

ČESAR NE VIDIM, TEGA PAČ NI ZNANSTVENA ILUSTRACIJA KOT SINERGIJA MED ZNANOSTJO IN UMETNOSTJO

Tim Prezelj^{1 2 3}

Ključne besede:

vizualni modeli v znanosti,
znanstvena ilustracija za slepe in
slabovidne, znanost kot umetnost,
subjektivnost v znanosti, kognitivni
vidiki znanstvene ilustracije.

-
- 1 Znanstvenoraziskovalni center
Slovenske akademije znanosti in umetnosti
(ZRC SAZU), Biološki inštitut Jovana Hadžija
(Novi trg 2, 1000 Ljubljana).
 - 2 Univerza v Ljubljani, Pedagoška
fakulteta (UL PEF) (Kardeljeva ploščad 16,
1000 Ljubljana).
 - 3 Podiplomska šola ZRC SAZU
(Novi trg 2, 1000 Ljubljana).

Povzetek

Napredek v kognitivni znanosti v zadnjih letih hitro širi naše razumevanje umetniškega ustvarjanja, a razvoj znanosti je že od začetkov usmerjala umetnost, zlasti znanstvena ilustracija. To je posebej izrazito v biologiji in kemiji, ki si je brez vizualnih modelov, kot sta struktura atoma in molekul, sploh ne moremo predstavljati. Podobno velik del biologije sloni na načelu, da struktura (odvisna od oblike) pogojuje funkcijo. Odvisnost področja od vizualne zasnove znanstvenih modelov pa ne zaznamuje močno le našega strokovnega razumevanja temeljnih naravoslovnih konceptov, temveč predstavlja velik izziv tudi pri posredovanju znanja slepim in slabovidnim, zlasti tistim s prirojenimi težavami, ki težje oblikujejo normativno sprejete miselne predstave abstraktnih konceptov. Ti sami po sebi nimajo vidne podobe, njihova vizualna reprezentacija pa je torej lahko zgolj model oz. prikaz, ki usmerja razumevanje in lahko zaradi narave vizualne percepcije deluje tudi zavajajoče. V tem smislu smo vsi »slepi« za določene vidike resničnosti, le da se to kaže na različne načine. Razvoj vizualizacij za slepe in slabovidne je torej ključen, saj lahko prav ti ljudje osvetlijo nove vidike znanstvenih konceptov, ki jih videči morda spregledamo.

POMEN ZNANSTVENEGA PRISTOPA PRI RAZISKOVANJU UMETNOSTI

Čeprav se zdi, da ima vizualna reprezentacija v znanosti zgolj podporno vlogo upodobljevalca sicer skrajno objektivnih dognanj, še zdaleč ni tako. Vizualna umetnost oz. natančneje znanstvena ilustracija ne samo upodablja, temveč tudi pomembno usmerja naše razumevanje posameznih znanstvenih konceptov in smeri. Čeprav sta bili umetnost in znanost v preteklosti in sta še vedno bolj kot ne ločena svetova, pa se vsaj v svojem teoretskem oz. filozofskem jedru verjetno najbolj zblížata v kontekstu eksperimentalne estetike, utemeljitelj katere je nemški filozof, fizik in eksperimentalni psiholog iz 19. stoletja, Gustav Theodor Fechner (1801–1887). Eksperimentalno-znanstveno je proučeval posameznikovo izkušnjo in vedênje, ki sta se razvila kot posledica izpostavitve umetniškim delom. S tem je prvotno sicer filozofsko področje premaknil v polje naravoslovnih empirično merljivih znanosti tako konceptualno kot tudi metodološko (Berlyne, 1974).

V 20. stoletju se je eksperimentalna estetika razvijala predvsem v smeri kognitivne psihologije in nevroznanosti. Novodobni potomki tega interdisciplinarnega področja sta psiho- in nevroestetika, ki s pomočjo nevrobioloških eksperimentov skušata raziskati percepcijo, ustvarjanje in odziv posameznika_ce na umetnost. Zanimajo ju tudi interakcije ljudi (in ostalih živali) z objekti in prizori, ki v nas sprožijo intenzivne, raznovrstne občutke, povezane z estetsko presojo in ustvarjalnostjo. Gre za izrazito transdisciplinarno področje, ki postaja vedno bolj pomembno tudi znotraj drugih disciplin, kot sta pedagogika in medicina (Skov idr., 2018; Chatterjee in Vartanian, 2014). Za utemeljitelja nevroestetike velja britanski nevrobiolog Semir Zeki, ki umetnost dojema kot primer raznolikosti med možgani posameznikov. Ugotavljanje virov te raznolikosti nam med drugim omogočajo prav nevrološki pristopi, uporabni tudi pri iskanju mehanizmov, ki nam omogočajo ustvarjanje in doživljanje umetnosti (Zeki, 1999, 2001 in 2002). Profesor Zeki trdi celo, da gre pri umetniškem ustvarjanju pravzaprav za alternativen način raziskovanja možganov. V eni od svojih objav trdi sledeče:

»Umetnik v nekem smislu kot nevroznanstvenik raziskuje potencial in zmogljivost možganov, le z drugačnimi orodji. Kako nam umetniška dela vzbujajo estetsko izkušnjo, lahko v polnosti razumemo le s pomočjo nevrologije. S sodobnimi nevrobiološkimi tehnikami in orodji pa je tovrstno razumevanje danes že na dosegu roke.« (prevod angleškega izvirnika: Miller in Miller, V: Shimamura in Palmer, 2012, 357)

POMEN SUBJEKTIVNOSTI IN ESTETSKIH NAČEL V ZNANOSTI

S tem se sprva sicer izrazito teoretično filozofsko področje estetike popolnoma zlije z eksperimentalnim znanstvenim področjem (nevro)biologije. S te perspektive se v nevroestetiki neposredno združita dve, na videz ločeni filozofski disciplini, estetika in filozofija znanosti, ki pa se v teoriji srečata predvsem pri vprašanju, do kakšne mere je (lahko) stvarnost objektivna oz. predmet subjektivne predstave posameznika na drugi strani (Nagel, 1974). Pri opredeljevanju tega problema sta bila vsaj z vidika filozofije in teorije znanosti ključna sodobnika Thomas Samuel Kuhn (1922–1996) in Karl Raimund Popper (1902–1994). Prvi je razvoj znanosti opredelil skozi sosledje majhnih revolucionarnih sprememb, prek katerih se postopoma rušijo obstoječe paradigme in vzpostavljajo nove. Za znanstvene revolucije so po Kuhnu pomembnejši psihološki in socialni dejavniki in precej manj znanstveno izkustvo, znanje in argumenti (Kuhn, 2012). Iz tega sledi, da sta znanstveni razvoj in njegova zgodovina močno odvisna od subjektivnih dejavnikov. Popper pa je s svojo teorijo kritičnega racionalizma, ki nasprotuje prej uveljavljenemu načelu dokazljivosti, popolnoma spremenil smer razvoja znanosti. Znanstveno metodo je utemeljil na načelu ovrgljivosti, ki zavzema stališče, da teorija znotraj eksperimentalnih, posebej empiričnih ved, ne more biti potrjena, temveč je lahko zgolj ovržena. S tega stališča so pomembne izključno le ovrgljive znanstvene teorije in dognanja (Popper, 2012 in 2014), s čimer je dokončno potrdil dinamično naravo znanosti in pomen alternativnih interpretacij.

