

*Borut Pohar*

## Človek kot gospodar svoje usode: evangeljska vizija v luči razširjene evolucijske sinteze *Man as Master of His Own Destiny: The Evangelical Vision in Light of the Expanded Evolutionary Synthesis*

*Povzetek:* Moderna sinteza (neodarvinizem) evolucijo predstavlja kot slep proces na ravni genov, ki temelji na naključju. Pri tem so organizmi kot nosilci genov pasivni in vdani v usodo, kamorkoli jih že zanese. V tem pogledu naključja vodijo razvoj živih bitij neznano kam, kar je v neskladju s teologijo, ki zagovarja usmerjenost evolucije. Vendar pa je sodobna znanost prišla do spoznanja, da je evolucija tudi povratna – da namreč tudi organizmi na njen potek vplivajo aktivno. Medtem ko so mutacije le eden od virov evolucijskih variacij, organizmi z gradnjo in preoblikovanjem okolja tvorijo globlji izvor selektivnih pogojev, ki tem variacijam dajejo smer. Prispevek obravnava možnost, da sodobna biologija – predvsem razširjena evolucijska sinteza (angl. *Extended Evolutionary Synthesis*, EES), ki vključuje teorije gradnje niše (angl. *Niche Construction Theory*, NCT), teorijo evolucijskih iger (angl. *Evolutionary Game Theory*, EGT) in gensko asimilacijo (angl. *Gene assimilation*, GA) – podpira teološki pogled na človeka kot »gospodarja svoje usode«. Prispevek<sup>1</sup> s pomočjo sodobnega razumevanja evolucije opozarja, da človek s svojo miroljubno evangeljsko držo okolje lahko spremeni tako, da s tem preoblikuje selekcijske pritiske in tako lastno evolucijo sooblikuje v smeri spontanosti sprave (kot odgovora na storjeno krivico). Ta teoretična možnost namiguje na resonanco med vero in znanostjo ter odpira nove teme za njun medsebojni dialog.

*Ključne besede:* razširjena evolucijska sinteza, teorija gradnje niše, teorija evolucijskih iger, genska asimilacija, dialog med vero in znanostjo, človeška svoboda

*Abstract:* Modern synthesis (neo-Darwinism) presents evolution as a blind process at the genetic level, based on chance, in which the carriers of genes are passive and resigned to whatever fate may bring them. In this view, chance leads the development of living beings to an unknown destination, which is inconsi-

<sup>1</sup> Prispevek je nastal v okviru raziskovalnega programa „Religija, etika, edukacija in izzivi sodobne družbe“ (P6-0269, ki ga sofinancira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS). Za podporo tej raziskavi niso bili ustvarjeni nobeni novi podatki.

stent with theology, which advocates the directionality of evolution. However, modern science has come to realize that evolution is also reversible, meaning that organisms actively influence their course. While mutations are only one of the sources of evolutionary variation, organisms, through the construction and transformation of their environment constitute the deeper origin of the selective conditions that gives this variation direction. The article discusses the possibility that modern biology—especially the Extended Evolutionary Synthesis (EES), which includes Niche Construction Theory (NCT), Evolutionary Game Theory (EGT), and Gene Assimilation (GA)—supports the theological view of man as the “master of his own destiny.” Using a modern understanding of evolution, the article shows that humans can change their environment through their peaceful evangelical attitude, thereby transforming selection pressures and shaping their own evolution toward spontaneous reconciliation as a response to injustice. This theoretical possibility points to a resonance between faith and science and opens new topics for their mutual dialogue.

*Keywords:* extended evolutionary synthesis, niche construction theory, evolutionary game theory, genetic assimilation, dialogue between faith and science, human freedom

## 1. Uvod

Ko danes spremljamo novice, skoraj ne moremo verjeti, da se nahajamo v 21. stoletju, kajti na svetu je še vedno mnogo kriznih žarišč, vojnih spopadov, demonstracij, etičnih čiščenj in drugih oblik nasilja – kljub temu, da smo že tolikokrat rekli ,nikoli več'. Ta izkušnja ustvarja videz, kakor da človeštvo deli usodo s starogrškim Ojdipom, ki je glavni junak najbolj znane in vplivne Sofoklejeve drame. Ojdip je bil ob rojstvu zaznamovan s prerokbo, da bo ubil svojega očeta in se poročil s svojo materjo. Ne glede na to, kako močno si je prizadeval, da bi se tej svoji usodi izognil, mu to ni uspelo. Usoda (grško *moira*) je bila za stare Grke kozmična sila, ki določa potek življenja ne le vsakega človeka, ampak tudi bogov. Če ji je človek poskušal ubežati (tako kot nesrečni Ojdip), ga je zadela težka kazen. Ko je Ojdip spoznal, da se je prerokba uresničila, si je izkopal oči in odšel v izgnanstvo z zavestjo, da niti človek niti bogovi svoji usodi ne morejo uiti. Mitologija je vrhovnemu Zevsu pripisala modrost, da se je v nasprotju z Ojdipom tej kruti usodi podredil. Ko je Zevs, ki je z Olimpa spremljal trojansko vojno, videl, da bo grški junak Patroklos ubil njegovega sina Sarpedona, ki se je boril na strani Trojancev, se je odločil, da bo sprejel usodo in ga pustil umreti. V njegovi moči je bilo samo to, da je ukazal, naj sina dostojno pokopljejo (*Iliada*, XVI. 431–457).

Nekaj te starogrške črnogledosti (kar zadeva kozmični red) je podedovala moderna novoveška znanost, ki je bila po svoji ustrojenosti deterministična, saj je svet razumela kot natančno urejen mehanizem, v katerem je prihodnost natančno določena s sedanjimi pogoji. Znan je slaven miselni poskus, ki ga je iznašel eden najbolj znanih predstavnikov razsvetljenstva Pierre-Simon Laplace (1749–1827):

če bi obstajal demon, um, ki bi poznal vse sile in vse položaje delcev, bi lahko hkrati poznal preteklost in prihodnost vesolja.

S pojavom evolucijske teorije – Charles Darwin (1809–1882) je svoje temeljno delo objavil leta 1859 – se je v moderni dobi pojavil nasproten ekstrem: prepričanje, da razvoj življenja obvladuje naključje, kar pomeni, da evolucija nima nobene smeri, nobenega cilja in da drvi neznano kam. Stephen Jay Gould (1941–2002), ki zagovarja naključnost evolucije, to ponazarja z analogijo videoposnetka: če bi čas zavrteli nazaj in posnetek evolucijske zgodovine ponovno odvrteli, bi se ta novi posnetek razlikoval od prejšnjega – to pa pomeni, da evolucija ob vsakem ponovnem zagonu daje različne proizvode. Če bi zgodovino zavrteli še enkrat, se tako ljudje po vsej verjetnosti ne bi pojavili (Gould 1990, 48–52).

