

ПОЈАМ ЕМЕРГЕНЦИЈЕ У ФИЛОЗОФИЈИ БИОЛОГИЈЕ: ДРУГАЧИЈЕ РАЗУМЕВАЊЕ ЖИВИХ СИСТЕМА

АНА КАТИЋ*

С а ж е т а к. – Тема рада су два типа емергенције унутар разумевања биолошких ентитета: а) епистемолошка и б) онтолошка емергенција. Иако постоји обимна литература посвећена овом појму (његовим типовима, чак и врстама), тврдимо да се појам онтолошке емергенције најчешће погрешно примењује у научним и филозофским објашњењима комплексних система, стога га формулишемо на другачији начин. Да бисмо истакли у чему је дистинктивно својство једног типа у односу на други, и тиме дали допринос бољем разумевању комплексности биосфере, за тип а) користимо конвенционално прихваћен модел за репрезентовање генетичких регулаторних мрежа, док за тип б) образлажемо зашто треба да буде представљен егзаптацијама. Циљ наше анализе је да укаже, полазећи од основних претпоставки системске биологије, на који начин појам емергенције има значајно место у данашњој филозофији науке и теоријској биологији.

Кључне речи: емергенција, комплексни системи, бинарне генетичке мреже, егзаптације, природна селекција

У првом поглављу дефинишемо појмове епистемолошке и онтолошке емергенције и разлику између њих, затим у другом поглављу детаљније анализирамо први тип емергенције на примеру из математичке биологије, док у последњем, трећем поглављу, дефинишемо други тип емергенције на примеру егзаптација (преадаптација) и изводимо закључке о томе: а) шта нам различито схваћена емергентна својства говоре о биолошким ентитетима и биосфери, даље, б) колико је филозофски појам емергенције битан за савремену филозофију науке и теоријску биологију.

Напомињемо да је наша анализа типолошка, а не само појмовна, како се често поједностављено схвата филозофски аналитички приступ феноменима. Као филозофи, у свом домену истраживања, покушавамо да синтетишемо велику количину података из различитих биолошких дисциплина

* Филозофски факултет Универзитета у Београду, имејл: ana.katic@f.bg.ac.rs

у интегративну биологију. Такође, уколико постоји потреба за употребом филозофских појмова на концептуалном нивоу описивања комплексне динамичке стварности, а у складу са савременом науком, дајемо допринос тиме што не уводимо одређене појмове на некритичан начин, већ их редефинишемо да би одговарали новим сазнајним садржајима о свету који непрекидно еволуира.

1.

Појам емергенције изворно припада филозофском дискурсу [1], а емергентни феномени, као предмет савременог истраживања, блиско су повезани са филозофијом науке, филозофијом духа, биоетицом и са свим наукама које се баве, на концептуалном и/или експерименталном нивоу, анализом комплексних динамичких система од којих су, у овом раду, за нас од битног значаја биологија, екологија и теорије о пореклу живота.

Уобичајено разумевање емергенције је да она представља инхерентну природу комплексних система где целина садржи особине које не налазимо у простом скупу њених појединачних делова [2, 3, 4, 5]. Односно, емергенција подразумева ону врсту понашања система која не може потпуно да се опише једнодимензионалном агрегацијом саставних елемената тог система, чак ни коришћењем модела дводимензионалног линеарног понашања. Другачије речено, емергентном би се назвала она целина за коју се сматра да, полазећи једино од њених саставних делова и правила функционисања, нисмо у стању да, на исцрпан начин, (ре)конструишемо, практично или у смислу објашњења, њену комплексност.

Сматрамо да се на овакав начин описана емергенција исправно назива епистемолошком, зато што се односи на феномене који за нас представљају епистемолошки (сазнајни) изазов описивања и израчунавања њиховог будућег комплексног понашања [6]. Иако постоје закључна разилажења у вези са питањем принципијелне предвидивости понашања таквих система [7, 8], ми се овде опредељујемо да тврдимо да је тешко, али не и немогуће, израчунати сва потенцијална стања епистемолошки емергентних система. Тиме се управо прави битна разлика између овог типа емергенције спрам онтолошке емергенције, која није ни начелно предвидива, а такође карактерише биолошке системе, аспекте еволуције и развића. Разлоге због којих бранимо став предвидивости, то јест принципијелне израчунљивости свих потенцијалних стања комплексног система који је сазнајно емергентан, али не и онтолошки емергентан, излажемо у поглављу 2, где говоримо о примерима из биологије.