Na osnovi teorije kritičnega racionalizma je pozneje avstrijski filozof Paul Karl Feyerabend (1924–1994) kot prvi znanost teoretično neposredno postavil v kontekst umetnosti, ko je filozofijo znanosti umestil v polje estetike. Če nevroestetika vnaša znanstveno metodo v proučevanje umetnosti, pa Feyerbandov model ravno obratno izpostavlja pomen estetskih načel v znanosti (Feyerabend, 2008, 93–95).

O ozadju stičišč ter poenotenju umetnosti in znanosti so v preteklosti in nedavno razmišljali tudi nekateri slovenski intelektualci. Položaj povezanosti znanosti in umetnosti je zelo dobro opisal slovenski fizik in pedagog Gorazd Planinšič:

»Razširjen pogled na znanost in umetnost je, da je znanost razumska, objektivna in neosebna, umetnost pa subjektivna in povezana s čustvi; da znanstvene teorije izhajajo neposredno iz opazovanj fizičnega, resničnega sveta, umetnost pa je izražanje človeškega uma in čustev. Takšno gledanje je seveda napačno. /.../ Umetnost in naravoslovna znanost sta dva načina gledanja na svet. Obe področji zahtevata stalno primerjavo in preverjanje realnega sveta okrog nas z mentalno sliko, predstavami in idejami, ki jih oblikujemo v naših mislih. Za obe je posebnega pomena sposobnost zaznavanja, opazovanja, posebej pa interpretacije in ustvarjanja novih miselnih slik. Za obe področji je ključnega pomena eksperiment, čeprav nastopa v različnih vlogah. V naravoslovni znanosti je eksperiment tisti, ki teorijo nenehno vrača na realna tla, v umetnosti pa spodbuja razvoj novih načinov izražanja.«

(Planinšič, 2008, 150,
po Campbell, 2004 in Trstenjak, 1981)

Z vidika predstavljene teorije, konceptualno sicer iz različnega izhodiščnega položaja in posledično metodološkega pristopa, torej tako znanosti kot umetnosti, svet raziskujeta eksperimentalno. V (naravoslovni) znanosti, kamor uvrščamo tudi biologijo, eksperimentalne pristope grobo razdelimo v dve skupini. Najpogoste-

je znanstveno raziskovanje vključuje čim natančneje *nadzorovane eksperimente*, ki so večinoma izvedeni v za to prilagojenem okolju, t. i. laboratoriju. Ta v povezavi z umetnostjo predstavlja neke vrste znanstveni atelje oz. studio, alternativa kateremu je ustvarjanje na prostem oz. t. i. *en plein air*, kjer je umetnik_ca in njegovo_no ustvarjanje izpostavljen_a nepredvidljivim naravnim okoliščinam. V kontekstu znanosti je to *naravni eksperiment*, ki vključuje predvsem opazovanje in opisovanje stanja, večinoma naravnega okolja. V preteklosti je opisovanje pojavov na tej podlagi že večkrat doživeło svoj razcvet; nazadnje v 20. stoletju pod vplivom filozofije logičnega empirizma. Ta zagovarja, da nam logično povezovanje informacij, ki jih pridobimo s čutili, daje pravilno predstavo o stvarnosti (Bogen, 2009). Z dilemami in zgodovinsko dinamiko logičnega empirizma v znanosti in umetnosti se je v svojem delu *Znanost kot umetnost* (*Wissenschaft als Kunst*, 1984) ukvarjal tudi Feyerabend. Pri tem se je naslonil predvsem na omejenost oz. površinskost ideje čim natančnejšega odslikavanja samega stanja stvari (t. i. teorije mimezis) oz. zgolj telesno manifestacijo idej. V kontekstu umetnosti je tovrsten pristop v 10. knjigi svoje *Države* kritiziral že Platon (Feyerabend, 2008, 95). Izvorna ideja natančnega prikazovanja stvarnosti v mediju misli, brez kakršnega koli dodajanja s strani avtorja, je značilna tako za umetnosti kot tudi znanosti. Prvim se je od nje uspelo uspešno distancirati, medtem ko je v znanostih mestoma še vedno močno prisotna, čeprav je tudi tu seveda opaziti velike spremembe. Ustvarjalnost vedno bolj stopa v ospredje tudi na področju znanstvenega dela, pomembnih znanstvenih spoznanj pa ne pripisujemo več zgolj strogemu sledenju znanstvenih postopkov, temveč predvsem drznim prebliskom znanstvenikov, saj, kot pravi Feyerabend:

»/.../ velika znanost ni zelo različna od velike umetnosti. V obeh primerih so seveda potrebna strokovna znanja. Toda potrebne so tudi ustvarjalne ideje, to je niti znanstveniku niti umetniku ni treba zatajiti svoje osebnosti, temveč jo lahko s pridom uporabi pri svojih raziskavah.«

(Feyerabend, 2008, 101–103)

Rezultat znanstvenega dela so torej teorije, s pomočjo katerih razlagamo znanstveni pogled na stvarnost, ta pa lahko skladno s Poperjevo teorijo znanstvenih revolucij vodi v napredek le, če se sčasoma spreminja, ne pa zgolj raste oz. dodaja, kot to slikovito povzame misel »kamena doba se ni končala, ker bi zmanjkalo kamnov« (The Economist, 1999, 59). Če novih teorij njihovi avtorji in zagovorniki ne bi skušali predstaviti strokovni in splošni javnosti, bi znanost služila zgolj sama sebi, kot nekakšen »znanstveni larpurlartizem«. Pomen predstavljanja znanstvenih dognanj, ki se ne more izogniti subjektivnosti, v enem od svojih zapisov poudarjata tudi Miran Možina in Urban Kordeš:

»Resničnost in spoznavanje sta krožno povezana in nas vedno vodita k določenemu človeku ali ljudem v določen prostor in čas, v poseben svet.« (Možina in Kordeš, 1998, 228–229) »Naša prepričanja zagovarjamo skozi družbeni proces konverzacije, v kateri poskušamo druge prepričati v to, kar sami verjame-mo. Razumeti naravo človeškega spozna(va)nja pomeni razumeti spozna(va)nje kot opravičevanje, zagovarjanje našega prepričanja, ne pa vse točnejšo reprezentacijo Resničnosti.«

(Možina in Kordeš, 1998, 238)

BLAGOSLOV IN PREKLETSTVO MODELOV V ZNANOSTI

Dognanja in ugotovitve zato interpretiramo s pomočjo modelov (Frigg in Hartmann, 2006; Van Fraassen, 2010) oz. kot pravi vsestranska slovenska raziskovalka in univerzitetna profesorica Milica Kač:

»/.../ seveda udobno pozabimo, da gre samo za model in pogosto ne za ›Ding an sich‹ (stvar samo po sebi). To se nam seveda prej ali slej maščuje /.../. Naravoslovje je pač opazovanje in raziskovanje narave, ki ji je kaj malo mar, če imamo na voljo primeren model ali ne. Prva dolžnost naravoslovca je torej priznati model. Njegova druga dolžnost pa je spoznati model in zelo resno in z vso odgovornostjo sprejeti njegove omejitve. /.../«

(Kač; V: Raspor (ur.), 2013, 353).