Determiniranost sveta in naključnost razvoja življenja predstavljata dva temeljna pola moderne znanstvene miselnosti. Ti znanstveni kategoriji imata v moderni kulturi pogosto svoje družbene in politične analogije: težnja po redu, stabilnosti in kontinuiteti je analogno povezana s desnimi konservativnimi tokovi, medtem ko se poudarjanje odprtosti, variabilnosti, sprememb kulturno navezuje na leve liberalne in progresivne usmeritve.

Človek je torej po nekaterih vplivnih interpretacijah znanosti moderne dobe popolnoma nemočen: z ene strani ga popolnoma determinirajo naravni zakoni (med katerimi je tudi zakon maščevanja, ki je izvor nasilja), z druge strani pa se utaplja v naključnosti bioloških procesov, zlasti genskih mutacij, nad katerimi nima neposrednega nadzora, iz česar izvira njegova nemoč.

Ta podoba nemočnega in zvezanega človeka je v ostrem nasprotju z vizijo človeka, ki jo goji krščanstvo. Za katolike je človek po izvirnem grehu resda grešnik, vendar je hkrati v moči Božje milosti zmožen spreobrnjenja in preusmeritve svojega življenja k hoji za Jezusom, ki je pot, resnica in življenje ter vir osebne svobode. Kristus je človeka odkupil od greha, ki ga je zasužnjeval (KKC, §1741) – in če človek z milostjo sodeluje, lahko zaživi svobodno in skupaj s sv. Pavlom pravi: »Za svobodo nas je oprostil Kristus.« (Gal 5,1; prim. KKC, §1742) Vera in znanost moderne dobe sta bili v tem smislu v izrazitem konfliktu in na nasprotnih bregovih.

Temeljni problem moderne dobe je bilo izključevanje – ali determinizem ali naključje, ali vera ali razum. Takšna binarna logika je ustvarila vrsto navidezno nepremostljivih nasprotij. Šele v poznejši, postmoderni fazi znanstvenega mišljenja se je uveljavilo spoznanje, da je ta nasprotja mogoče razumeti kot komplementarna in jih integrirati v širšo razlagalno sliko, sestavljeno iz več soodvisnih elementov.

Pri evoluciji imajo npr. pomembno vlogo tako deterministični kot naključni procesi, ki delujejo kot komplementarna, ne pa izključujoča se nasprotja. Po eni strani lahko z gotovostjo trdimo, da evolucija ustvarja raznolikost živih bitij (determinizem), po drugi pa ni nobene vnaprejšnje gotovosti glede tega, kje, kdaj in v kakšni obliki se bodo posamezne genetske mutacije pojavile, saj so konkretni izidi odprti in nedoločeni (naključnost).

Kot pri evoluciji tudi pri človeku ne gre za izključevanje med usodo (determinizmom) in svobodo (naključjem), temveč za komplementarna nasprotja. Po katoliškem nauku zgodovina poteka v skladu z vnaprej določenim Božjim načrtom, vendar ima človek svobodo odločanja, ali bo kot Božji sodelavec pri njegovem uresničevanju sodeloval – ali pa tudi ne. Ta integracija determinizma in svobode, usode in svobode pa se lepo kaže tudi v novi, razširjeni paradigmi evolucije, ki dopušča možnost, da človek ni zgolj produkt svojega okolja, temveč tudi aktivni usmerjevalec svojega razvoja in evolucije.

V tem prispevku želimo pokazati, da je nova paradigma evolucije v razvoju znatnosti pričakovan in logičen korak. Človeku pri oblikovanju lastne prihodnosti daje večjo svobodo in suverenost, zato z vero omogoča boljši dialog.

## 2. Razširjena evolucijska sinteza (EES) in njeno pojmovanje človeka

Še do nedavnega je za edino veljavni nazor evolucije veljal neodarvinizem oz. moderna sinteza (angl. *modern synthesis*), ki je nastal v drugi četrtini 20. stoletja na podlagi teoretikov kot sta T. Dobzhansky (1900–75) in E. Mayr (1904–2005). Ime moderna sinteza si je neodarvinizem prislužil s spajanjem teorije evolucije in naravne selekcije, ki sta jo neodvisno razvila C. Darwin (1809–82) in A. R. Wallace (1823–1913), z moderno genetiko, razvito v začetku 20. stoletja. Darwin je sicer mehanizem naravne selekcije opisal pravilno, ni pa poznal genskega temelja dedovanja, ki je bil odkrit pozneje – gene so z določenim zaporedjem nukleotidov v molekuli DNA povezali šele sredi 20. stoletja (*Cambridge dictionary of Christian Theology* 2011, s.v. „evolution“).

Ključne predpostavke moderne sinteze so: mutacije v genih in rekombinacije ustvarjajo dedno raznolikost, na katero deluje selekcija, evolucija pa je razumljena kot sprememba frekvenc genov v populaciji skozi čas. Osnovna enota evolucije je populacija, ne posameznik, speciacija (nastanek novih vrst) pa je posledica kopičenja genetskih sprememb in izolacije populacij. Pretok informacij torej po tem nazoru poteka izključno od genotipa (celote genske informacije organizma) proti fenotipu (opazne lastnosti organizma kot rezultat genotipa, okolja in razvoja), saj nova informacija izvira iz mutacije, vodi pa v nastanek novega fenotipa, na katerega deluje selekcija. Okolje pri tem določa, katere lastnosti organizmu prinašajo večje možnosti preživetja in razmnoževanja (Futuyama in Kirkpatrick 2022, pogl. 3–5, 17).

