberkula veže se na protok zraka nad perajama iz trodimenzionalne točke gledišta. Strujanje zraka prolazi udolinama između tuberkula stvarajući vrtlog na svakoj strani određenog tuberkula. Ti vrtlozi onemogućavaju odvajanje i usporavanje protoka zraka (Fish, 2011).

Prototipovi lopatica vjetroelektrane (slika 11) pokazali su da odgođeno usporavanje udvostručuje učinkovitost turbina pri brzini vjetra od 17 km/h, te omogućava turbinama hvatanje više energije od niže brzine vjetrova. Na primjer, takve turbine generiraju određenu količinu energije pri 10 km/h, dok konvencionalne turbine generiraju jednaku količinu energije ali tek pri 17 km/h (Canter, 2008). Tuberkuli učinkovito kanaliziraju strujanje zraka preko lopatica i stvaraju vrtloge koji povećavaju uzgon.



Slika 11: Pektoralna peraja grbavog kita sa tuberkulima i prototip lopatice za vjetroelektrane

(Preuzeto sa WhalePower.com)

5.2. Komercijalizacija i licenciranje tehnologije tuberkula

Tuberkuli omogućuju perajama poboljšani uzgon ali i smanjenje otpora. Ovaj faktor omogućuje grbavom kitu da koristi manje energije za okretanje. Fish ističe da je izmjena strujanja zraka viša u smjeru peraja nego što je okomita na peraje. Tehnologija za korištenje tuberkula u strujanju zraka licencirana je od strane korporacije WhalePower koja je ocjenjivala njegovu učinkovitost u vjetroelektranama. Testiranje je kroz godinu dana provedeno na Institutu za energiju vjetra na kanadskom otoku Prince Edward. Ove izbočine, ili tuberkule, na vanjskom rubu lopatica smanjuju buku, povećavaju njihovu stabilnost, te omogućiti da hvataju više energije iz vjetra. WhalePower je također dokazao da lopatice s tuberkulima kod industrijskih stropnih ventilatora mogu raditi 20 % učinkovitije od konvencionalnih lopatica, (Hamilton, 2008) te ujedno omogućuju bolji protok zraka u objektu. Ovi su rezultati uvjerali najvećeg kanadskog proizvođača ventilatora na licenciranje dizajna, što je u osnovi pokazatelj jednog od mnogih potencijalnih primjena ove tehnologije

Procjena je pokazala da su lopatice bazirane na tuberkulima grbavog kita održivo rješenje za proizvodnju energije pri niskim brzinama strujanja vjetra. Još se treba odrediti najbolji geometrijski položaj tuberkula koji će osigurati optimalnu proizvodnju energije. Lopatice bazirane na principu tuberkula omogućuju učinkovitije korištenje vjetroturbine, što bi trebalo rezultirati manjim okretnim momentom, dužim radnim vijekom, ali i manje problema s mazivom prijenosnika. Rezultat je da vjetroturbine koje imaju tuberkule rade djelotvornije pri umjerenim brzinama vjetra bez poteškoća. Usporavanje je eliminirano u početku, a vjetroturbine se i bolje nose s većim naletima vjetra. Amplituda tuberkula ima veću ulogu nego njihov broj duž vanjskog ruba peraja. To je koristan podatak jer bi se na temelju toga gradili zrakoplovi koji puno teže usporavaju a time se i lakše kontroliraju. Na primjer, mogu se dizajnirati spretniji zrakoplovi (slika 12) čiji bi tuberkuli na krilima mogli potencijalno poboljšati sigurnost i smanjiti težinu i troškove goriva uklanjanjem kontrolnih površina potrebnih za promjenu karakteristike krila koje uzrokuju usporavanje, dok bi implementiranjem ovih saznanja u vodi podmornice bile mnogo okretnije.



Slika 12: Model komercijalnog mlaznog zrakoplova s tuberkulima na vanjskim dijelovima krila i stabilizatora (Preuzeto od Fish, F. E., Weber, P. W., Murray, M. M., Laurens, E. H., (2011.): The Tubercles on Humpback Whales' Flippers: Application of Bio-Inspired Technology. Integrative and Comparative Biology, 51 (1): 203–213)

5.3. Industrijska primjena tehnologije tuberkula

Sjedinjenje biologije i tehnike kroz biomimetiku omogućit će buduće inovacije. Lekcije naučene od peraja grbavog kita uskoro će pronaći svoj put u dizajnu krila za posebne namjene, propelera, kao i lopatica helikoptera i vjetroturbina. Poduzeće Fluid Earth, u suradnji s dr. Frank Fishom, je razvilo peraju za surfanje koja povećava okretnost i performanse. Zove se grbava peraja (slika 13) jer je inspirirana perajama grbavih kitova, koji imaju tuberkule tj. izbočine na vanjskim rubovima peraja. Revolucionarno dizajnirana peraja omogućuje snažne donje okretaje uz veću brzinu. Poduzeće Fluida Earth, (<http://www.fluidearth.org/philosophy.htm>) osim što inspiraciju crpi iz prirode, ona koristi biorazgradive materijale uz minimalno ispuštanje ugljika i optimiziranu dostavu. Stvaraju se kvalitetni proizvodi s minimiziranim utjecajem na okoliš. Dr. Frank Fish je razvio tehnologiju tuberkula i osnovao WhalePower Corporation koja koristi tu tehnologiju u proizvodnji turbina, ventilatora i pumpi.

5.4. WhalePower Corporation – predvodnik tehnologije tuberkula

Istraživački interesi, osnivača i predsjednika WhalePower korporacije dr. Frank Fish-a, su područja funkcionalne morfologije i ekološke fiziologije. Profesor je na West Chester sveučilištu i fokus mu je na istraživanju dinamike kretanja u životinja. Istražuje energetiku i hidrodinamiku plivanja kralježnjaka plivanja, s posebnim naglaskom na propulzivne načina i evoluciju vodenih sisavaca. Upravo ovi interesi su ga potaknuli da proučavanjem tuberkula pektoralnih peraja grbavog kita dođe do ideje tehnologije tuberkula. Uz dvojicu kolega osnovao je WhalePower korporaciju. WhalePower korporacija nudi tehnološka rješenja kroz precizno formirane verzije umjetnih izbočina (tuberkule) na vanjskim rubovima rotora koji je središte gotovo svakog aksijalnog stroja dizajniranog za rad s tekućinama - zrak, voda, para ili ulje.

5.4.1. Povijest WhalePower korporacije

WhalePower korporaciju osnovali su dr. Frank Fish, Dr. Phil Watts i Stephen Dewar u listopadu 2004. u svrhu razvoja aplikacija tehnologije tuberkula. Dr. Fish i dr. Watts su odobrili WhalePower Corporation ekskluzivno pravo na iskorištavanja vodeće, poboljšane tuberkulima, tehnologije za široki raspon uređaja. To pravo uključuje tehnologiju i globalnu zaštitu patenata za sve takve uređaje. Početni kapital firme je iznosio 500 tisuća dolara od privatnih investitora. 2009. su u suradnji sa Envira-North System's Ltd tvrtkom iz Ontario, Kanada, plasirali prvi industrijski ventilator „Altra Air“. Tvrtka je u privatnom vlasništvu i nerado objavljuje konkretne financijske podatke. Ali Dewar kaže da „WhalePower raste značajnom dvoznamenkastom stopom unatoč gospodarstvu“ (Villano, 2010) te da očekuje povećanje rasta tijekom iduće godine. WhalePower trenutačno pregovara sa licencama, svoje tehnologije tuberkula, sa proizvođačim koji sadrže ventilatore u računalima, serverima, manjim uređajima i jedinicama grijanja i klimatizacije. Finalist je prestižne Index: Design to improve life nagrade - Kopenhagen, Danska, 2009.