Zato se moramo zavedati, da smo kljub prizadevanjem za spoznavanje objektivne resničnosti še vedno odvisni od subjektivnih predstav, ki so omejene z našimi individualnimi preteklimi izkušnjami in kognitivno shemo. Posledično to pomeni, da bo vsak model, ne glede na to, kako ozko ga opredelimo, vedno do neke mere nejasen. Nejasen koncept (angl. *fuzzy concept*) opredeljuje idejo, katere pomen se lahko znatno spreminja glede na kontekst ali pogoje uporabe. Tak koncept je objektivno pomensko nejasen, vendar lahko zaradi določljivega pomena, ki ga lahko natančneje opredelimo s podrobnejšo razlago in določitvijo konteksta uporabe, daje občutek eksaktnosti (Behlohlavek in Klir, 2011). Preučevanje značilnosti nejasnih konceptov in jezika obravnava področje t. i. »fuzzy« semantike (Zadeh, 1971).

Za lažjo predstavo vzemimo primer drevesa, ki ga *Slovar slovenskega knjižnega jezika* (v nadaljevanju SSKJ) razlaga kot »lesnato rastlino z deblom in vejami«. Tak opis v praksi zajema številne podobne, a raznolike entitete – med drevesa tako na primer prištevamo smreko in bukev, ki pa se med seboj močno razlikujeta po številnih lastnostih. Če se torej omejimo zgolj na smreko, SSKJ njen opis zoži na »iglasto drevo s temno zelenimi koničastimi iglicami, visečimi storži in rdečkasto rjavo razpokano skorjo«. S tem sicer ožimo pomen, a hkrati ohranimo dobršen del nejasnosti; ta se zgolj premakne iz splošnih značilnosti, kot so listi ali iglice, na bolj specifične lastnosti, denimo obliko ali vrsto iglic. Če se torej več oseb pogovarja o drevesu ali celo o točno določeni smreki, si bo vsak subjekt pogovora v mislih ustvaril in operiral s svojo edinstveno podobo objekta, ne glede na to, kako ozko je ta podoba formalno opredeljena (de Saussure, 2018). Podoba, ki si jo posamezna oseba ustvari ob določenem pojmu, je predvsem prostorsko-časovno in socio-kulturno pogojena – torej odvisna od njenega kognitivnega ozadja. To pomeni, da se lahko objektivnosti najbolj približamo oziroma »fuzzy« koncept naredimo bolj »crisp« (tj. jasno opredeljen) le s kombinacijo natančnega opredeljevanja in poznavanja ter upoštevanja kognitivnega ozadja deležnikov_ic (Reiss in Sprenger, 2020).

Pri bolj oprijemljivih pojmi, kot je primer drevesa, je fenomen nejasnosti manj izrazit, v znanosti pa pogosto obravnavamo izrazito abstraktne koncepte, katerih modeli lahko temeljijo edinole na analogijah z bolj oprijemljivimi pojmi, kar pa v že sicer kognitivno pogojeno razumevanje posameznih pojmov vnaša dodatno nejasnost oziroma variabilnost pri usklajevanju razumevanja abstraktnih pojmov med posameznimi deležniki (Reiss in Sprenger, 2020).

POMEN ZNANSTVENE ILUSTRACIJE IN VIZUALNIH MODELOV PRI RAZUMEVANJU ZNANSTVENIH KONCEPTOV

Ljudje se izmed vseh čutil najbolj opiramo predvsem na vid. Ta dominira tudi v polju znanstvenega raziskovanja, kjer pogosto zasledimo parolo »*seeing is believing*«, zato se vsaj tradicionalno znanost najtesneje prepleta z vizualno umetnostjo, ki zajema skupino umetniških zvrsti, pri čemer se te prav tako opirajo predvsem na vid (Jenks, 2002). Poznamo še kopico drugih umetniških zvrsti, ki jih zaznavamo s pomočjo drugih čutil. Tako je glasba vezana na sluh, literarne umetnosti pa predvsem na kognitivne procese, povezane z abstraktnim mišljenjem (Bacci in Melcher, 2011). V zadnjem času se s kombiniranjem različnih umetniških zvrsti in razvojem novih tehnik, materialov in izraznih možnosti pojavljajo tudi številne alternativne oblike ustvarjanja. Te tvorijo svoja področja novodobnih vizualnih umetnosti, med katerimi je morda najbolj izpostavljena fotografija, pa tudi umetnost instalacije, videa in drugih novih medijev (Brakeley in Sam, 1979), ki počasi, a vztrajno prodirajo tudi v polje znanstvene ilustracije, saj razširjajo okvir izraznih možnosti in interpretacije. S tem namreč izkoriščajo veččutni potencial človeka in bolj celostno ter vključujoče približajo posamezne koncepte širši populaciji. Pomen vizualizacije, tolmačenja in razširjanja znanstvenih dognanj je opazil in v svoji razpravi poudaril tudi Gorazd Planinšič:

»Znanost potrebuje umetnost pri posredovanju dosežkov strokovni in laični javnosti. V današnjem času posredovanje znanstvenih dosežkov /.../ vse bolj sloni na vizualnem komuniciranju (slika, karikatura, film, računalniška simulacija in animacija), ki je lahko uspešnejše ob poznavanju in upoštevanju osnovnih oblikovalskih načel.«

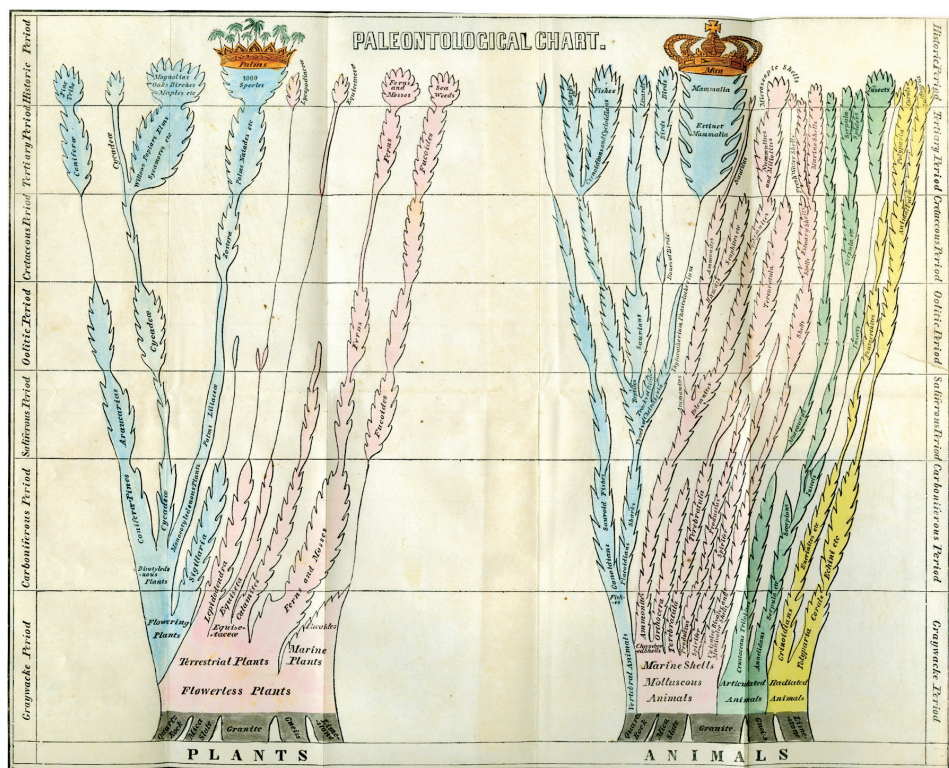
(Planinšič, 2008, 151)