Vendar pa so v zadnjem času številni znanstveniki prišli do spoznanja, da je takšen pogled na evolucijo vse preveč enostaven in pomanjkljiv, saj so organizmi povsem pasivni – na milost in nemilost prepuščeni po eni strani dogajanju globoko v svojem telesu, kjer se nahajajo geni, ki neprestano mutirajo, po drugi strani pa zunanjemu okolju, ki na njih neusmiljeno vrši selekcijski pritisk. V zadnjem času se vse bolj uveljavlja t. i. razširjena evolucijska sinteza (angl. *Extended Evolutionary Synthesis*, EES), ki jo imajo nekateri kar za novo paradigmo evolucije, čeprav njeni snovalci takšni

opredelitvi izrecno nasprotujejo – poudarjajo, da je EES zgolj »razvijajoča se linija sodobnega evlucijskega mišljenja, ki obstaja znotraj tega področja, in ne pomeni zanikanja vrednosti preteklih okvirov ali napredka v evlucijski biologiji« (Laland idr. 2015). EES naj torej ne bi bila revolucija, ampak evlucija paradigme evlucije – gre za razširitev in delno preobrazbo obstoječe moderne sinteze.

EES med drugim uvaja naslednje novosti: (1) teorija gradnje niše (angl. *Niche Construction Theory*), ki pravi, da organizmi s tem, ko okolje dejavno spreminjajo, ustvarjajo nove selekcijske pritiske, s čimer vplivajo na svojo evlucijo in na evlucijo potomcev (Odling-Smee 2004). (2) V okviru EES je eden izmed mehanizmov negenetskega dedovanja epigenetika. Epigenetska lastnost je stabilno dedljiv fenotip, ki je posledica sprememb v kromosomu, a brez sprememb v zaporedju DNA (Berger idr. 2009). V okviru odziva na okoljske dejavnike (prehrana, stres, temperatura) pogosto pride do spremembe izražanja genov, ki se izrazijo v fenotipu, pri čemer so te spremembe lahko dedne (Laland idr. 2015). (3) Fenotipska plastičnost (angl. *Phenotypic Plasticity*) je sposobnost genotipa, da ob odzivu na različne okoljske pogoje proizvaja različne fenotipe (Sommer 2020). Plastičnost omogoča hitro prilagoditev brez genetskih sprememb in lahko vpliva na potek evlucije. (4) Genska asimilacija (angl. *Genetic Assimilation*) je proces, pri katerem se fenotip, ki ga sprva povzroča okoljski dražljaj, po nekaj generacijah selekcije stabilno deduje tudi brez dražljaja (Raju idr. 2023). Fenotipske lastnosti, ki so sprva sprožene z dejavniki okolja in se izkažejo za adaptivne, se torej lahko genetsko utrdijo in dedujejo po običajni poti. (5) Kulturna evlucija, ki je povezana s teorijo gradnje niš, je v okviru EES ključni dejavnik človeške evlucije. Kultura ni le produkt evlucije, ampak njena gonilna sila. Kulturna dednost predpostavlja, da je kultura mehanizem prenosa informacije, ki omogoča negenetsko dedovanje. Vedenja, znanja, tehnologije, jezik ali norme se lahko prenašajo z učenjem in posnemanjem – in ne z geni. Izkazalo se je, da je pri človeku glavni dejavnik selekcije kultura. Ljudje ustvarjajo kulturne inovacije (orodja, vedenjske vzorce ipd.), ki spreminjajo okolje, s tem pa tudi selekcijske pritiske (npr. vplivajo na preživetje, razmnoževanje), s čimer vplivajo na potek evlucije (Laland idr. 2015).

A nekateri znanstveniki (npr. Eva Jablonka, Juan Gefaell, Cristian Saborido) so prepričani, da so vse te spremembe tako radikalne, da ne gre več samo za razširitev obstoječe moderne sinteze, temveč za novo paradigmo. EES namreč pojem dednosti razširja (dedujejo se tudi epigenetski in kulturni elementi), organizem pa postane aktiven sooblikovalec okolja in s tem selekcijskih pritiskov (Shan 2024). »EES se odlikuje po osrednji vlogi organizma v evlucijskem procesu in po stališču, da smer evlucije ni odvisna samo od selekcije in se ne začne nujno z mutacijo. Vzročni opis evlucijske spremembe se lahko na primer začne z razvojno plastičnostjo ali izgradnjo niše, čemur sledi genska sprememba. Nastala mreža procesov zagotavlja precej bolj kompleksno razlago evlucijskih mehanizmov, kot je tradicionalno priznано.« (Laland idr. 2015) Medtem ko moderna sinteza evlucijo razume kot enosmeren proces (okolje vpliva na organizem), EES poudarja povratne zanke: organizmi, zlasti ljudje, aktivno vplivajo na okolje in s tem na evlucijski proces. Začetek spremembe v informaciji torej ni nujno mutacija, ampak organizem, ki spremeni okolje,

s čimer se spremeni selekcijski pritisk in s tem potek evolucije. Človek v tem smislu ni več (zgolj) pasiven proizvod evolucije, ampak tudi njen usmerjevalec.

V kakšni meri je EES sprejeta v znanstveni skupnosti? Večina evolucijskih biologov še vedno deluje v okviru neodarvinizma oziroma moderne sinteze – akademske sfere torej ne zaznamuje kaotično revolucionarno razpoloženje, vendar tudi najmočnejši pristaši neodarvinizma obstoja EES in njenih argumentov ne morejo več ignorirati. Vsekakor lahko rečemo, da EES – čeprav med znanstveniki ni splošno sprejeta – vendarle ni zgolj ena od obskurnih nepomembnih teorij, ampak trenutno pomemben dejavnik razvoja evolucijske biologije (Shan 2024). V nadaljevanju zato trdimo, da bi bilo razširjeno evolucijsko sintezo mogoče pojmovati kot rezultat premika od fenomenološkega navideznega nazora k teoretičnemu resničnemu nazoru (ki smo mu bili v priči zgodovini znanosti).

### 3. Razširjena evolucijska sinteza (EES) kot del naravnega razvoja znanosti

Pojav EES lahko dojemamo tudi kot naravni razvoj naravoslovnih znanosti, ki so se postopoma osvobodile ujetosti v dogodkovne intuitivne fenomenološke razlage, temelječe na videzu, in se posvetile iskanju kontraintuitivnih teoretičnih razlag na podlagi neopaznih naravnih procesov, obstoj katerih zagovarja posamezen znanstven nazor. Odnos med fenomenološko in teoretično razlago je obratnost, kar zadeva smer spremembe (tok informacij, energije ...), in nasprotnost, kar zadeva izvor spremembe (kaj je pasivno in kaj aktivno).