5.4.2. Prednosti tuberkula

Uvođenje novih struktura i mehanizama iz prirode u dizajn i funkcije strojeva pokušava se kroz biomimetiku. Biomimetika, ili ono što se prije zvalo bionika, pokušaj je proizvodnje projektiranih sustava koji posjeduju karakteristike, nalikuju, ili funkcioniraju poput živih

sustava. Cilj biomimetike u području mehanike je korištenje biološke inspiracije u dizajnu strojeva koji oponašaju učinak životinja, posebno u slučajevima gdje je izvedba životinja prelazi trenutnu mehaničku tehnologiju. Jedan od takvih izuma su i lopatice sa tuberkulima koje su nadmašile sve konvencionalne aerodinamičke profile a to postižu:

- visokim kutom usporavanja -22° ,
- uvijek postupno usporavaju,
- eliminiraju širok raspon pumpanja što je primarni uzrok gubitka učinkovitosti u svim rotirajućim sustavima,
- eliminiraju vršno usporavanje, primarni uzrok buke koju stvaraju lopatice i štetne vibracija,
- smanjenje buke nudeći tehnologiju tuberkula, hiperstabilnost koja snižava vibracije koje uzrokuju trošenje i habanje na lopaticama i pogonu.

Kontroliranim ispitivanjima u zračnom i vodenom tunelu (Fish, 2008) dokazano je da tehnologija tuberkula nadilazi ograničenja dinamike fluida koje su nekada inženjeri, tehničari i znanstvenici smatrali nezaobilaznim. Primjenom te tehnologije vjetroelektrane će biti učinkovitije i pouzdanije, turbine hidroelektrana otvoriti će ogromne nove mogućnosti u proizvodnji električne energije. Primjenom na pumpe tehnologija tuberkula polučit će poboljšanu učinkovitosti za sve, od komunalnih vodoopskrbnih sustava pa do navodnjavanja farmi.

5.4.3. Proizvodnja proizvoda temeljenih na tehnologiji tuberkula

Faza istraživanja u zračnim i vodenim tunelima i općenito razvoj tehnologije tuberkula trajao je 3 godine. Brzo su razvijeni potrebni alati za plasiranje ove tehnologije na tržište. WhalePower je napustio konceptnu fazu 2008. godine i započeo sa procesom provedbe tehnologije tuberkula. Pri implementaciji korištena je digitalna tehnologija od specifikacije dizajna pa do obrade rezanjem i finalne izrade. Svako projektiranje ventilatora i turbine je drugačije. WhalePower vrlo brzo može razviti precizne nacрте za naknadno ugradive vanjske rubove ili potpuno integrirane lopatice, sa primijenjenom tehnologijom tuberkula, za bilo koju turbinu.

Lopaticice s naknadno građenim vanjskim rubom su jače od izvornih nemodificiranih lopatica. Integrirane lopaticice zadovoljavaju ili premašuju sve potrebne kriterije izvedbe. Izrada bilo naknadno ugradivim ili integrirani elementima je u potpunosti kompatibilna sa svim standardnim izradbenim tehnikama.

5.4.4. *Proizvodi WhalePower korporacije*

Prvi proizvod nove tehnologije WhalePower korporacije koji je plasiran na tržište je industrijski ventilator „Altra Air“ (slika 13). WhalePower je licencirao Envira-North System's Ltd za proizvodnju i distribuciju prve generacije potpuno optimiziranih ventilatora, visokog volumena pri niskim brzinama, diljem svijeta. Aerodinamičnost Altra air ventilatora je 25 posto učinkovitija od svojih prethodnika, troši 20 posto manje energije i stvaraju znatno manje buke. Poduzeće Envira-North također tvrdi da njegovi klijenti štede čak 25 posto u odnosu na svoje prijašnje troškove energije (Villano, 2010). Prije navedena grbava peraja na daskama za surfanje je jedan od proizvoda. Tehnologija tuberkula nije samo još jedan novi dizajn lopaticice: to je temeljni napredak u dinamici fluida koja će preobraziti niz strojeva: turbine, kompresori, pumpe i ventilatori su samo neki.



Slika 13: Model „Altra air“ industrijskog stropnog ventilatora i grbava peraja za daske za surfanje poduzeća Fluid Earth (Preuzeto sa <http://www.enviranorth.com/> i <http://www.fluidearth.org/>)

6. *Utjecaj biomimetike na ekonomiju*

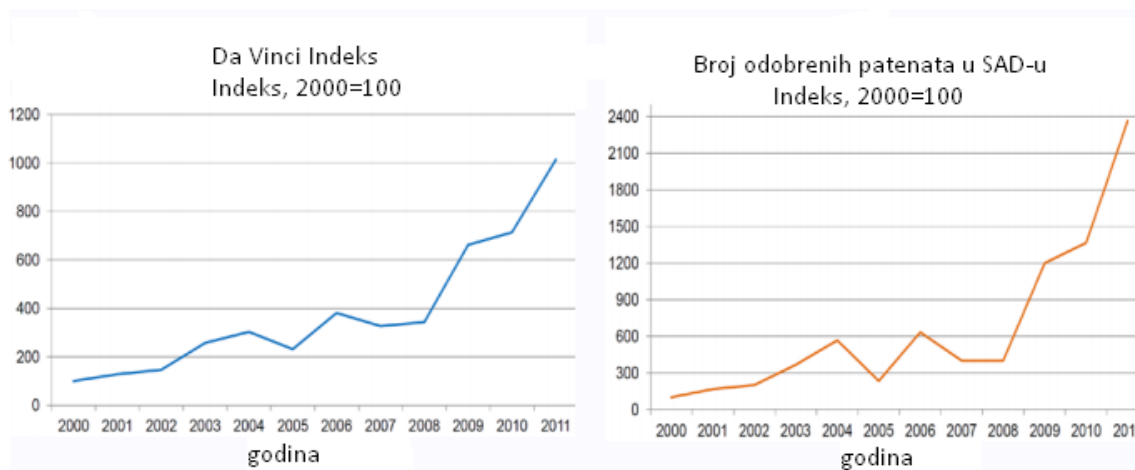
Biomimetika je jedna od najperspektivnijih znanstvenih područja koja bi mogla transformirati načini na koji su proizvodi i usluge dizajnirani, proizvedeni, prevezeni i

distribuirani. To bi moglo predstavljati veliki zaokret u 21. stoljeću, povezivanjem zaštite okoliša i poslovnih interesa.

6.1. Da Vincijev Indeks: mjerenje utjecaja biomimetike

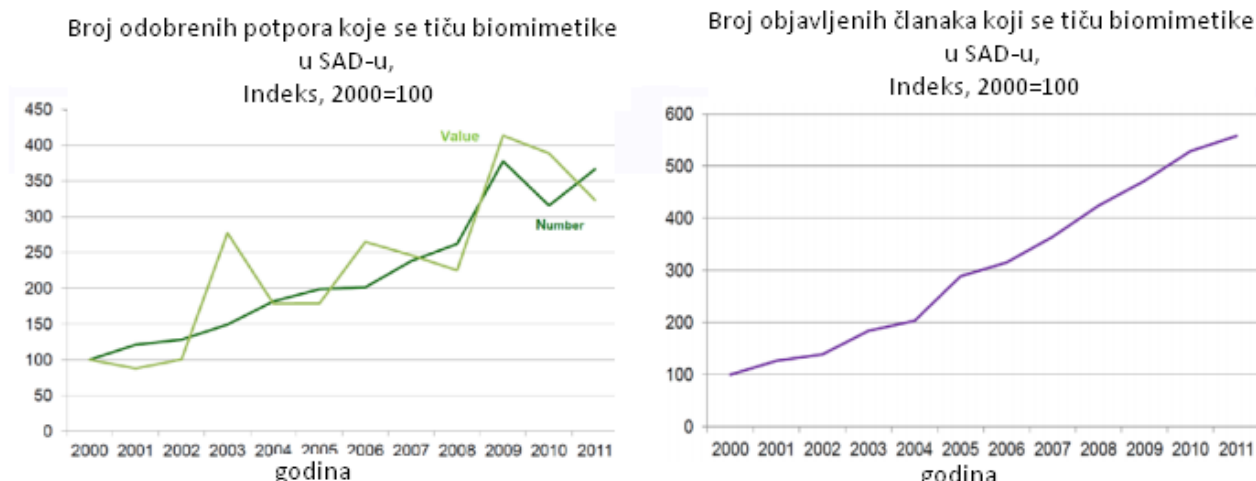
Kako bi se povećala svijest među poslovnim čelnicima, političarima, investitorima i medijima, Da Vincijev indeks je dizajniran za mjerenje aktivnosti u proteklom desetljeću u području koje se odnose na biomimetiku i bioinspiraciju. Dizajniran je da pruži opipljive i mjerljive napretke u području te se tako pridružio ostalim indeksima praćenja, kao što Case-Shiller Home Price indeks, Indeks vodećih gospodarskih pokazatelja, S & P 500 indeks cijena burze, i mnogi drugi.