Kar trdi Gorazd Planinšič v zgornjem odstavku, je v obravnavanem kontekstu zelo pomembno. Posredovanje znanstvenih dosežkov je pravzaprav že od nekdaj močno slonelo na vizualni komunikaciji. Ta vpliva tudi na naše (podzavestno) razumevanje koncepta, ki nam ga avtor skozi sliko predstavlja, ter še bolj na njegovo umestitev v širši kontekst znanstvenega kanona (Heil, 1983). Ker pa gre pri odnosu znanosti in umetnosti za medsebojno podporo oz. »simbiozo«, je jasno, da tudi umetnost potrebuje znanost za svoj razvoj (Planinšič, 2008, 151). Napačno sklepanje, v katerega nas pri tem pogosto zanese, pa je predvsem površinsko enosmerno razumevanje te soodvisnosti, češ da umetnost zgolj poveča dodano vrednost znanosti, sama pa je od slednje tudi materialno popolnoma odvisna, saj ji zagotavlja orodja in material za materializacijo idej. Napaka tovrstnega pogleda je seveda v tem, da pozablja, da je znanost odvisna od umetnosti na ravni idej, ki nato vodijo v razvoj tehnologije, od katere lahko nato profitira tudi umetnost. Vprašanje je torej podobno dilemi, »kaj omogoča obstoj česa – kokoš jajcu ali obratno«.

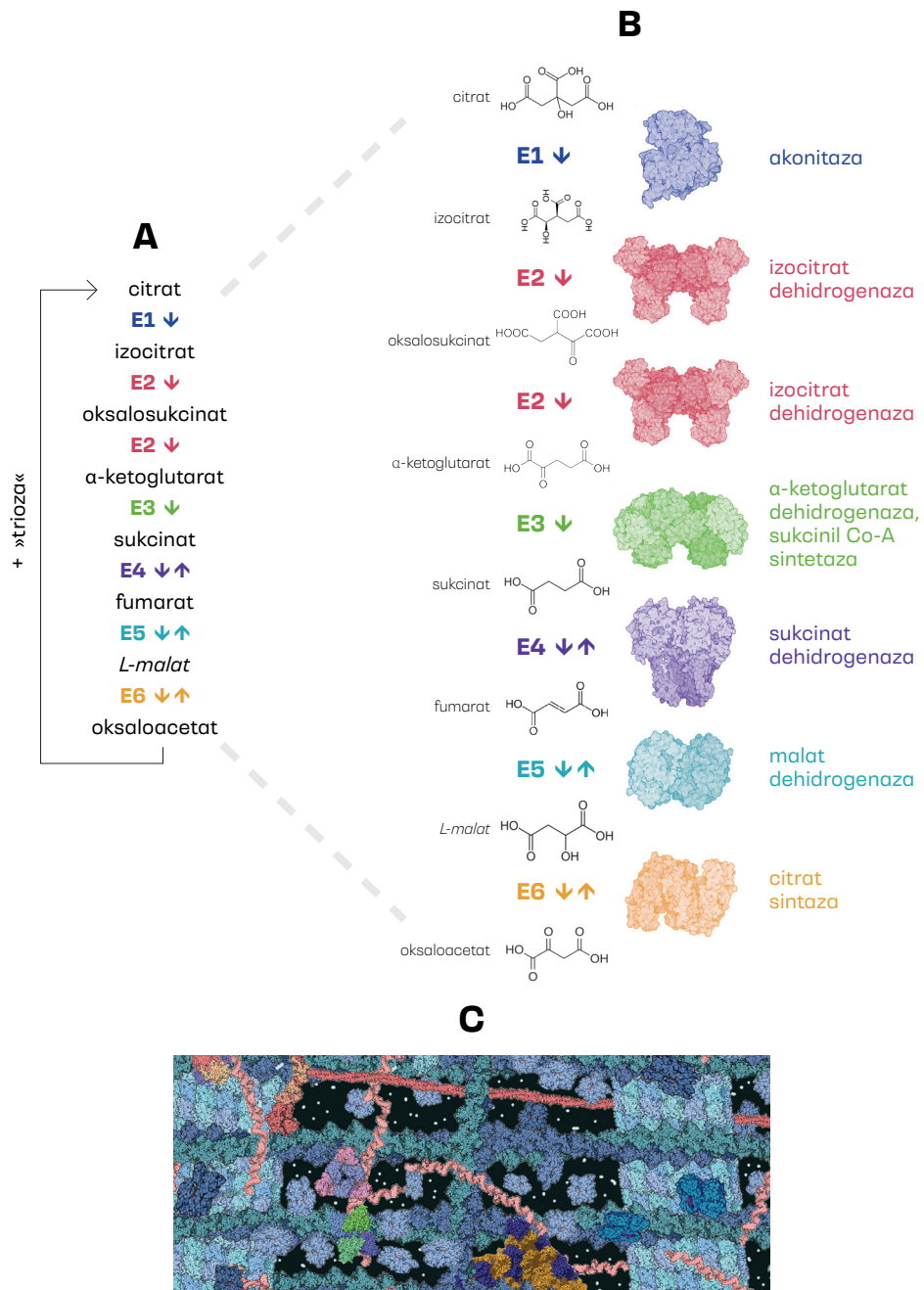
Glede na naravo modelov, na katerih temeljijo posamezna naravoslovna znanstvena področja, jih lahko razdelimo v dve večji skupini. Prva zajema področja, kot sta matematika in fizika, ki se večinoma opirajo na abstraktne modele, za razumevanje katerih njihova vizualizacija ni nujno potrebna. Po drugi strani pa na primer kemija in biologija skoraj izključno slonita na vizualnih modelih. Celoten kontekstualni okvir kemije in biologije namreč temelji na strukturi atoma, posledično molekul, ter bioloških elementov na različnih

organizacijskih ravneh (od molekularnega, celičnega, tkivnega, organskega do organizemskega in nenazadnje ekološkega) (Kozma in Russell, 2005).