Najbolj znana fenomenološka razlaga, ki temelji na videzu, je vsekakor razlaga vzhoda sonca, ki pravi, da se sonce premika oziroma odmika od obzorja, medtem ko Zemlja miruje (sonce je aktivno in izvor spremembe, Zemlja pa je pasivna), smer spremembe lege sonca pa je od vzhoda proti zahodu. Vendar pa je to fenomenološko razlago zamenjala teoretična razlaga, ki temelji na resničnem nazoru dinamičnega geocentrizma, po katerem je vrtenje Zemlje (skupaj z njenim odklonom od osi, zaradi katere se vpadni kot Sonca po letnih časih spreminja) razlog, da se sonce na videz premika na nebu. Toda v resnici se okrog svoje osi vrtil Zemlja (obratnost: Zemlja je aktivna, Sonce je pasivno), pri čemer je smer spremembe dejansko ravno nasprotna – Zemlja se vrtil od zahoda proti vzhodu in ne obratno. Tako so razmišljali že nekateri antični misleci (npr. Heraklit iz Ponta) in nekateri srednjeveški misleci (npr. Jean Buridan in Nicole Oresme), dokončno pa se je ta teoretična razlaga utrdila s pojavom heliocentrizma.

Naslednji znanstveni premik je bila zamenjava fenomenološke razlage epiciklov – ti so bili fenomenološka (opisna) razlaga oz. matematični model retrogradnega gibanja planetov po nebu v geocentričnem sistemu – s teoretično razlago procesa kroženja Zemlje okrog Sonca, ki temelji na heliocentričnem nazoru. Če namreč planet opazujemo, se po nebu nekaj časa giblje v isti smeri, kot se gibajo zvezde, nato se na videz ustavi, naredi zanko, pa gre spet naprej, kar je bil od nekdaj pre-

senetljiv pojav. Šele heliocentrizem je ta videz retrogradnega gibanja planetov (planeti so aktivni, Sonce pasivno, planet se giblje v smeri urinega kazalca) ustrezno teoretično razložil, pri čemer je teoretična razlaga obratna in fenomenološkemu opisu nasprotna: Sonce je v resnici aktivno, saj je izvor gibanja planetov, ki so pasivni in v resnici krožijo okrog Sonca v nasprotni smeri urinega kazalca.

Znana je tudi Maxwellova zamenjava fenomenološkega opisa razmerja med električnim tokom in elektromagnetnim poljem s teoretično razlago. Ker električni tok, ki teče po prevodniku, magnetno iglo odklanja, navidezno vzpostavlja elektromagnetno polje, ki ga je mogoče zaznati in opisati s fizikalno enačbo:  $E = \sigma J$  ( $J$  – gostota električnega toka,  $E$  – električno polje,  $\sigma$  – prevodnost). Iz enačbe je razvidno, da je polje premo sorazmerno gostoti električnega toka. Tu je izvor spremembe električni tok, ki je zato aktiven, medtem ko je elektromagnetno polje pasivni odziv na ta tok. Tok je fenomenološko razumljen kot tok pozitivnih nabojev, ki teče od pozitivnega pola proti negativnemu (konvencionalna smer toka), torej od višjega proti nižjemu električnemu potencialu. Vendar se je izkazalo, da je to zgolj videz. Znanstveniki (na primer James Clerk Maxwell) so sčasoma prišli do teoretičnega odkritja, da je v resnici ravno obratno in nasprotno: namreč da je izvor spremembe elektromagnetno valovanje, ki je razlog pojavitve električnega toka (valovanje je aktivno, tok je pasiven). Poleg tega so prišli tudi do spoznanja, da električni tok v resnici teče v nasprotno smer (od negativnega proti pozitivnem polu), saj ga ne sestavljajo pozitivni naboji, temveč negativni – elektroni.

Najbolj znan napredek znanosti pa je zagotovo dopolnitev Newtonove klasične mehanike z Einsteinovo teorijo relativnosti. Newton je zaslužen za dojetje gravitacije kot univerzalne sile, ki deluje tako na Zemlji kakor tudi v vesolju – in je tudi odkril osnovno enačbo  $F = ma$ , ki temelji na videzu, da Zemlja s svojo gibalno količino ( $mv$ ) aktivno določa, kakšna mora biti Sončeva gravitacija, da ostane na orbiti. Če je Zemlja prehitra, Sonce ne more zagotoviti dovolj privlaka in planet uide. Če je prepočasna, jo Sonce ,pritegne preveč', zato pade proti njemu. Zato Sonce, če Zemljo ,hoče' ohraniti v orbiti, mora ,upoštevati' njeno gibalno stanje. Sonce se na videz samo pasivno odziva na maso planeta in ga na videz z določeno silo privlači k sebi – torej v smeri od orbite planeta proti svojemu središču, kamor kaže vektor sile. Albert Einstein pa je s svojo teorijo relativnosti pokazal, da je v resnici ravno obratno in nasprotno. Ni planet tisti, ki Soncu narekuje, s kakšno silo naj ga privlači, saj je po Einsteinu dogodek potega s silo zgolj videz – v resnici Sonce aktivno krivi prostor, rezultat tega procesa pa je ukrivljenost prostora, ki ji planet pasivno sledi. Velja tudi nasprotna smer: ne gre za poteg sile od orbite proti središču Sonca, ampak za krivljenje prostora v smeri od Sonca proti planetu, torej v nasprotni smeri.

To je nekaj najbolj znanih teoretičnih poglobitev našega razumevanja naravnih pojavov, ki so zavajajoč fenomenološki videz zamenjali z resničnim, teoretično utemeljenim nazorom. Enak proces poglobljanja razumevanja lahko zaznamo tudi v primeru razširjenosti evolucijske sinteze, ki odnos med okoljem in organizmi razume kot soodvisen oz. recipročen. Če je pri neodarvinizmu oz. moderni sintezi okolje aktivni element, organizmi pa so pasivni, na milost in nemilost prepuščeni okoljskim selekcijskim pritiskom, je po EES res tudi ravno obratno: organizmi so

tudi aktivni oblikovalci pasivnega okolja oz. izvor spremembe, saj z oblikovanjem življenjske pogoje in selekcijske pritiske spreminjajo, s čimer vplivajo na potek evolucije. Tudi za smer pretoka informacij velja, da je pri EES nasprotna kot pri neodarvinizmu – tj. od fenotipa proti splošnemu genotipu, saj organizmi na novo pridobljeno strategijo preživetja, ki se je izkazala za adaptivno, s pomočjo naključnih mutacij sčasoma gensko asimilirajo. Naključje (mutacija) torej po EES ni izvor nove informacije, ampak izvirni mehanizem utrjevanja že izražene nove funkcije. Vemo sicer, da je izvir v luči tega sveta bolj pomemben od izvora, vendar se moramo zavedati, da brez drugega tudi prvega ne bi bilo. Brez oceana, ki je prek vodnega cikla izvor visokogorskega izvira kristalno čiste vode, življenje na kopnem ne bi bilo mogoče. Brez izvora ne bi bilo nobenega izvira.