Indeks je sastavljen na temelju broja patenata, objavljenih znanstvenih članaka i ostalih publikacija koje se tiču biomimetike, broja potpora izdanih od strane Nacionalne zaklade za znanost (NSF) i Nacionalnog instituta za zdravlje (NIH), te vrijednost tih potpora u određenom vremenskom razdoblju. Biomimetika je doživjela eksplozivni rast u posljednjem desetljeću. Iako su godišnje promjene bile nepostojane, ukupni trend tijekom posljednjih nekoliko desetljeća je snažno raste dosegavši rekordnu razinu u 2011. Zbog rasta interesa i potencijala biomimetike. Da Vincijev indeks zabilježio je rast sedam puta između 2000. i 2010., i penjanje od 100 do 713 što predstavlja godišnju stopu rasta od 22% (slika 14). U 2011. indeks je napredovao dosegavši 1013 što predstavlja rast od 42% u odnosu na 2010. Ovaj val rasta vođen je izdavanjem patenata u području biomimetike, (slika 14) koji je skočio za više od 70% u 2011.



Slika 14: Graf prikazuje Da Vincijev indeks i broj odobrenih patenata u SAD-u (Preuzeto sa [http://www.connect.org/programs/connect-track/docs/050212-CONNECT-IR-Q4-11-FULLREPORT__Apr30\[1\].pdf](http://www.connect.org/programs/connect-track/docs/050212-CONNECT-IR-Q4-11-FULLREPORT__Apr30[1].pdf))

Broj znanstvenih članaka porastao je s 285 u 2000. na 1590 u 2011., što predstavlja povećanje od pet puta. Broj potpora porastao je s 71 u 2000. do 260 u 2011., što predstavlja povećanje od 4 puta. Dok se broj potpora povećao, vrijednost tih potpora smanjena je s 93 milijuna dolara u 2010. na 77 milijuna dolara u 2011. Sveukupno ovo predstavlja trostruki porast vrijednosti od 24 milijuna dolara u 2000. na 77 milijuna dolara u 2011. (http://www.pointloma.edu/sites/default/files/filemanager/Fermanian_Business__Economic_Institute/Da_Vinci_Index_Presentation_2011_1st_and_2nd_Quarter.pdf). Nacionalna zaklada za znanost (NSF) zabilježila je smanjenje u oba mjerenja, što predstavlja pad drugi godinu za redom. Nasuprot tome, Nacionalni institut za zdravlje (NIH) ostvario je rekordne dobitke u broju i vrijednosti potpora. Proračunski rezovi lošije djeluju na sredstva NSF-u dok NIH prosperira zbog usredotočenosti na zdravstvenu zaštitu.



Slika 15: Graf prikazuje broj odobrenih potpora i broj objavljenih znanstvenih članaka (Preuzeto sa [http://www.connect.org/programs/connect-track/docs/050212-CONNECT-IR-Q4-11-FULLREPORT__Apr30\[1\].pdf](http://www.connect.org/programs/connect-track/docs/050212-CONNECT-IR-Q4-11-FULLREPORT__Apr30[1].pdf))

6.2. Ekonomski potencijal biomimetike kao industrije

Povećanjem učinkovitosti i smanjenjem troškova, rješenja inspirirana prirodom omogućuju nam podizanje standarda življenja i očuvanja okoliša. Biomimetički potencijal za smanjenje triju glavnih izvora troškova gleda se kroz troškove zagađenja, odlaganja otpada i iskorištavanja prirodnih resursa. Sve su to prednosti koje otvaraju vrata biomimikrije kao industrije. Kroz obradu četiri studije slučaja u prethodnim poglavljima opisan je učinak navedenih proizvoda na neke od sljedećih industrija.

6.2.1. Prodaja i industrijski potencijal

Primjene biomimetike do komercijalne uporabe mogu transformirati velike dijelove različitih industrija u idućih 15 godina. U 2009. je u SAD-u podneseno više od 900 zahtjeva za patentiranje koje sadrže riječ biomimikrija ili biomimetika. Primjenjuju se novi materijali, proizvodi, dizajni, procesi i sustavi temeljeni na oponašaju prirodnog okoliša. Procjenjuje se da je 100 najvećih biomimetičkih proizvoda generiralo oko 1,5 milijardi dolara tijekom 2005-2008. godine. Očekuje se da će se godišnja prodaja nastaviti dramatično povećavati (Bhushan, 2009). Slika 16, str. 67, prikazuje procjene ukupnog tržišta dionica za razne

skupine industrija, definirane uvjetima prodaje, na koje bi biomimetika mogla utjecati do 2025.

6.2.2. Utjecaj biomimetike na rudarstvo, komunalije, i graditeljstvo

Nove tehnike za bušenje, istraživanje i eksploataciju mogu utjecati na približno 3% industrije nafte, plina i rudarstva u sljedećih 15 godina. Primjer su Pax vijci, koji na temelju zajedničkog skupa geometrije (npr. logaritamska spirala školje roda *Nautilidae* i vrhovi listova papratnjača) nađenog u prirodi, višestruko smanjuju trenje i otpor (http://www.paxscientific.com/tech_bio.html) i time su konkurentniji postojećim proizvodima na tržištu. Na komunalni sektor utjecaj biomimetike bi bio oko 10% s novim proizvodima i procesima koji bi se koristili za različite segmente, u rasponu od proizvodnje energije pa do obrade vode. Utjecaj na graditeljstvo bio bi oko 5% do 2025. Na primjer, proučavanje strukture termitnjaka nadahnulo je izgradnju zgrada s velikim poboljšanjima u učinkovitosti grijanja i hlađenja (McKeag, 2009) koje uvelike smanjuju troškove i energiju.

6.2.3. Utjecaj biomimetike na proizvodnja i informatička tehnologiju

Na brojnim proizvodima se vrše izmjene ili se zamjenjuju s novim proizvodima koji zahtijevaju manje sirovina, troše manje energije i stvaraju manje otpada, a također ostvaruju više zadataka pri nižim troškovima. Mnogi od materijala i spojeva pronađenih u prirodi mogu uzrokovati da biomimetika utječe na oko 10% tekstilne (npr. već navdeni GreenShield koji je implementirao lotus-efekt na tkanine) i 15% kemijske (uključujući farmaceutske) industrije do 2025. Novi proizvodi mogu rezultirati dramatičnim smanjenjem toksičnosti proizvoda.