Struktura in geometrija teh elementov pogojujeta tako njihovo estetiko (torej obliko) kot tudi funkcijo, zato v biologiji prepoznamo osnovne vzorce oblik. Ti vzorci se pojavljajo v različnih kontekstih, njihova kombinacija pa ustvarja raznolikost živih bitij (Siber in Zierherl, 2017). Eden najstarejših in v naravi najširše zastopanih geometrijskih vzorcev je Fibonaccijevo zaporedje, ki ga je že leta 1202 odkril italijanski matematik Leonardo Fibonacci (pribl. 1170–1240). Fibonaccijevo zaporedje je zaporedje, pri katerem je vsak naslednji člen seštevek prejšnjih dveh členov ($F_0 = 0$, $F_1 = 1$; $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$ for $n > 1$). S pomočjo njegovega vzorca je mogoče pojasniti večino bioloških spiralnih struktur (Al-Suwaiyel idr., 2006). Belgijski fizik Joseph Plateau (1801–1883) je s proučevanjem milnih mehurčkov in pene rešil matematični problem robnih pogojev z iskanjem najmanjše površine, ki jo ima ploskev, napeta na dan obris v prostoru (Neimark in Vignes-Adler, 1995), kar je ključno predvsem za razumevanje oblike sesilnih vodnih organizmov. Nemški psiholog Adolf Zeising (1810–1876) je ugotovil, da so posamezni elementi teles živih organizmov urejeni v zlatem rezu (Zeising, 1855). Leta 1952 je britanski matematik Alan Turing (1912–1954) izdal knjigo z naslovom *Kemične osnove morfogeneze* (*The Chemical Basis of Morphogenesis*). V njej je predstavil analizo mehanizmov, potrebnih za tvorbo vzorcev v živih organizmih med procesom morfogeneze. Predpostavil je nihanje kemijskih procesov, natančneje reakcijo Belousov-Zhabotinskyja. Reakcije, pri katerih prihaja do nihanj med inhibicijo in aktivacijo, v živem svetu privedejo do tvorbe različnih pikčastih, črtastih in spiralnih vzorcev. S tem je matematik pojasnil obliko rasti večine rastlinskih rozet in vzorcev na površini živalske kože (zebrine proge, dalmatinčeve pike itd.) (Turing, 1990). Leta 1968 je madžarski teoretski biolog Aristid Lindenmayer (1925–1989) nato razvil t. i. L-sistem, s katerim je pojasnil fraktalne vzorce rasti rastlin. L-sistem predstavlja abecedo simbolov, ki jih lahko med seboj sestavljamo s pomočjo produkcijskih pravil, s čimer nadgrajujemo niz simbolov, le-te pa pretvarjamo v geometrijske vzorce (Iannaccone in Khokha, 1996).



Slika 1: Edward Hitchcock – Grafični prikaz sistema življenja, t. i. *paleontological chart*, s človekom na vrhu kot »krono stvarstva« na zložljivem listu iz dela *Elementarna geologija* (*Elementary geology*), 1840. (Vir: Wikipedia, CC)



Slika 2: Prikaz oz. model cikla citronske kisline.

A Prvi objavljen diagram cikla citronske kisline, narejen na podlagi članka Hansa Adolfa Krebsa in Williama Arthurja Johnsona leta 1937 (Krebs in Johnson, 1937).

B Reprezentativnejši model s prikazom struktur posameznih encimov, ki se skrivajo za puščicami, in organskih kislin.

C Model, ki skuša realneje prikazati stanje v notranjosti celice, ki je natrpana z različnimi delci, pri čemer ti med seboj niso (nujno) mehansko povezani.

Iz teh primerov lahko zaključimo, da kemijske in biološke procese s pomočjo abstraktnih matematičnih in fizikalnih modelov pogosto prevajamo v strukturno neodvisne (jezikovne) oblike, vendar pa je njihovo razumevanje odvisno predvsem od izpostavitve in poznavanja osnovnih strukturnih, vizualnih modelov. Geometrija bioloških oblik tako predstavlja eno najtesnejših stičišč med biološko znanostjo in umetnostjo. V nadaljevanju si podrobneje oglejmo dva abstraktnejša primera, ki še jasneje kažeta, kako lahko zanemarjanje pomena vizualnega prikaza vpliva na našo predstavo o stvarnosti.

PRIMER PROBLEMA VIZUALIZACIJE RAZVRŠČANJA ORGANIZMOV V SISTEM – T. I. DREVO ŽIVLJENJA

Človek je imel že od nekdaj težnjo po sistematizaciji. V biologiji se je iz nje rodila poddisciplina, ki jo imenujemo sistematika in se ukvarja z razvrščanjem živih organizmov v sistem. Številni naravoslovci to še vedno počnejo z umeščanjem organizmov na t. i. »drevo življenja«. Organizmi so v takem drevesu nanizani v navpični kompoziciji, skladno z analogijo rasti drevesa. Različne interpretacije »drevesa življenja« praviloma človeka venomer postavijo na najvišjo vejo. To je storil tudi ameriški geolog Edward Hitchcock (1793–1864) v svojem delu *Elementarna geologija* (*Elementary geology*) leta 1840, ki velja za enega prvih prikazov ideje o sorodstveni povezanosti različnih recentnih organizmov. Človekov položaj je še dodatno biblično poudaril s krono (Slika 1), kar je v skladu s svetopisemskim odlomkom iz Geneze (1 Mz 1,27-28).

Takšni vrednostno zasnovani hierarhični prikazi ureditve življenja na Zemlji so pozneje ob pomoči še nekaterih drugih okoliščin vodili v biološki antropocentrizem, katerega posledice so vidne še danes (Hitchcock, 1856). Ljudje v zahodnih kulturah navpično urejene sisteme namreč povezujemo s hierarhijo, vodoravno os pa asociiramo z enakovrednostjo. Izrazito pokončno usmerjena kompozicija torej implicitno sporoča, da so vrste, prikazane višje v drevesu, bolj razvite, pomembnejše oz. nadrejene tistim, ki so nižje v »krošnji« drevesa.

PRIMER PROBLEMA VIZUALIZACIJE BIOKEMIJSKIH PROCESOV

Sodobnejši primer prezira pomena slikovne interpretacije pa lahko najdemo v biokemiji in molekularni biologiji. V obeh znanstvenih disciplinah si pri vizualizaciji pogosto pomagamo s shemami reakcij, ki potekajo v živih sistemih. Te katalizirajo encimi in so največkrat prikazani kot veriga oz. sklop, ki lahko tvori metabolno pot, cikel ali spiralo (Nelson and Cox, 2009). V tovrstnih prikazih je videti, kot da reakcije (ali kar encimi) posamezne molekule povezujejo v sklenjeno verižico. Med bolj znanimi tovrstnimi metabolnimi procesi je cikel citronske kisline ([Slika 2](#)). Na poti do njegovega odkritja sta bili za dosežke na tem področju podeljeni kar dve Nobelovi nagradi za fiziologijo ali medicino, in sicer najprej Albertu Szent-Györgyi (1893–1986) leta 1937 za raziskave v povezavi s fumarno kislino, nato pa še Hansu Adolfu Krebsu (1900–1981), ki je leta 1937 ob pomoči svojega doktorskega študenta Williama Arthurja Johnsona cikel tudi sestavil (Krebs, 1970). Tovrstni prikazi napeljujejo na to, da so metabolne poti kot nekakšne železniške povezave, pri katerih ima sistem zelo malo svobode. V resnici pa gre za prost sistem, kjer se posamezne molekule gibljejo v raztopini, reakcije pa so, če že, sklopljene termodinamsko, ne pa mehansko, kot je to razvidno iz omenjenih prikazov. Skladno s tem bi bila primernejša analogija z zračnim prometom, kjer načrtana smer za razliko od železniških povezav ni absolutna in omogoča prosto gibanje teles po prostoru.