#### **4. Konkreten primer možnega pretoka nove informacije iz fenotipa na genotip**

Obstajajo številni konkretni primeri, ko so določeni organizmi izzvali velike makroevolucijske spremembe, npr. pri kisikovi revoluciji. V samem začetku razvoja življenja so na Zemlji vladale anaerobne razmere, kar pomeni, da organizmi niso dihali kisika (kisik ni bil končni prejemnik elektronov v dihalni verigi), ampak druge elemente (npr. železo), kar je bil energetsko veliko manj učinkovit proces. Cianobakterije, ki so se pojavile pred približno 3,5 milijardami let, pa so z razvojem fotosinteze – kot nove, učinkovitejše strategije pridobivanja energije in hrane – v atmosfero skozi milijarde let sprostile toliko kisika, da je prišlo do pomora večine anaerobnih organizmov. Kisik je namreč strupen element, ker tvori škodljive reaktivne kisikove radikale, proti katerim morajo imeti organizmi zelo učinkovito zaščito, ki pa je anaerobni organizmi nimajo. Preživele so torej tiste vrste, ki so razvile mehanizem zaščite pred kisikom in aerobno strategijo pridobivanja energije, kar je razlog, da je aerobni metabolizem pri evkariontih (živali, rastline, glive) danes prevladujoč. Če se cianobakterije na Zemlji ne bi pojavile, bi bila njena biosfera precej drugačna. Kisikova revolucija je zelo nazoren primer aktivnosti organizmov, ki dejavno spremenijo okolje, s tem spremenijo selekcijski pritisk in vplivajo na potek evolucije. Tudi tu gre za nasprotno smer pretoka informacij – od fenotipa proti splošnemu genotipu.

Vendar pa se aerobni metabolizem ni razvil kar naenkrat (namreč da bi encimi anaerobnega metabolizma nenadoma začeli neposredno uporabljati kisik), temveč se je pojavil v populacijah mikroorganizmov, ki so imele določeno stopnjo presnovne plastičnosti in sposobnost uporabe različnih akceptorjev elektronov, med drugim tudi kisika, proti kateremu so razvile zaščito. Ko je zaradi fotosintetske dejavnosti cianobakterij v okolju narasla koncentracija kisika, so v njem preživele le tiste bakterije, ki so imele razvite antioksidativne encime in že obstoječe fleksibilne presnovne poti. Naravna selekcija je favorizirala tiste naključne mutacije, ki so v elektronski transportni verigi postopoma omogočile razvoj takih novih encimov, ki so kot končni akceptor elektronov sposobni uporabljati kisik.

Ker se je aerobna presnovna pot izkazala za adaptivno, je prišlo do njene genetske asimilacije – pri tej so se tiste naključne mutacije, ki so izboljšale izražanje

aerobnih encimov, stabilnost encimskih kompleksov za prenos elektronov in učinkovitost oksidativne fosforilacije, s katero nastane energijsko bogata molekula ATP, v populaciji utrdile. S tem se je začetni plastični odziv na oksidativno okolje postopoma zasidral genotipsko.

Primer nastanka aerobnega metabolizma je torej vzorčni primer mehanizma, kako naključne mutacije služijo za utrjevanje fenotipskih rešitev, ki nastanejo kot plastičen odziv na okoljske spremembe. Nova informacija se najprej pojavi na fenotipski ravni (v tem primeru v presnovni ravni), naravna selekcija izbere koristno različico, mutacije pa jo vgradijo v genotip, s čimer nova strategija preživetja postane dedna.

Antioksidativni encimi so se sicer pojavili naključno (se pravi z mutacijami), vendar pa njihova ohranitev ni bila naključna (predvidljiva), saj so ti encimi organizmom pomagali preživeti v strupenem oksidativnem okolju – zato jih je naravna selekcija favorizirala. Pojav presnovnih in regulacijskih mehanizmov, ki so omogočili fenotipsko plastičen odziv organizmov na kisik, je torej izvirno slučajen, nepredvidljiv dogodek. Vendar ima v resnici izvor v procesu evolucije z naravno selekcijo, ki pa ne poteka naključno, saj se uresničuje v okolju, ki ga organizmi sami soustvarjajo. Organizmi s tem, ko nezavedno spreminjajo okolje, ustvarjajo nove selekcijske pritiske, ki določajo, katere naključne mutacije se bodo v populaciji ohranile.

Čeprav so akterji novih prilagoditev na videz naključno nastali adaptivni aleli, organizmi pa le pasivni prejemniki selekcijskih pritiskov, je resnica ravno nasprotna – organizmi so v izvoru evolucijskih sprememb, saj so oni akterji naravne selekcije. S tem, ko nezavedno preoblikujejo okolje, dejavno soustvarjajo ekološke pogoje, ki določajo, katere naključne mutacije bodo v določenem okolju adaptivne.

Medtem ko so naključne mutacije površinski in intuitiven izvir prilagoditve organizmov, so organizmi globoki kontraintuitivni izvor evolucijskih smeri, brez katerega naključje ne bi imelo nobene koristi. Naravna selekcija poteka znotraj dinamičnega sistema interakcij med organizmi in okoljem, ki ga organizmi nenehno – vendar nezavedno in nenamerno – preoblikujejo.

Do pojava človeka je bila naravna selekcija nezaveden pojav, s človekom pa se pojavi možnost ciljnega in zavestnega usmerjanja evolucije, saj se človek lahko zavestno odloči, kako in v kaj bo okolje preoblikoval, s tem pa tudi določil nove selekcijske pogoje. Ravno v tej točki pa ima pomembno mesto vera, saj je temeljno naročilo Jezusa učencem, naj bodo sol zemlje (Mt 5,13) – to bi lahko s perspektive evolucije razumeli kot poziv k spreminjanju okolja, ki bo privedlo tudi k dolgoročni spremembi človeka.