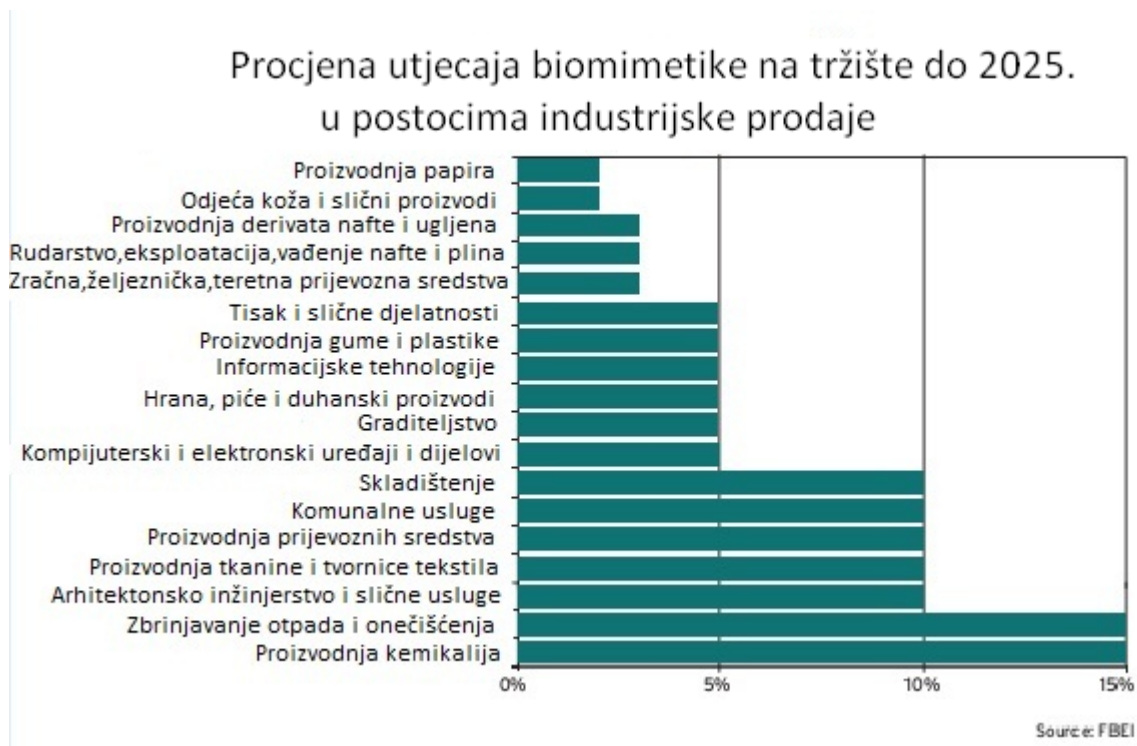
Novi aerodinamičniji i energetske učinkovitiji dizajn može preobraziti i do 10% industrije transporta (uključujući automobile, kamione, zrakoplove i plovila). Primjer Qualcomm poboljšanog ekrana s boljom energetske učinkovitost sa MEMS tehnologijom, navedenog u prethodnom poglavlju, ilustrira neke od velikih promjena koje bi se odvijale u proizvodnji elektronike. Procjenjuje se da bi utjecaj na informatičku tehnologiju iznosio 5% (slika 16, str. 69).

6.2.4. Utjecak biomimetike na skladištenje, pohranu i gospodarenje otpadom

Poboljšane metode hlađenja, proizvodi i sustavi ispirirani načelima biomimetike mogu utjecati i do 10% industrije skladištenja i pohrane do 2025. Učinkovitije tehnike prijevoza, inspirirane zadružnim kukcima, mogu utjecati na 3% usluga u sektoru transporta. Najveći postotak implementacije, oko 15%, očekuje se u industriji koja upravlja otpadom. Zanimljiv primjer spajanja industrije skladištenja i gospodarenja otpadom je potpuno obnovljiva Mushroom® ambalaža (<http://www.mushroompackaging.com/>). Ona se proizvodi spajanjem otpada poljoprivrednih usjeva i korijenja (micelija) gljiva. Uz sve veći problem odlaganja plastike koja se ne razgrađuje u prirodnom okolišu (npr. Styrofoam) ova inovacija inspirirana prirodom bi trebala biti primjer proizvođačima. Neke od vodećih svjetskih korporacija (npr. Dell, 3M) su uvidjele koliko je plastike u okolišu stoga u zaštiti i skladištenju svojih proizvoda koriste Mushroom® ambalažu.

6.2.5. Utjecaj biomimetike na arhitekturu, inženjering i srodne djelatnosti

Može se očekivati da će dizajn nadahnut biomimetikom sve više utjecati na arhitekturu i inženjering u godinama koje dolaze, procjenjuje se da će utjecati 10% na sektor prodaje u roku od 15 godina. Ured za znanost Američkog ministarstva obrane i njegova agencija za napredna istraživanja su zadužene za prepoznavanje i promicanje većine novih tehnologija koje mogu revolucionirati vojne mogućnosti. U obrađenim studijama slučajeva spomenuta je "tiha" čičak-traka i borbeni avioni koje bi implementacijom strukturne obojenosti bili nevidljivi ali i okretniji uz pomoć tehnologije tuberkula na krilima. Različiti programi usmjerili su biomimetiku na razvoj novih materijala, platformi i sustava za povećanje spremnosti obrane (http://www.darpa.mil/Our_Work/DSO/Focus_Areas/Biology.aspx). Industrije na koje biomimetika ima značajan utjecaj zauzimaju skoro četvrtinu američkog BDP-a.



Slika 16: Graf prikazuje procjenu utjecaja biomimetike na industriju do 2025. (Preuzeto od Ataide, R.M, (2010.): Global biomimicry efforts-An economic game changer . The Fermanian Business & Economic Institute, San Diego)

6.3. Potencijalni ekonomski utjecaj biomimetike na SAD i svjetsku ekonomiju

Rješenja iz biomimetike obećavaju kroz rast novih aplikacija i tržišta, uz poboljšanje efikasnosti, tri glavna izvora pogodnosti, a to su gospodarske prednosti zbog poboljšane učinkovitosti, pozitivan utjecaj na poslove i pozitivan utjecaj na dobit. Utjecaj biomimetike na razne velike industrije djelovat će na ukupnu vrijednost finalnih dobara i usluga proizvedenih u nekoj državi ali i na zaposlenost.

6.3.1. Potencijalni utjecaj biomimetike na BDP SAD-a

Korištenje procjena tržišnih udjela razvijenih u prethodnom poglavlju za različite sektore i projekcija ukupne proizvodnje u idućih 15 godina, na robe i usluge bazirane na biomimetici bi otpalo oko 300 milijardi dolara od američkog BDP-a do 2025 (slika 17). Da bi ovu brojku stavili u perspektivu, 2010. godine je procijenjeno da su američka poduzeća potrošila 282

milijarde dolara na računalne softvere (Ataida, 2010). Procjenjuje se da će iz dobara i usluga američko gospodarstvo generirati 21 trilijun dolara do 2025. Iako biomimetika zauzima mali dio ona će i dalje imati vrlo značajan utjecaj koji će nastaviti rasti otkrivanjem i proširivanjem područja istraživanja.