ZNANSTVENA ILUSTRACIJA V KONTEKSTU VIZUALNIH PRIMANJKLJAJEV

Opisana primera nazorno prikazujeta, kako naše razumevanje znanstvene stvarnosti temelji na načinu njene vizualizacije in kako pomembno ter odgovorno vlogo ima znanstvena ilustracija pri interpretaciji, zlasti kemijskih in bioloških modelov. Ilustracija tako ni zgolj orodje za komunikacijo in popularizacijo znanosti, kot bi morda napačno sklepali iz ene od izjav Gorazda Planinšiča (Planinšič, 2008, 151), ampak je neločljiv del same znanosti.

Ker je obdelava informacij, ki se v možgane stekajo iz različnih čutil, prepletena, lahko nekateri razvijejo t. i. sinestezijo oz. nenavadne povezave med določenimi predeli možganske skorje. To vodi v netipičen način zaznavanja, pri katerem eni lastnosti dražljaja pripišemo dodatno lastnost, pogosto iz druge čutne modalnosti (npr. določenemu zvoku pripišemo barvo), ki pa ne nadomesti druge. Gre za samodejen, neprostovoljen in enosmeren pojav, ki se lahko pojavlja v različnih oblikah. Dodatna lastnost je lahko tudi znotraj iste modalnosti; vizualnemu dražljaju črke A lahko na primer sinestet pripiše dodatno vizualno lastnost, kot je barva (Ward, 2013). Dražljaj pa niti ni treba biti fizično prisoten v celoti – sinesteti lahko okus besede zaznajo že v situaciji, ko imajo besedo »na koncu jezika« (Simner in Ward, 2006). Sinestezijo torej sestavljata med seboj povezana sprožilec (angl. *inducer*), ki sproži zaznavni dogodek, in sočasnik (angl. *concurrent*), ki zajema dodatne zaznavne lastnosti. Pri osebi, ki ob tonu C zaznava modro barvo, je na primer ton C sprožilec, modra barva pa sočasnik (Grossenbacher in Lovelace, 2001). Pri večini sinestetov je ta pojav enosmeren – določen ton na primer povezujemo s posamezno barvo, vendar barve ne slišimo, če jo zagledamo (Mills, 1999). Sočasnik je običajno enoten in stalen, medtem ko je lahko sprožilec bolj prilagodljiv. Vidna zaznava črke B bo na primer vedno sprožila zaznavo določenega odtenka rdeče, ne glede na pisavo, v kateri je zapisana (Grossenbacher in Lovelace, 2001).

Številni sprožilci so torej simboli (Glicksohn idr., 1992), s katerimi operira tudi znanstvena ilustracija, ki skuša izkoriščati »sinestetičen potencial« vsake osebe, kar je tudi ključna prednost ilustracije pred fotografijo. Slednja zgolj zajame fizično podobo, kot jo zazna kamera oz. naše oči, z vsemi bolj ali manj pomembnimi podrobnostmi. Možgani v njih nato iščejo določene vzorce, pri čemer se sam proces pri vsaki osebi nekoliko razlikuje. Z razumevanjem ključnih kognitivnih procesov oblikovanja podobe v naših možganih lahko ilustracija, ki usmerja in poudarja želene vzorce, nepomembne pa utiša, omogoči bolj enoznačno razumevanje

samega modela. Naloga (znanstvenega) ilustratorja je torej ustvarjati predvsem z materialom, ki ga obdelujejo naši možgani, in ne zgolj poustvariti podobe, ki jo zajemajo oči.

S tem se odpira vprašanje, kako kemijo in biologijo, ki temeljita na vizualnih modelih, predstaviti slepim in slabovidnim. Pri abstraktnih konceptih smo tudi videči v določeni meri »slepi«, podobno kot slepi in slabovidni, zato si pomagamo z ustvarjanjem vizualnih modelov, ki nam načeloma olajšajo razumevanje teh nevidnih, neoprijemljivih idej. Za slepe in slabovidne pa predstavljajo izziv že popolnoma konkretni elementi, kot sta na primer oblika in zgradba posameznih organizmov. Kako velika je ovira, ki stoji med slepo ali slabovidno osebo in klasičnimi vizualnimi modeli v znanosti, je seveda odvisno od narave vzroka oz. etiologije in razlogov za odsotnost ali pomanjkanje vida, ki se razlikujejo, čeprav so posledice podobne – torej bolj ali manj huda okvara vida. Težave se lahko pojavijo bodisi zaradi okvare čutila (očesa), živca, ki prenaša vidne informacije v ustrezne možganske centre, bodisi samega vidnega korteksa kot ključnega centra za obdelavo vidnih informacij. Podoba, ki jo nazadnje vidimo, je namreč produkt številnih procesov, ki potekajo v možganih in vplivajo na njeno končno obliko ter posledično tudi na njen učinek na ostale kognitivne procese, kot so čustvene reakcije, spomin in podobno.

Tako so nedavno pojasnili sicer že dlje časa znan pojav refleksne reakcije ob zaznavi določenih oblik (npr. podolgovatih in neravnih), ki so povezane s prirojenimi strahovi (npr. pred kačami), tudi pri osebah z okvaro vidnega korteksa, ki nimajo sposobnosti oblikovanja vizualne slike zaznanih objektov. Takšne osebe torej ne morejo videti oblike, na katero se kljub temu odzovejo zaradi obstoja aferentne poti iz pulvinarja v amigdalo. Ta pot omogoča obrambni odziv strahu na določene evolucijsko pomembne oblike, ki predstavljajo neposredno nevarnost (McFadyen idr., 2019).

Poleg raznolike etiologije, ki vodi v slabovidnost ali celo slepoto, so različni tudi razlogi za njun pojav. Lahko se pojavi kot izguba oz. poslabšanje vida osebe, na podlagi česar lahko nekateri razvijejo sinestezijo, pri kateri izgubljena modalnost (torej vid) pos-

tane sočasnik. Čeprav primarnega vira informacij ni več, se lahko vidni korteks, če je ohranjen, sčasoma (več dni do let) multimodalno poveže z drugimi deli možganov (Ward, 2013). To v praksi na primer pomeni, da ob določenem otipu, zvoku ipd. sočasno vidijo določeno sliko.

V drugo skupino pa uvrščamo osebe, katerih slabovidnost oz. slepota je prirojena in ki nikoli niso imeli možnosti izgraditi vizualne predstave, primerljive z ostalimi videčimi osebami. Čeprav gre za razmeroma majhen delež oseb, ki morajo živeti s tem, so prav ti primeri v obravnavanem kontekstu najzahtevnejši. Njihov svet in vizualni svet videčih se namreč nikoli ne srečata, kar pomeni, da je slikovno prevajanje med njima skoraj nemogoče. Če je določeno področje skoraj v celoti odvisno od vizualnih modelov, je praktično nedostopno za osebe s prirojeno slepoto, ki so s tem prikrajšane za velik del znanstvenega kanona. Ta jim ostaja nedosegljiv zaradi odsotnosti mehanizma za njegovo zaznavo, obdelavo in nadaljnjo kontekstualizacijo.