## 5. Evangeljski poziv k opustitvi maščevanja in možnost spontanosti sprave

Leto 2025 je jubilejno leto upanja, ki med drugim vključuje tudi mesijansko upanje, da bosta v človeštvu sovraštvo in maščevanje nekoč izkoreninjena in bomo ljudje zaživeli v medsebojnem miru. V nadaljevanju bomo uporabili analogijo, s katero bomo predstavili teoretsko možnost, ki temu upanju daje trdno podlago –

apostol Peter pravi: »Vselej bodite vsakomur pripravljeni odgovoriti, če vas vpraša za razlog upanja, ki je v vas.« (1 Pt 5,13)

Kot analogijo mehanizmu žrtvovanja oz. povračila (metaforično: prelivanja krvi), ki je začetna evolucijska rešitev neporavnane krivice, bi lahko uporabili mehanizem celičnega dihanja. Da bi analogijo razumeli, si moramo najprej ogledati, kako se razlikuje dedni zapis pri anaerobnem in aerobnem dihanju.

Celično dihanje je univerzalen abstraktni energetski biokemijski mehanizem življenja za rešitev življenjskega problema pomanjkanja energije. Ta mehanizem ima isti abstrakten vzorec pri vseh organizmih in v osnovi enako osnovno logiko: oksidacija → prenos elektronov → redukcija → sinteza ATP. Gre za prenos elektronov iz anorganske ali organske spojine (donor) na končni prejemnik elektronov. Pri tem nastaja energijski gradient, ki omogoča sintezo energijske bogate molekule ATP. Ta abstraktni mehanizem se fenotipsko izraža v dveh vrstah procesov, namreč anaerobnem in aerobnem dihanju, pri čemer ima vsak od teh procesov svojo genetsko podlago (genotip) – specifičen vzorec nukleotidov oziroma konkretno specifično nukleotidno zaporedje, ki kodira encime presnovne poti. Anaerobno dihanje ima na primer gen *narGHIJ* – ta kodira encim nitrat reduktaza, ki za končni prejemnik elektronov uporablja nitrat. Aerobno dihanje pa ima za končanje dihalne poti drug gen, in sicer *coxABCD* – ta kodira encim citokrom c oksidazo, ki kisik reducira v vodo.

To razliko med abstraktnim rodovnim mehanizmom, ki ima svoj abstraktni vzorec delovanja, in konkretnimi vrstnimi procesi s svojimi genotipi lahko uporabimo kot analogijo razlikovanja med dvema procesnima konkretizacijama mehanizma žrtvovanja oz. prelivanja krvi, ki je evolucijska rešitev za problem kratenja pravice oz. povzročanja krivice.

Fenotipsko se mehanizem žrtvovanja izraža v dveh procesih: v procesu maščevanja, trenutnem nagonskem odzivu na krivico, in v procesu sprave, ki trenutno še ni človeški nagonski odziv, ampak posameznik vanj stopi z zavestno izbiro. Vsak od teh procesov ima svojo genetsko in nevrobiološko podlago, torej dedne predispozicije, izvirajoče iz genov, ki vplivajo na delovanje živčnih prenašalcev (dopamin, serotonin) in hormonskih sistemov (npr. testosteron). Med njimi je znan gen MAOA za kodiranje encima monoamin oksidaze A, ki regulira impulzivnost in agresivnost. Ker smo ljudje nagonsko nagnjeni k maščevanju in ne k spravi (zanjo se moramo odločiti zavestno in se k vstopu v pravni proces dobesedno prisiliti), lahko sklepamo, da imamo ljudje predvsem genetske predispozicije za maščevanje, kar razloži spontanost tega odziva na prizadejano krivico.

Maščevanje je imelo v začetni fazi evolucije adaptivno vrednost: omogočilo je namreč zaščito skupine in ohranjanje socialne pravičnosti. Biološko imamo torej ljudje dedno nagnjenost k agresivnosti in povračilu ter nasilni obrambi pravičnosti, ki so evolucijsko služili kot adaptivna strategija preživetja. Vendar pa ni treba, da se evolucija človeka ustavi na tej točki. Človek je po razširjeni evolucijski sintezi s spreminjanjem okolja evolucijo do sedaj nezavedno usmerjal v smer nastanka mehanizma žrtvovanja in njegove konkretizacije v procesu maščevanja. Vendar ima sedaj možnost, da v ta razvojni proces vstopi zavestno in ga preusmeri v evo-

lucijski razvoj genetskih predispozicij, ki bodo omogočile spontanost sprave in s tem nastanek novega človeka. Evangelij nas vabi, da bi kot posamezniki maščevanje kot nagonski odziv na krivico zavestno opustili in ga kot človeštvo postopoma zamenjali z nagonsko vključitvijo v proces sprave, ki vključuje odpuščanje. Ta pa mora pri človeštvu dobiti še genetsko podlago, mora se še genetsko asimilirati – ljudje se na krivico nagonsko še vedno odzovemo z maščevanjem. Sprava je nova adaptivna strategija, ki krepi skupnost, mir in notranjo celovitost.

To, kar je mogoče sedaj izbrati zgolj zavestno, se mora prek kulturno-genetske koevolucije še postopoma biološko utrditi, tako da postane sprava spontana, ne pa prisiljena izbira – do česar pa je še dolga pot. Kar je danes mogoče le z zavestno odločitvijo, se lahko v prihodnosti izrazi kot stabilna človeška predispozicija.

Kot so številne vrste v evoluciji iz anaerobnega prešle v učinkovitejšo aerobno dihanje, tako ima tudi človeštvo pred sabo veliko nalogo, da opusti potratni in škodljivi proces maščevanja in začne uporabljati veliko bolj učinkovit proces sprave, ki se v duhovnem smislu uresničuje v Kristusovi daritvi na križu – v prelivanju Jezusove brezmadežne krvi pri sv. maši. Pri procesu sprave je eden izmed ključnih korakov prelivanje krvi brezmadežnega Božjega Jagnjeta pri sv. maši, v moči katerega lahko krivčniku odpustimo – saj je z darovanjem Jagnjetove krvi Pravici (Nebesnemu Očetu) zadoščeno in je njegova jeza pomirjena. Razodetje nas uči, da Pravice ne pomirja prelivanje grešne človeške krvi (tako namreč intuitivno razmišljajo pogani), ampak le brezmadežna kri Božjega Jagnjeta, ki se prelija pri sv. maši, pri kateri se ponavzočuje Jezusova daritev na križu. Prenova človeštva v smeri genetske asimilacije evangelijske strategije sprave, ki bi omogočila njeno spontanost, je teoretična možnost, ki nam jo ponuja teorija evolucijskih iger.