6.3.2. Ublažavanja ekonomskih gubitaka

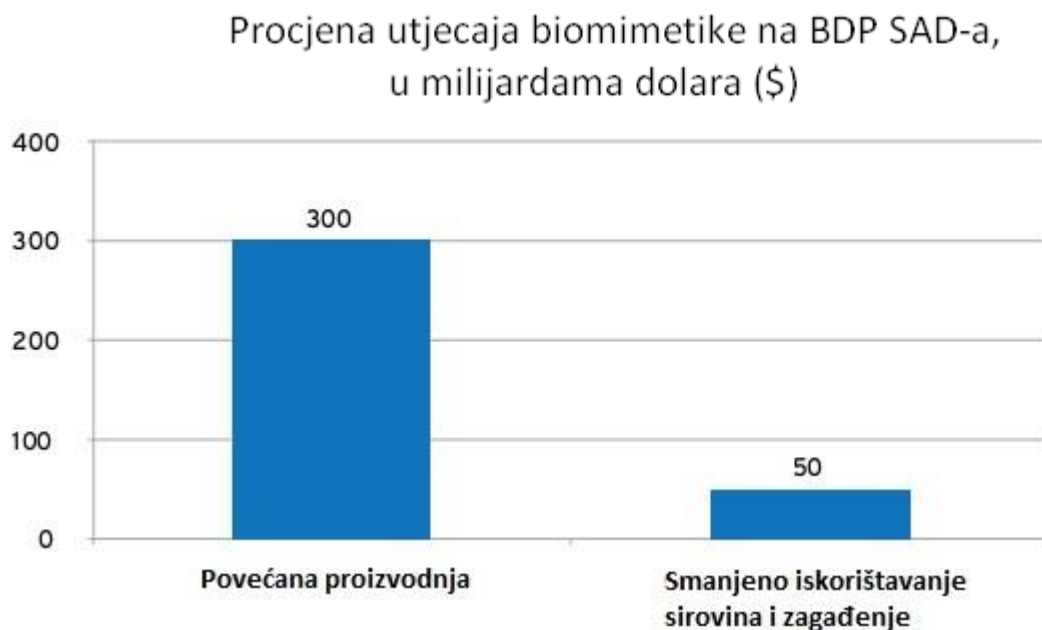
Biomimetika može smanjiti gospodarske gubitke zbog osiromašenja nacionalne energije, minerala, i šumskih resursa ali i od zagađenja CO₂. Pod pretpostavkom da će takvi gubici ostati blizu 2,36% američkog bruto nacionalnog dohotka, procijenila Svjetska banka za 2008., (<http://data.worldbank.org/sites/default/files/section4.pdf>) ti troškovi iznosili bi oko 514 milijardi dolara do 2025. Sposobnost da biomimetika smanji te troškove za oko deset posto mogla bi uprihoditi nacionalnom BDP-u oko 50 milijardi dolara.

6.3.3. Utjecaj na zapošljavanje

Broj radnih mjesta koje bi pružili proizvodi i usluge bazirani na biomimetici može biti znan, do 2025. Na temelju tržišnih udjela procijenjenih u prethodnom poglavlju i srodnih koeficijenata zapošljavanja, biomimetika bi mogla omogućiti oko 1,6 milijuna radnih mjesta u Americi do 2025. (Ataide, 2010). Neki od tih pozicija bi bile zamjene za starije proizvode i tehnologije, mnoge druge bi predstavljale cijela nova tržišta za dodatne i poboljšane proizvode i usluge. Biomimetika bi mogla bi pomoći SAD da kapitalizira svoj najveći potencijal - komparativnu prednost tehnologije i industrija utemeljenih na znanju.

6.3.4. Globalni utjecaj biomimetike na ukupnu svjetsku proizvodnju

Biomimetika bi se mogla brzo širiti na globalnoj razini. Poduzeća u Velikoj Britaniji, kontinentalnoj Europi (najviše Njemačka), Africi i Australiji su već aktivne na tom području. Pretpostavljen im je manji BDP udio od 1,0% nego udio od 1,4% obračunat za SAD (zbog manjeg broja dionica među manje tehnički naprednim zemljama), biomimetika bi mogla utjecati na oko 1 trilijuna dolara od ukupne svjetske proizvodnje do 2025. (Ataide, 2010).



Slika 17: Graf prikazuje procjenu utjecaja biomimetike na BDP SAD-a do 2025 (Preuzeto od Ataide, R.M., op. cit.)

6.4. Investiranje u biomimetiku

Biomimetika drži potencijal za privlačenje znatnog priljeva kapitala, potaknuta izgledima brzog rasta i visokom stopom povrata. Proizvodi nastali po principima biomimetike su prvotno nadahnuti održivim rješenjima iz prirode. No, motivacija ne dolazi samo iz fokusa na zelenim proizvodima i održivim sustavima. Sposobnost da se poboljša učinkovitost, stvore bolji proizvodi od onih dostupnih na tržištu, i njihova prodaja po nižim troškovima nego konkurentskih proizvoda govore o vrijednosti biomimetike.

6.4.1. Povratak ulaganja u biomimetiku

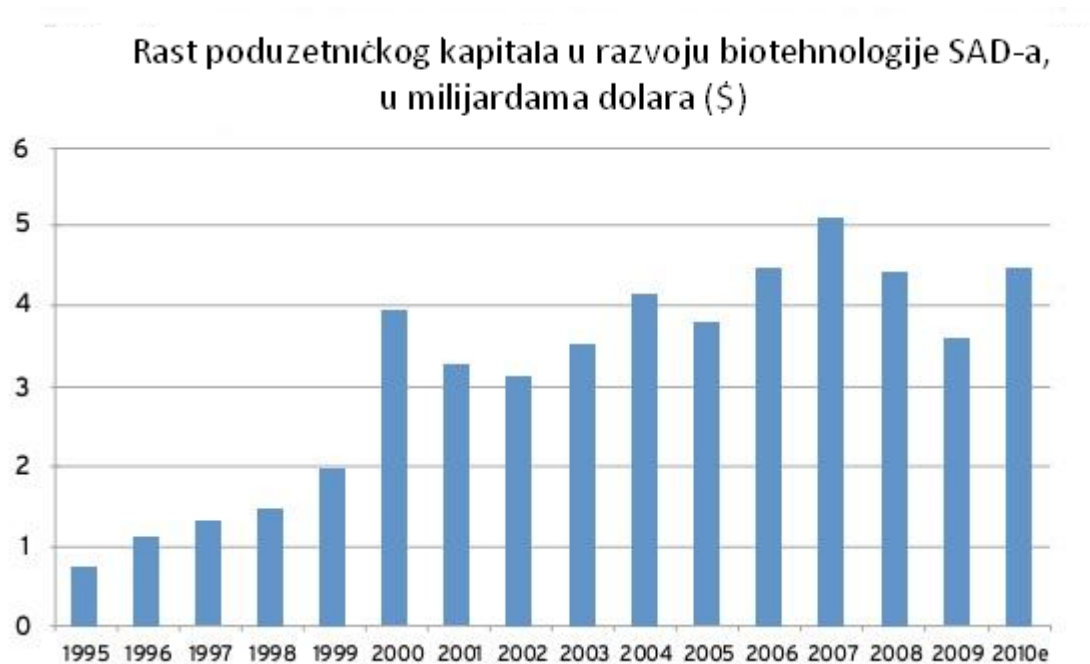
Iz svih navedenih studija slučaja u prethodnim poglavljima vidimo da poduzeća koja proizvode i plasiraju na tržište proizvode temeljene na biomimikriji (Velcro, Lotusan, Mirasol) imaju povećanje dobiti iz godine u godinu. Iako poduzeća nerado govore o rezultatima za pojedine proizvode (npr. WhalePower), povrati od 40-50% na novim proizvodima nadahnutim biomimetikom lako je ostvariv. Godišnje stope rasta prodaje od 75% do 100% u

prvim godinama su očekivane (Ataide, 2010). Ekonomije razmjera i prednosti vladajućeg tržišnog udjela trebale bi omogućiti prednosti kako proizvodnja bude rasla. Značajne zarade se ostvaruje iz naknada na licenciranje a dobar primjer je Qualcomm korporacija koja se fokusirala na inovacije i izradu nove tehnologije te od licenciranja istih ima značajne prihode.

6.4.2 Tokovi kapitala u biomimetiku i biotehnologiju

Poduzetnički kapital trebao bi pritjecati u biomimetiku jednakim tempom kao i za biotehnologiju (slika 18). Poduzetnički kapitalni fondovi za biotehnologiju procjenjuju se na 4,5 milijarde dolara u SAD-u za 2010. (www.nvca.org). Kako se kreditno tržište oporavlja, poduzetnički kapital bi trebao početi znatno više rasti u narednom desetljeću nakon snažnog pada u 2008. i 2009. U usporedbi s velikim zanimanjem za 'zelene tehnologije', biomimetika bi mogla ponuditi manje rizika jer se puno manje oslanja na moguće promjene propise (npr., mandati za alternativne izvore energije ili smanjene zagađenja), kao i oscilacije u subvencijama.