SO TUDI IZJEME, KI PA VENDARLE POTRJUJEJO PRAVILO

Na globalni ravni sicer najdemo nekaj (prirojeno) slepih ali slabovidnih posameznikov, ki so si ustvarili uspešno znanstveno kariero, tudi na področju kemije in biologije, kot so dr. Cary Supalo, dr. Henry Wedler, dr. Stephanie DeLuca in dr. Geerat J. Vermeij (Minkara, 2024). Kljub temu njihov delež ostaja zanemarljiv v primerjavi s celotno populacijo slepih in slabovidnih. Ključni razlog za to je prav slaba dosegljivost temeljnih modelov zadevnega področja, kar se začne kazati že v času osnovnega izobraževanja. Slepí in slabovidni, ki v Sloveniji najpogosteje obiskujejo njim prilagojen program, kemijo in biologijo spoznavajo predvsem opisno. Določene strukturno usmerjene modele je sicer mogoče delno prevesti v 3D-oblike ali besedilo, ki jim je dostopno v brajici, vendar je to v celoti skoraj nemogoče, zlasti v okviru normativnega konteksta videčih, ki razumljivo prevladuje v znanstveni skupnosti (*Independent science*, 2024).

Veliko slepih in slabovidnih učencev izobraževanja ne nadaljuje v rednem gimnazijskem programu, ki se zaključí s splošno maturo, kar je sicer najpogostejša praksa pri njihovih videčih vrstnikih. Še manj se jih odloči za kemijo ali biologijo kot maturitetni predmet. Posledično se pri nas s tem problemom na konceptualni in strokovni ravni le redko kdo ukvarja. Na resnost ovire, s katero se slepi in slabovidni srečujejo pri razumevanju kemijskih in bioloških konceptov, je nedavno opozoril primer slovenske dijakinje s postopno izgubo vida. Skupaj z videčimi vrstniki je obiskovala redni izobraževalni program na ljutomerski gimnaziji, za zaključek katerega je izbrala kemijo kot enega od splošnih maturitetnih izbirnih predmetov (Tomažin, 2023). Čeprav predmetni izpitni katalog za splošno maturo predvideva prilagoditve za kandidate s posebnimi potrebami (Alif idr., 2021), so pri tem primeru naleteli na oviro pri temeljnem kemijskem konceptu – strukturi molekul. Po besedah njene učiteljice kemije je imela dijakinja že prej težave pri spremljanju naravoslovnih predmetov, kot sta kemija in biologija, predvsem zaradi pomanjkanja ustrezno prilagojenega učnega gradiva (Tomažin, 2023).

Ker kljub intenzivnemu iskanju niso našli primerne sistema, ki bi slepim in slabovidnim omogočal vstop v svet spoznavanja in soustvarjanja strukturne kemije, so se bili primorani lotiti reševanja tega izziva sami. Na podlagi računalniškega programa SMILES so tako razvili linearni zapis kemijskih spojin, v pomoč pa jim je bil tudi že razviti linearni matematični zapis, ki se je uveljavil pri matematiki. Ta za razliko od kemije v večji meri temelji na abstraktnih modelih in je zato slepim in slabovidnim lažje dosegljiv. Predlog linearnega zapisa kemijskih spojin so nato anotirali s pomočjo vzorca slepih in slabovidnih posameznikov_{ic} in ga skladno z njihovimi komentarji ustrezno prilagodili (Tomažin, 2023).

Z njihovim linearnim strukturnim zapisom kemijskih formul je sicer možno zapisati večino spojin, vseh, kot to predpostavlja nomenklatura IUPAC, pa vendarle ne. Poleg tega so sicer izvedljivi zapisi nekaterih spojin težje berljivi, zato imajo slepi in slabovidni pri prepoznavi več težav. Glavni namen projekta je bil torej predvsem

praktičen – omogočiti slepim in slabovidnim učencem_kam in dijakom_injam opravljanje zaključnih izpitov in samo spremljanje pouka kemije in biologije na vsakodnevni ravni (Tomažin, 2023). Kljub nedvomnemu uspehu opisanega primera je treba poudariti, da je bila izguba vida pri omenjeni dijakinji postopna, zato je lahko pred izgubo vida pridobila vsaj osnovne vizualne izkušnje, ki so ji nato nekoliko olajšale spoprijemanje s strukturno kemijo. Že tako izjemno zahteven izziv je tako še težji za osebe, ki so že od samega rojstva slepe.

NAMESTO ZAKLJUČKA ALI KAJ LAHKO SLEPI IN SLABOVIDNI PRISPEVAJO V SVET VIZUALNIH MODELOV

Podobno kot v kemiji tudi v biologiji kljub napredku na področju molekularnih metod organizme še vedno razvrščamo in preučujemo njihove lastnosti predvsem na osnovi njihove zgradbe in videza. Razlike med posameznimi organizmi so pogosto zelo majhne in del širšega konteksta, ki je slepim in slabovidnim v zastavljeni obliki v veliki meri, če ne celo v celoti, nedostopen. Ta problem je pred kratkim naslovil tudi izjemen brazilski fotograf Sebastião Salgado, katerega čustveno nabit fotografski izraz nedvomno presega zgolj dokumentiranje stanja. Salgado se posveča predvsem naravoslovni in antropološki fotografiji, ki jo je nedavno v edinstvenem projektu s posebno izdajo reliefne fotografske knjige skušal približati tudi slepim in slabovidnim. Kljub izjemno zahtevnim poskusom čim bolj celovitega razumevanja naravoslovnih konceptov, ki že za videče predstavljajo velik izziv, torej vendarle obstajajo možnosti za premoščanje ovir tudi za slepe in slabovidne (Salgado, 2023), s čimer na koncu pridobimo prav vsi.

Videči smo že od samega začetka pogojeni z dolgo zgodovino oblikovanja konceptov, katerih obstoječi modeli pogosto predstavljajo le eno, včasih celo precej problematično interpretacijo med mnogimi možnimi. Večina alternativnih interpretacij zaradi prevlade ustaljenih modelov ne pride v ospredje ali celo ne ugleda luči sveta, zato je ključnega pomena, da si prizadevamo

za »vizualizacijo« kemijskih in bioloških konceptov tudi za slepe in slabovidne. Ti nam lahko ponudijo alternativen pogled na uveljavljene naravoslovne koncepte ali celo razvijejo nove, še neobstoječe pristope. Pri tem so projekti, kot je Mednarodna poletna šola v Kaverljagu s svojo transdisciplinarno ekipo in metodološkim pristopom, zelo učinkoviti, kar se je nenazadnje pokazalo že večkrat, med drugim tudi pri opisanem razvoju linearnega zapisa strukturnih formul kemijskih spojin.