## 6. Kulturno-genetska koevolucija in evangelijska preobrazba človeštva

Teorija evolucijskih iger (angl. *Evolutionary Game Theory*, EGT) združuje Darwinovo naravno selekcijo in teorijo iger. Ponuja način, kako bi lahko s pomočjo naravne selekcije evolucijsko postopoma zmanjšali človeško nagnjenost k maščevanju kot nagonsem odzivu na krivico in okrepili genetske predispozicije oz. nagnjenost k spravi, ki je za dolgoročno preživetje in stabilnost človeške družbe učinkovitejša strategija. Po tej teoriji je vedenje mogoče spremeniti, če okolje začne novo strategijo, npr. spravo namesto maščevanja, nagrajevati. Ta sprememba je seveda počasna, zgodi pa se na populacijski ravni – in le v primeru, če ima nova strategija višjo reproduktivno uspešnost.

EGT je po svoji naravi interdisciplinarna in zanjo se že več kot petdeset let navdušujejo raziskovalci z različnim znanstvenim ozadjem, še zdaleč ne samo biologi (Traulsen in Glynatsi 2023). Velik vpliv ima tudi na družboslovne znanosti, vključno z ekonomijo, politologijo, psihologijo in antropologijo (Van Cleve 2023). Poznani so primeri njene uporabe v religiologiji, denimo za razlago evolucije religije kot kulturnega dejav-

nika, ki dolgoročno povečuje možnost preživetja skupnosti (Purzycki idr. 2022). Najprej se je razvila za razlago bojev med živalmi, njena druga velika veja pa z njo poskuša razložiti pojav sodelovanja med živalmi. Teorija, ki je v evolucijski biologiji hitro pridobila velik vpliv in ugled, nam daje okvir za razumevanje, kako evolucijske vedenjske strategije nastajajo na podlagi interakcij med posamezniki (Leimar in McNamara 2023). Eden izmed ključnih razlogov za uspeh teorije je preprostost njenih modelov. Kot razširitev darvinističnega razmišljanja v matematični jezik je postala ena od glavnih metod pri raziskovanju fenotipske evolucije – zlasti tam, kjer klasični modeli vedenja živali ne morejo razložiti. Temelj teorije je frekvenčno odvisna selekcija, uspešnost strategije pa je odvisna od pogostosti strategij v populaciji. Osrednji pojem teorije je evolucijsko stabilna strategija (ESS), ki bi jo lahko opredelili kot tisto, ki je – ko je že prevladujoča – ni mogoče premagati z nobeno alternativno strategijo (Grodwohl in Parker 2023). EGT Darwinovo idejo, da naravna selekcija deluje preko interakcij med organizmi, matematizira tako, da te interakcije modelira kot igre (Van Cleve 2023).

Temeljno načelo teorije evolucijskih iger se glasi: če vedenjska strategija postane evolucijsko stabilna, lahko vodi do utrditve genetskih predispozicij, ki jo podpirajo (Van Cleve 2023). Mehanizem genetske fiksacije uspešne strategije ima naslednje korake (prim. Van Cleve 2023):

V populaciji se pojavi vedenjska variabilnost. V populaciji ljudi so na primer nekateri bolj nagnjeni k maščevanju in agresivnemu odzivu na krivico, drugi se zaradi evangelija maščevanju zavestno odpovedo in izberejo pot sprave, čeprav se je k temu treba prisiliti (saj ta odziv na storjeno krivico ni spontan).

Če se okolje spremeni na določen način, se nagrajevanje (angl. *payoff*) vedenja oz. določene strategije zmanjša, kar pomeni, da prinaša socialno izgubo, zaradi česar se ne izplača več, sama strategija pa postane nestabilna. V evangelijsko prepojenem okolju se na primer maščevanje ne izplača, ker ni nagrajeno, ampak je ovrednoteno kot slabo, saj se dober kristjan ne sme maščevati, ampak nastaviti drugo lice. V krščanskem okolju se izplača odpuščati, ker človek s tem pridobi ugled in pomen – lahko celo status svetnika. Jezus je na primer na križu tik pred smrtjo prosil očeta, naj njegovim morilcem odpusti. Številni svetniki (npr. sv. Maksimilijan Kolbe) so znani po tem, da so svojim morilcem po Jezusovem zgledu odpustili. Takšna oseba ima v krščanskem okolju herojski status.

Pojav evolucijsko stabilne strategije – zanjo je značilna pojavnost v celotni populaciji, zato je ne more izriniti oz. napasti nobena redka alternativna strategija, ki ne more doseči višje prilagoditvene vrednosti. V krščanskem okolju strategija, ki podpira odpuščanje, sodelovanje, spravo, lahko postane evolucijsko stabilna, saj prinaša več koristi v obliki zavezništev, prijateljstev, varnosti, sprejetosti, simpatije, reproduktivnih priložnosti.

Naposled pride do genetske asimilacije – fiksacije genetskih predispozicij, ki strategijo podpirajo, saj ta poveča biološko krepkost tistih, ki ji sledijo. S povečanjem biološke krepkosti pa naravna selekcija favorizira mutacije, ki povečujejo zanesljivost njenega izražanja. Naravna selekcija favorizira tiste gene, ki spodbujajo stabilno strategijo, npr. gene, ki podpirajo miroljubno vedenje, neagresivnost,

empatijo, samonadzor ipd. Tako se nova genetska predispozicija v populaciji utrdi – seveda ne samo v enem človeku, ampak po številnih generacijah.

Teorija evolucijskih iger pa vključuje tudi pojem kulturno-genetske koevolucije (angl. *Gene-culture Coevolution*) (Boyd in Richerson 1985), pri kateri pride do medsebojnega prepletanja med kulturo in genetiko. Tiste kulture, ki spodbujajo vladavino prava, odpuščanje, sodelovanje, spravo, miroljubnost, zmanjšujejo evolucijsko korist agresivnega vedenja in omogočajo boljše uspevanje posameznikov z genetskimi predispozicijami za samonadzor, zmernost, empatijo, neagresivnost ipd. – ti imajo lahko več zavezništov, stabilnih odnosov in potomcev. Kultura ima torej moč spreminjati evolucijske pogoje igre, saj s spreminjanjem okolja spremeni selekcijski pritisk, s čimer pride do premika v genetskih predispozicijah populacije.