Povratak uloženog za proizvode bazirane na biomimetici može biti vrlo promjenjiv, osobito na tržištima na kojima kanali distribucije mogu raditi protiv novih proizvoda. Ipak, ulagači u potrazi za novim idejama i temama mogu usmjeriti povećanje kapitala na području biomimetike kako ono postaje poznatije.



Slika 18: Graf prikazuje rast poduzetničkog kapitala u biotehnologiji (Preuzeto od Ataide, R. M., op. cit.)

6.4.3. Načini investiranja u biomimetiku

Investitori mogu uložiti u biomimetiku na jedan od dva osnovana načina. Ulaganjem u istraživanja, konzultantske tvrtke ili organizacije koje proučavaju prirodu zbog mogućih ideja koje onda mogu koristiti za komercijalnu primjenu. Alternativno, može se uložiti u poduzeća ili grupu poduzeća koji imaju proizvode i/ili usluge nadahnute biomimetikom.

Investicijske opcije na temu biomimetike mogu uključivati: dionice pojedinih poduzeća, investicijske fondove nekoliko takvih tvrtki, i burzovne fondova (ETF-ove), koji imaju indeks kojim se prati izvedba niza poduzeća koji se bave biomimetikom (Ataide, 2010). Pojedini analitičari dionica, menadžeri investicijskih fondova, dizajneri burzovnog indeksa i javni ulagači morati će brzo učiti o biomimetici kako bi dobro investirali i trgovali.

6.4.4. Investicijski rizici u biomimetiku

Jedan od primjera investicijskog rizika je "dot-com" balon. Kombinacijom naglog povećanja cijena dionica, sigurnosti tržišta u buduće stvaranje profita novih dot-com poduzeća,

individualne spekulacija s dionicama i široko dostupan poduzetnički kapital stvorili su okruženje u kojem su mnogi ulagači previdjeli tradicionalne podatke kao što je omjer cijena i zarade (P/E omjer) u korist povjerenja u tehnološki napredak. Pucanja "dot-com" balona i neuspjeh nanotehnologije ukazuju na rizike s kojima bi se investicije u biomimetiku mogle susresti. Ipak, raznolikosti u širokom rasponu poduzeća s različitim vrstama proizvoda i rješenja, sugerira na značajnu korist od ove vrste ulaganja uz znatan potencijal povratka uloženog kapitala. Poboljšana učinkovitost i stvaranje konkurentnijih 'zelenih' proizvoda ide u prilog biomimetici kao potencijalno dobroj industriji za ulaganje.

7. Zaključak

U radu sam htjela pružiti širok pregled područja biomimetike te opisati i prikazati pretvorbu fizioloških i organizacijskih rješenja prirode u proizvode i usluge. Implementaciju i ekonomsku iskoristivost prikazala sam kroz odabrane primjere s osvrtom na povijest poduzeća koja su prva krenula sa inovacijskim procesom navedenih proizvoda u studijama slučaja.

Velcro Incorporated je pionir u razvoju čičak-trake koja je najpoznatiji primjer biomimetičkog proizvoda koji uključuje jača vlakna i višenamjenske materijale koji se primjenjuju od tenisica pa do space shuttle-ova. Velcro je primjer generičkog naziva proizvoda, što govori koliki je utjecaj korporacije. Korporacija se fokusirala samo na jedan proizvod, inovaciju i patentiranje raznih modificiranih čičak-traka koje se mogu primjenjivati skoro u svakoj industriji. Korporacija Velcro bilježi konstantan rast u broju inovacija, profitu, broju podružnica i broju zaposlenih. Najveći konkurenti su njegove bivše podružnice koje također bilježe konstantan rast (npr. Aplix).

Tajna lotus-efekta otkrivena je u Njemačkoj 1976. ali je iskorištena za industrijsku primjenu tek 1999. godine. Jedan od problema biomimetike koje sam uočila je upravo period koji je potreban da se od ideje iz prirode dođe do konkretnog proizvoda. Kod nekih je taj period kratak, tehnologiji tuberkula je bilo potrebno 3 godine, dok je za plasiranje premaza trebalo 23 godine. Upravo zbog ulaganja STO korporacije u intenzivna istraživanja stvoren je Lotusan®. Pošto ne postoji sličan proizvod na tržištu, prodaja Lotusana konstanto raste

ostvarujući značajne prihode. Korporacija STO je svjetski lider u proizvodnji fleksibilne žbuke i vanjskih izolacijskih sustava s naglaskom na inovacije i ekologiju. Lotusan je samo manji dio njihovog asortimana ali kroz sadašnju prodaju njihova očekivanja do 2025. su zauzimanje 50% cjelokupnog tržišta fasadnih boja. Princip lotus-efekta implementira se na crjepove, fasade, tekstil, automobile, brodove. Nevjerojatan raspon, a sve u svrhu samoočišćenja i odbijanja bakterija, plijesni i prljavštine. Upravo ga to svojstvo čini posebnim jer možda u početku s malo višom cijenom od konvencionalnih proizvoda odbija kupce, no dugoročno proizvodi s lotus-efektom su isplativiji jer ne zahtijevaju ponovno premazivanje ili čišćenje.

U slučaju strukturalne obojenosti razne su primjene, kao što su raznolike i inspiracije iz prirode (leptiri, ptice, kukci). Raspon primjene je od boja za automobile (ChromaFlair), kozmetike pa do elektronike. Upravo je primjena u elektronici pokazala koliko je biomimetika napredovala, od imitacije sjemenke čička pa do nanotehnologije. MEMS tehnologija koja je inspirirana strukturnom obojenošću leptira zaintrigirala je nekolicinu entuzijasta koji su osnovali poduzeće Iridigm, no zbog nedostatka kapitala nisu mogli usavršiti tehnologiju do kraja. Korporacijski div Qualcomm je tu uočio priliku i otkupio poduzeće. Obradila sam ovaj primjer jer dobro prikazuje još jedan problem biomimetike, kapital potreban za usavršavanje koncepta proizvoda koji sam uočila i kod Lotusana. Nažalost, uz najbolju ideju, bez investitora ona se ne može ostvariti a znanstvenik prodajom gubi pravo na licenciranje. Upravo prihod od različitih licenci, uključujući i Mirasol zaslone, Qualcommu pridonosi značajan kapital. Korporacija Qualcomm bilježi konstantan rast prihoda i inovacija i namjerava preusmjeriti fokus na ideje iz prirode jer u primjeru Mirasol-a su učinkovitija, konkurentnija i energetska isplativija.

U zadnjoj studiji slučaja htjela sam u rad uvrstiti morskog predstavnika ali i energetiku koju u prijašnjim slučajevima nisam obrađivala. Grbavi kit sa svojim tuberkulima bio je savršen primjer funkcionalno primjenjive energetike - tuberkuli, mali detalj koji mijenja strujanje fluida i pruža elisama višestruke prednosti. WhalePower Corporation je primjer male korporacije sa velikom idejom. Tehnologija tuberkuluma prikazuje 'brzi' prijelaz iz konceptualne faze do gotovog proizvoda (3 godine). Osnovana od tima stručnjaka u području aeronautike, biologije i ekonomije stvorili su savršen spoj, biomimetika u malom. Uz pomoć matičnih fakulteta gdje su radili, testirali su elise sa implementiranim modelom tubekula i

ostvarili svoj cilj. Napravili su elise koje troše 20% manje energije, 25% su učinkovitije i stvaraju manje buke. Licencirali su svoj izum i trenutačno su u pregovorima sa tvrtkama koje u imaju ventilatore u svojim uređajima. Od industrijskih stropnih ventilatora pa do onih u kompjuterima. Nažalost ne dijele izvješća o dobiti ali su napomenuli da ona raste u dvoznamenkastom postotku od 2009. godine.