Literatura in viri

- Biblija, Slovenski standardni prevod (2023). Ljubljana: Društvo Svetopisemska družba Slovenije. <https://www.biblija.net/biblija.cgi?l=sl> (28. 10. 2024).
- Feyerabend, P. K. (2008): Znanost kot umetnost. Ljubljana: Sophia.
- Kač, M. (2013) Pogledi učiteljev na potek aktualnega študija mikrobiologije. V: Raspor, P. Mikrobiologija za znanje in napredek: 20 let univerzitetnega študija mikrobiologije. 319–384. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo, Katedra za biotehnologijo, mikrobiologijo in varnost živil.
- Možina, M., in U. Kordeš (1998): Obiranje sadov z drevesa spoznanja, spremna beseda. V: Drevo spoznanja, H. Maturana (ur.) in F. J. Varela (ur.). Ljubljana: Studia Humanitatis.
- Planinšič, G. (2008): Medpredmetno povezovanje naravoslovnih in umetniških predmetov: Zakaj in kako? V: Kultura in umetnost v izobraževanju – popotnica 21. stoletja. N. Požar Matijašič in N. Bučik, ur. 149–157. Ljubljana: Pedagoški inštitut.
- Shimamura, A. P., in S. E. Palmer, ur. (2012): Aesthetic Science: Connecting Minds, Brains, and Experience. Oxford: Oxford University Press.
- Slovar slovenskega knjižnega jezika, druga, dopolnjena in deloma prenovljena izdaja, www.fran.si (28. 10. 2024).
- The Economist (24. julij 1999): Fuel cells meet big business. London: Economist Group. Section Business: 59.
- Al-Suwaiyel, M. I., Alani, D. & A. Al-Swailem (2006): An Investigation of Fibonacci-like Sequences in Biology and Mathematics. International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation 7, 2, 133–136.
- Alif, M., Cebin, N., Košmrlj, B., Kravanja, D., Mozner, A., Perdih, F., Petriček, S., Smrdu, A., Svetina, N., & B. Zmazek (2021): Kemija, predmetni izpitni katalog za splošno maturo. Ljubljana, Državni izpitni center.
- Bacci, F., & D. Melcher, ur. (2011): Art and the Senses. 1. izd. Oxford, Oxford University Press.
- Behlohlavek, R., & G. J. Klir, ur. (2011): Concepts and Fuzzy Logic. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Berlyne, D. E. (1974): Studies in the New Experimental Aesthetics: Steps Toward an Objective Psychology of Aesthetic Appreciation. Abingdon, Taylor & Francis.
- Bogen, J. (2009): Theory and Observation in Science. Stanford Encyclopedia of Philosophy: <https://plato.stanford.edu/entries/science-theory-observation/> (28. 10. 2024).
- Brakeley, T. C., & J. M. J. Sam (1979): American Art: Painting, Sculpture, Architecture, Decorative Arts, Photography. New York, Abrams Books.
- Chatterjee, A., & O. Vartanian (2014): Neuroaesthetics. Trends in Cognitive Sciences 18, 7, 370–375.
- De Saussure, F. (2018): Splošno jezikoslovje. Ljubljana, Studia humanitatis.
- Frigg, R., & S. Hartmann (2006): Models in Science. Stanford Encyclopedia of Philosophy: <https://plato.stanford.edu/entries/models-science/> (28. 10. 2024).
- Glicksohn, J., Salinger, O. & A. Roychman (1992): An Exploratory Study of Syncretic Experience: Eidetics, Synaesthesia, and Absorption. Perception 21, 5, 637–642.

- Grossenbacher, P. G., & C. T. Lovelace (2001): Mechanisms of Synesthesia: Cognitive and Physiological Constraints. *Trends in Cognitive Sciences* 5, 1, 36–41.
- Heil, J. (1983): *Perception and Cognition*. V: F. Macpherson (ur.): *The Senses: Classic and Contemporary Philosophical Perspectives*, Oxford, Oxford University Press, 136–155.
- Hitchcock, E. (1856): *Elementary Geology*. Boston, Newman and Ivison.
- Iannaccone, P. M., & M. Khokha (1996): *Fractal Geometry in Biological Systems: An Analytical Approach*. Boca Raton, CRC Press.
- Independent Science (2024): <https://independencescience.com> (28. 10. 2024).
- Jenks, C. (2002): *Visual Culture*. Abingdon, Routledge.
- Kozma, R., & J. Russell (2005): Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In *Visualization in Science Education*, 1, 121–146.
- Krebs, H. A. (1970): The History of the Tricarboxylic Acid Cycle. *Perspectives in Biology and Medicine* 14, 1, 154–172.
- Krebs, H. A., and W. A. Johnson (1937): The Role of Citric Acid in Intermediate Metabolism in Animal Tissues. *Enzymologia* 4, 148–156.
- Kuhn, T. S. (2012): *The Structure of Scientific Revolutions*. Illinois, University of Chicago Press.
- McFadyen, J., Mattingley, J. B. & M. I. Garrido (2019): An Afferent White Matter Pathway from the Pulvinar to the Amygdala Facilitates Fear Recognition. *eLife* 8: e40766.
- Mills, C. B. (1999): Digit Synaesthesia: A Case Study Using a Stroop-Type Test. *Cognitive Neuropsychology* 16, 2, 181–191.
- Minkara, M.: Mona Minkara Fellow Blind Scientists: <https://monaminkara.com/fellow-blind-scientists#gsc.tab=0> (28. 10. 2024).
- Nagel, T. (1974): What Is It Like to Be a Bat? *The Philosophical Review* 83, 4, 435–450.
- Neimark, A. V., & M. Vignes-Adler (1995): Variations from the Plateau Law in Foams. *Physical Review E* 51, 1, 788.
- Nelson, D. L., & M. M. Cox (2009): *Lehninger Principles of Biochemistry*. 5. izd. New York, W.H. Freeman.
- Popper, K. (2012): *The Open Society and Its Enemies*. Abingdon, Routledge.
- Popper, K. (2014): *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. Abingdon, Routledge.
- Reiss, J., & Sprenger, J. (2020). Scientific objectivity.(winter 2020 edition). *The Stanford encyclopedia of philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/scientific-objectivity/> (13. 1. 2025).
- Salgado, S. (2023): *Amazônia Touch*. Cologne, Taschen.
- Siber, A., & P. Zihler (2017): *Cellular Patterns*. Boca Raton, CRC Press.
- Skov, M., Vartanian, O., Martindale, C. & A. Berleant (2018): *Neuroaesthetics*. 1. izd. Abingdon, Routledge.

Tomažin, A. (2023): Kako v brajici zapisujemo note ali kemijske formule? RTV SLO: <https://www.rtvsl.si/dostopno/poglabljeno/kako-v-brajici-zapisujemo-note-ali-kemijske-formule/655021> (28. 10. 2024).

Turing, A. M. (1990): The Chemical Basis of Morphogenesis. *Bulletin of Mathematical Biology* 52, 1-2, 153-197.

Van Fraassen, B. C. (2010): *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*. Oxford, Oxford University Press.

Ward, J. (2013): Synesthesia. *Annual Review of Psychology* 64, 1, 49-75.

Ward, J., & J. Simner (2003): Lexical-Gustatory Synesthesia: Linguistic and Conceptual Factors. *Cognition* 89, 3, 237-261.

Zadeh, Lotfi A. (1971): Quantitative Fuzzy Semantics. *Information Sciences* 3, 2, 159-176.

Zeising, A. (1855): *Asthetische Forschungen*. Frankfurt, Meidinger.

Zeki, S. (1999): Art and the Brain. *Journal of Consciousness Studies* 6, 6-7, 76-96.

Zeki, S. (2001): Artistic Creativity and the Brain. *Science* 293, 5527, 51-52.

Zeki, S. (2002): Inner Vision: An Exploration of Art and the Brain. *Science* 60, 4, 365-366.