## 7. Sklep

Teorija evolucijskih iger (in z njo povezan pojem kulturno-genetske koevolucije) nam ponuja možnost za domnevo, da lahko krščanska kultura okolje teoretično spremeni do te mere, da s tem spremeni selekcijski pritisk in tako potek človeške evolucije, s čimer krščansko mesijansko upanje o prenovi človeštva dobi teoretično podlago. Kot pravi teorija, je treba najprej doseči pojav evolucijsko stabilne strategije. To v primeru krščanstva pomeni, da bi bilo treba strategijo maščevanja s strategijo sprave zamenjati v tolikšni meri, da bi jo uporabljala celotna populacija. Če upoštevamo dejansko stanje človeške družbe – tudi slovenske populacije –, lahko kaj hitro ugotovimo, da smo še daleč od tega, da bi strategijo sprave splošno sprejemala vsa populacija. Maščevanje kot odziv na storjeno krivico je namreč še vedno glavni mehanizem, ki se nagonsko vklopi vedno, kadar nam nekdo krati pravice. Poleg tega spreobrnjenje posameznikov ni zgolj rezultat prizadevanja njih samih, ampak je v prvi vrsti Božja milost. Kot beremo v katekizmu: »Spreobrnjenje je predvsem delo božje milosti, ki stori, da se naša srca vrnejo k Bogu.« (KKC, §1432) To pomeni, da je pri preobrazbi človeštva treba sodelovati tudi s Troedinim Bogom. To pa je tudi v skladu s cerkvenim učiteljstvom, ki človeka pojmuje kot Božjega sodelavca v njegovem stvariteljskem zveličavnem načrtu (prim. papeške okrožnice *Redemptor hominis* tč. 16–17; *Laborem exercens* tč. 25; *Caritas in veritate* tč. 34; *Laudato si* tč. 67–69).

Dobra ugotovitev je, da je mala ledena doba moderne dobe danes minila – ne zgolj metaforično, ampak tudi dejansko, saj se je evropsko podnebje občutno ohladilo med leti 1550 in 1880 – in da so nastopili toplejši, pomladni ali skoraj že poletni časi, ko sodobna znanost človeka ne pojmuje več kot ujetnika determinizma usode in kaosa naključja. V luči razširjene evolucijske sinteze človek ni več pasivni proizvod naravne selekcije, temveč soustvarjalec evolucijskih sprememb, saj je naključje po tej teoriji v službi genetske utrditve strategij preživetja, ki se jih organizmi poslužujejo in s tem – nezavedno ali zavestno (človek) – usmerjajo smer evolucije.

S tem pa sodobna znanost pušča priprta vrata za krščansko razumevanje človeka, ki je, kot pravi sv. Irenej, »razumen in s tem podoben Bogu, ustvarjen kot svoboden in kot gospodar svojih dejanj« (KKC, §1730). Tudi na področju antropo-

logije se je pokazalo, da si vera in znanost nista sovražni, ampak v sozvočju in se podpirata. Kot smo pokazali v tem prispevku, je vera razumna, saj je skladna z ugotovitvami sodobne znanosti, hkrati pa je tudi razum, saj je sodobna znanost prišla do ponovnega odkritja človekove svobode, ki je v bistvu osnovna predpostavka katoliške vere – ljubi namreč lahko le svobodno bitje. Seveda je še veliko nerešenih vprašanj, ugank in problemov, toda eno je gotovo – dialog med vero in znanostjo je v polnem teku in kot kaže, si imata povedati še veliko.

## Kratice

EES – Extended Evolutionary Synthesis.

EGT – Evolutionary Game Theory.

KKC – Katekizem Katoliške Cerkve 1992.

## Reference

- Berger, S. L., T. Kouzarides, R. Shiekhattar in A. Shilatifard. 2009. An operational definition of epigenetics. *Genes and Development* 23, št. 7:781–783. <https://doi.org/10.1101/gad.1787609>.
- Boyd, R., in P. J. Richerson. 1985. *Culture and the Evolutionary Process*. Chicago: University of Chicago Press.
- Cambridge Dictionary of Christian Theology*. 2011. Uredil Ian A. McFarland. Cambridge: Cambridge University Press.
- Futuyma, Douglas, in Mark Kirkpatrick. 2022. *Evolution*. 5. izd. Oxford: Oxford University Press.
- Gould S.J. 1990. *Wonderful life: the Burgess shale and the nature of history*. New York, NY: W.W. Norton & Co.
- Grodwohl J. B., in G. A. Parker. 2023 The early rise and spread of evolutionary game theory: perspectives based on recollections of early workers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 378:20210493. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0493>.
- Homer. 2017. *Iliada*. Prev Jelena Isak Kres. Ljubljana: Mladinska knjiga.
- Katekizem Katoliške Cerkve. 1992. Ljubljana: Družina.
- Laland, K. N., T. Uller, M. W. Feldman, K. Sterelny, G. B. Müller, A. Moczek, E. Jablonka in J. Odling-Smee. 2015 The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 282 (1813):20151019. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.1019>.
- Leimar, O., in J. M. McNamara. 2023 Game theory in biology: 50 years and onwards. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 378 (1876):20210509. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0509>.
- Odling-Smee, F. J. 2024. *Niche Construction: How Life Contributes to Its Own Evolution*. : Cambridge, MA: MIT Press
- Purzycki, Benjamin Grant, Theiss Bendixen, Aaron D. Lightner in Richard Sosis. 2022. Gods, games, and the socioecological landscape. *Current Research in Ecological and Social Psychology* 3:100057. <https://doi.org/10.1016/j.cresp.2022.100057>.
- Raju, A., B. Xue, in S. Leibler. 2023. A theoretical perspective on Waddington's genetic assimilation experiments. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 120, št. 51:e2309760120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2309760120>.
- Shan, Yafeng. 2024. The extended evolutionary synthesis: An integrated historical and philosophical examination. *Philosophy Compass* 19, št. 6:e13002. <https://doi.org/10.1111/phc3.13002>.
- Sommer R. J. 2020. Phenotypic Plasticity: From Theory and Genetics to Current and Future Challenges. *Genetics* 215, št. 1:1–13. <https://doi.org/10.1534/genetics.120.303163>.
- Traulsen, A. in N. E. Glynatsi. 2023 The future of theoretical evolutionary game theory. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 378 (1876):20210508. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0508>.
- Van Cleve, J. 2023. Evolutionarily stable strategy analysis and its links to demography and genetics through invasion fitness. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 378 (1876):20210496. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0496>.