Jedan od aspekata biomimetike je prepoznavanje važnosti zaštite vrsta od izumiranja, jer ukoliko izgubimo bioraznolikost prirode možda nikad više nećemo biti u mogućnosti proučavati rješenja koja bi dobili od nestalih vrsta. Nadahnuće prirodom očekuje se da će i dalje voditi do poboljšanja tehnologije i očekuje se da će se osjetiti njen utjecaj u svakom aspektu naših života. Neka od rješenja mogu se smatrati znanstvenom fantastikom što se tiče današnjih mogućnosti izvedbe, ali kao što smo mi poboljšali naše razumijevanje prirode i razvili bolje sposobnosti upravo zbog toga ta rješenja mogu postati realnost u bliskoj budućnosti.

8. Literatura

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., Walter, P. (2008): *Molecular biology of the cell*. Garland Science, New York.
- Altshuller, G. (1988): *Creativity as an Exact Science*. Gordon and Breach, New York.
- Anderson, J.D., (1998): *A History of Aerodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ataide, R.M, (2010): *Global biomimicry efforts-An economic game changer* . The Fermanian Business & Economic Institute, San Diego.
- Baeyer, H. C. (2000): The Lotus Effect. *The Sciences* 40: 12-15.
- Ball, P. (2012): Nature's Color Tricks. *Scientific American* 306: 74-79.
- Ball, P. (2002): Natural strategies for the molecular engineer. *Nanotechnology* 13: 15–28.
- Ball, P., (2009): *Flow*. Oxford University Press, Oxford.
- Bar-Cohen Y., (2005): *Biomimetics: Mimicking and being Inspired by Biology*. CRC Press Online.
- Bar-Cohen, Y. (2006): *Biomimetics: biologically inspired technologies*. Taylor & Francis, Boca Raton, Florida.
- Barthlott, W., Ehler, N. (1977): Raster-Elektronenmikroskopie der Epidermis-Oberflächen von Spermatophyten. *Tropische und subtropische Pflanzenwelt* 19: 110.
- Barthlott, W., Neinhuis, C. (2001): The lotus-effect: nature's model for self cleaning surfaces. *International Textile Bulletin* 1: 8-12.
- Belletire, S. (2005): A sustainable future, naturally: biomimicry. *Innovation (summer ed.): str.25-28*.
- Benbow, T. J. (1989): *The Oxford English Dictionary*, 2nd ed. Oxford University press, Oxford.
- Bensaude-Vincent, B., Arribart, H., Bouligand, Y., Sanchez, C., (2002): Chemists and the school of nature. *New Journal of Chemistry* 26(1): 1-5.
- Benyus, J.M., (1997): *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. HarperCollins, New York.
- Berger, M. (1978): *Bionics*. Franklin Watts, New York.
- Bhushan, B. (2007): *Springer handbook of nanotechnology*, 2nd ed.. Springer, Heidelberg, Germany.
- Bhushan, B. (2009): Biomimetic: lessons from nature-an overview. *Philosophical transactions of the Royal society* 367: 1445-1486.

Bhushan, B., Jung, Y. C., Koch, K. (2009): Micro-, nano-, and hierarchical structures for superhydrophobicity, self-cleaning and low adhesion. *Philosophical Transactions* 367(1894): 1631-72.

Boden, S.A., Bagnall, D.M. (2010): Optimization of moth-eye antireflection schemes for silicon solar cells. *Progress in Photovoltaics* 18 (3): 195-203.

Borelli, G.A., (1680): *De Motu Animalium Pars* (The Movement of Animals, prev. Maquet, P. (1989.)). Springer-Verlag, Berlin.

Canter, N. (2008): Humpback whales inspire new wind turbine technology. *Tech beat*.

Chakrabarti, A., Sarkar, P., Leelavathamma, B., Nataraju, B.S. (2005): A functional representation for aiding biomimetic and artificial inspiration of new ideas. *Artificial Intelligence for Engineering Design* 19: 113–132.

Clevenger, S. (2012): Qualcomm’s Earnings Rise for 4Q, Year. *Ttnews Online*

Collins, M. (2004): Design and nature II: comparing design in nature with science and engineering.

Cutkosky, M., Kim, S. (2009): Design and fabrication of multi-material structures for bioinspired robots. *Philosophical Transactions* 367(1894): 1799-1813.

Fish, F. (2008): Whalepower tubercle blade power performance test report. *Wind Energy Institute of Canada*.

Fish, F. E., Weber, P. W., Murray, M. M ., Laurens, E. H., (2011): The Tubercles on Humpback Whales’ Flippers: Application of Bio-Inspired Technology. *Integrative and Comparative Biology*, 51 (1): 203–213.

Fish, F.E. (2006): Limits of nature and advances of technology in marine systems: What does biomimetics have to offer to aquatic robots?. *Applied Bionics and Biomechanics* 3: 49-60.

Fish, F.E., Kocak, D.M. (2011): Biomimetics and Marine Tehnology: An Introduction. *Marine Tehnology Society Journal* 45: 8-13.

Foley, P. (2010): *Biomimicry, Innovation and Sustainability*. San Diego Zoo, San Diego.

Forbes, P. (2008): Self-Cleaning Materials. *Scientific American* 299 (2): 67-75.

Fratzl, P., Weinkamer, R. (2007): Nature’s hierarchical materials. *Progress in Material Science* 52: 1263–1334.

Freeman, A., Golden, B. (1997): *Why Didn't I Think of That: Bizarre Origins of Ingenious Inventions We Couldn't Live Without*. John Wiley, New York, str. 99-104.

Galusha, J. W., Richey, L. R., Gardner, J. S., Cha, J. N., Bart, M. H. (2008): Discovery of a diamond-based photonic crystal structure in beetle scales. *Physical Review E* 77 (5): 9-14

Gordon, J.E. (1976): *The New Science of Strong Materials, or Why You Don't Fall Through the Floor*. Pelican-Penguin, London, str. 1-287.

Grunwald, I., Rischka, K., Kast, S., Scheibel, T., Bargel, H. (2009): Mimicking biopolymers on a molecular scale: nano(bio)technology based on engineered proteins. *Philosophical Transactions* 367(1894):1727-47.

Hamilton, T. (2008): Whale-Inspired Wind Turbines. *MIT Tehnology Review*.

Harvey, F. (2009): Greener industries adding power to economy. *Financial Times*, London, str. 2.

Hein, C. K. (2009): *Systematische Untersuchungen zu metallischen Klettverbindungen*. Hieronymus Verlag, Munchen.

Holstein, A; Bright, C. (2006): Lotusan Paint. *Dwell Online* .

Hooke, R. (1665): *Micrographia*. Royal society, London.

Jones, T., Benson, M. (2002): *The Complete Idiot's Guide to NASA*. Alpha Book, Indianapolis, str. 130–132.

Kaplinsky, J. (2006): Biomimicry versus Humanism. *Architectural Design* 76(1): 66-71.

Kennedy, S. (2004): Biomimicry/biomimetics: general principles and practical examples. *The Science Creative Quarterly* 6.

Klein, K. (2009): A phenomenological interpretation of Biomimicry and its potential value for sustainable design. Thesis, Kansas State University, USA.

Kumph, J. M., Triantafyllou, M. S. (1998): A fast-starting and maneuvering vehicle, the Robopike. U: Meng, J.C.S. (ur.) *Proceedings of the International Symposium on Seawater Drag Reduction*. Newport, Rhode Island, str. 485-90.

Lafuma, A., Quere, D. (2003): Superhydrophobic states. *Nature Materials* 2 (7): 457-460.

Lai, S.C.S. (2003): *Mimicking nature: Physical basis and artificial synthesis of the Lotus effect*. Thesis. Universitet Leiden, Netherland.

Mann, S. (1995): *Biomimetic Materials Chemistry*. Wiley Online Library.

Matoničkin, I., Habdija, I., Primc-Habdija, B. (1999): *Beskralježnjaci - biologija viših avvertebrata*, Školska knjiga, Zagreb.

McKeag, T. (2009): How Termites Inspired Mick Pearce's Green Buildings. *GreenBiz*.

McNichol, T. (2002): Why 6-Legged Bots Rule. *Wired* 10.

McPhedran, R., McKenzie, D., Nicorovici, N. (2002): A Natural Photonic Crystal. University of Sydney School of Physics.

Meyers, M. A., Chen, P. Y., Lin, A. Y. M., Seki, Y. (2008): Biological materials: structure and mechanical properties. *Progress in Material Science* 53: 1–206.

Miklosovic, D.S., Murray, M.M., Howle, L.E., Fish, F.E. (2004): Leading-edge tubercles delay stall on humpback whale *Megaptera novaeangliae* flippers. *Physics of fluid* 16(5): 39-42.

Mone, G. (2007): Innovation Awards of New Velcro. *Popular Science*.

Morhard, C., Pacholski, C., Lehr, D., Brunner, R., Helgert, M., Sundermann, M., Spatz, J.P. (2010): Tailored antireflective biomimetic nanostructures for UV applications. *Nanotechnology* 21.

Muller, R., Hallam, J.C.T. (2004): From bat pinnae to sonar antennae: augmented obliquely truncated horns as a novel parametric shape model. U: Proceeding of the 8th International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior, Massachusetts, USA.

Nachtigall, W. (1974): *Biological Mechanisms of Attachment: the comparative morphology and bionengineering of organs for linkage*. Springer-Verlag, New York.

Neinhuis, C., Barthlott, W. (1997): Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces. *Annals of Botany* 79 (6): 667–677.

Nosonovsky, M., Bhushan, B. (2008): *Multiscale dissipative mechanisms and hierarchical surfaces: friction, superhydrophobicity, and biomimetics*. Springer, Heidelberg, Germany.

Papanek, V. (1984): *Design for the Real World, Human Ecology and Social Change*, 2nd ed. Thames and Hudson Ltd, London.

Parker, A.R., Martini, N. (2006): Structural colour in animals—simple to complex optics. *Optics & Laser Technology* 38 (4-6): 315-322.

Pavitt, J. (2008): *Fear and fashion in the Cold War*. Victoria & Albert Museum, London .

Porter, S. (1957): Your Money's Worth. *Syracuse Herald-Journal*, str. 21.

Reap, J., Baumeister, D., Bras, B. (2005): Holism, biomimicry and sustainable engineering. U: Proceedings of IMECE2005, Orlando, Florida.

Ressine, A., Marko-Varga, G., Laurell, T. (2007): Porous silicon protein microarray technology and ultra-/superhydrophobic states for improved bioanalytical readout. *Biotechnology Annual Review* 13: 149-200.

Robert, J. (1993): *Forks, Phonographs, and Hot Air Balloons: A Field Guide to Inventive Thinking*. Oxford University Press, Oxford, str. 157-160.

Romei, F. (2008): Leonardo Da Vinci. The Oliver Press, Minneapolis, str. 56.

Rozenburg, N., Eekels, J. (1995): Product Design: Fundamentals and Methods. Wiley, Chichester.

Schwarcz, J. A. (2003): Dr. Joe & What You Didn't Know: 99 Fascinating Questions About the Chemistry of Everyday Life. Ecw Press, Toronto, str. 178.

Solga, A., Cerman, Z., Striffler, B. F., Spaeth, M., Barthlott, W. (2007): The dream of staying clean: Lotus and biomimetic surfaces. *Bioinspiration & Biomimetics* 2: 1–9.

Stavenga, D.G. (2010): Dramatic colour changes in a bird of paradise caused by uniquely structured breast feather barbules. *U: Proceedings of the Royal Society B278*: 2098–2104.

Stephens, T. (2007): How a Swiss invention hooked a world. *Swissinfo*

Strauss, S. D. (2001): The Big Idea: How Business Innovators Get Great Ideas to Market. Kaplan Business, London, str. 15-18.

Suddath, C. (2010): A Brief History of: Velcro. *Time Magazine*.

Sukhdev, P. (2010): Special Report: Sustainable Business. *Financial Times*, London, str. 1-4.

Taubes, G. (2000): Biologists and engineers create a new generation of robots that imitate life. *Science* 288: 80-3.

van Nierop, E. A., Alben, S., Brenner, M. P. (2008): How Bumps on Whale Flippers Delay Stall: An Aerodynamic Model. *Physical Review Letters* 100 (5).

Villano, M. (2010): A Whale of an Idea. *Entrepreneur*

Vincent, J. (1990): *Structural Biomaterials*. Princeton University Press, Princeton

Vincent, J. F. V., (2001): Stealing Ideas from Nature. *U: Pellegrino, S. (ur.) Deployable structures*. Springer-Verlag, Vienna, str. 51-58.

Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., Pahl, A. K. (2006): Biomimetics: its practice and theory. *Journal of the Royal Society Interface* 3: 471–482.

Vogel, S. (1988): *Life's Devices: The Physical World of Animals and Plants*. Princeton University Press, Princeton.

Volstad, N.L., Boks, C. (2012): On the use of Biomimicry as a Useful Tool for the Industrial Designer. *Sustainable Development* 20: 189-199.

Vukušić, P. (1998): Iridescence in Lepidoptera. University of Exeter, Exeter, UK.

Vukušić, P. (2004): Natural Photonics. *Physics World* 17 (2): 35-39.

Vukušić, P., Sambles, J.R. (2003): Photonic Structures in Biology. *Nature* 424: 852-855.

Wahlgren, E. (2004): Worth Sticking with Velcro? Some Pros See the Famous-Named Fastener Outfit As a 'Classic Value Play' That May Be on the Verge of Being Taken Private. BusinessWeek Online.

Yablonovitch, E. (2001): Photonic Crystals: Semiconductors of Light. Scientific American, str. 46-55.

http://biomimicry.typepad.com/newsletter/files/biomimicry_newsletter_v4.1.pdf

<http://data.worldbank.org/sites/default/files/section4.pdf>

<http://data.worldbank.org/topic/environment>

<http://the-lotus-effect.wikispaces.com/Industrial+Applications>

<http://www.asknature.org/>

http://www.biomimicryguild.com/guild_badt.html

[http://www.connect.org/programs/connect-track/docs/050212-CONNECT-IR-Q4-11-FULLREPORT__Apr30\[1\].pdf](http://www.connect.org/programs/connect-track/docs/050212-CONNECT-IR-Q4-11-FULLREPORT__Apr30[1].pdf)

http://www.darpa.mil/Our_Work/DSO/Focus_Areas/Biology.aspx

<http://www.fluidearth.org/philosophy.htm>

<http://www.fundinguniverse.com/company-histories/velcro-industries-n-v-history/>

<http://www.jdsu.com/en-us/Custom-Color-Solutions/Products/chromaflair-pigment/Pages/default.aspx>

<http://www.mushroompackaging.com/>

http://www.paintpro.net/Articles/PP705/PP705_ProductProfiles.cfm

http://www.paxscientific.com/tech_bio.html

http://www.pointloma.edu/sites/default/files/filemanager/Fermanian_Business_Economic_Institute/Da_Vinci_Index_Presentation_2011_1st_and_2nd_Quarter.pdf

<http://www.qualcomm.com/about/history>

<http://www.qualcomm.com/mirasol/benefits>

http://www.sto.hr/17241_HR-Grupa_Sto-Grupa_Sto.htm

http://www.sto.hr/9952_HR-Tehni%C4%8Dki_%C4%8Dlanci_-_Fasada-StoLotusan.htm

<http://www.velcro.com/business/Company/Product-Development.aspx>

<http://www.velcro.com/en/About-Us.aspx>

<http://www.velcro.com/Legal-Privacy/Patents-and-Trademarks.aspx>

www.nvca.org