Овако дефинисана разлика унутар типологије емергенције, базирана на питању предвидивости понашања комплексног система одавно је позната у литератури. Новина се налази у идеји да та потенцијална предвидивост

комплексног понашања *не* треба да се разуме на основу питања каузалности. Односно, она не треба да се темељи на анализи различитих облика каузалности, где се онда сматра да је узлазна (*bottom-up*) каузалност нешто предвидиво зато што је потпуно описиво на микронивоу, док такозвана силазна (*top-down*) каузалност није предвидива, јер не могу макросвојства система да се редукују на елементарне чланове тог система. Проблематика узлазне и силазне каузалности се односи на разумевање епистемолошке емергенције *искључиво*.

Са друге стране, питање радикалне непредвидивости еволуцијских система у одређеним контекстима њиховог постојања, односно питање онтолошке емергенције, овде је у вези са схватањем природне селекције и селективних ефеката. Такав став представља једну од главних хипотеза нашег рада, а о њој детаљније говоримо у поглављу 3.

Дакле, унутар анализе биолошких система и еволуције биосфере, а полазећи од парадигме системске биологије, сматрамо да је неопходно додатно и дубље разумевање еволуцијских феномена који су, у датим тренуцима времена и под специфичним условима, радикално емергентни догађаји у природи. Онтолошку емергенцију дефинишемо као одлику: 1. одређене врсте система да су, не само практично већ и принципијелно, непредвидиве и непоновљиве (*nonergodic*¹), и 2. целокупне космолошке еволуције, која се одвија на такав начин да сваки следећи ниво постојања (онај који уједно представља и фазни прелаз у том контексту, као што је стварање нове биолошке врсте и/или отворене еколошке нише) карактеришу нове законитости функционисања (нова термодинамичка правила), такве да се не могу ни начелно разумети пуком редукционистичком употребом физичких и хемијских закона, барем не оних које данас имамо. Онтолошка емергенција је радикална у том смислу да ни у начелу не можемо да предвидимо сва будућа стања биосфере: ни као укупност потенцијалних актуализација, ни као укупност остваривог – односно, као оно што може да се догоди и оно што ће се догодити [9, 10, 11].

Аргументација у прилог радикалне емергенције не сме да се схвати и поистовети са експанаторним нихилизмом и песимистичким ставом према могућности објашњења комплексних појава и предикција њихових утицаја. Емергентне системе можемо да моделирамо зато што су сазнајно емергентна својства инхерентна карактеристика сваког комплексног система и тврдимо да су она подложна израчунавању, док су радикално емергентна својства карактеристика еволуцијских система као таквих – она се јављају

¹ Неергодичност значи непоновљивост у смислу да један динамички систем неће достићи сва своја могућа стања, односно да је фазни простор (збир потенцијала) увек већи од актуализованог. Супротно овоме, ергодички стохастички процеси су они код којих, за довољно дуг период времена, постоји једнака вероватноћа да ће проћи кроз сва своја могућа стања, односно да, у крајњој инстанци, остварење сваке могућности није зависно од почетних услова.

спорадично унутар читавог еволуцијског времена постојања врсте или отворених еколошких ниша, а не као својства појединачних бића. Стога, такви модели емергентних система располажу одређеном, мада ограниченом, моћи предикције.

Наш циљ овде је да, између осталог поменутог, истакнемо да развој технологије, која је у функцији научног истраживања, не сме да иде само квантитативном путањом усавршавања мерних могућности, најшире схваћено, већ да треба да се на иновативан начин употребљава, да морају квалитативно да напредују методе истраживања и интерпретације стварности која се усложњава, убрзава и постаје све већи изазов нашим сазнајним способностима. У том смислу, тежиште деловања је на људској одговорности која не сме да има ослонац једино у интелигенцији и стерилној рационализацији/математизацији информација, већ треба да се ослања на имагинацију, интуицију и на фиктивне симулације будућих догађаја, не бисмо ли били корак испред реалних догађаја [12].

Супротно од става да нисмо у стању потпуно да разумемо живе системе *зато што* су радикално емергентни, наша анализа има за циљ да истакне потребу за новим и другачијим концептима истраживања и начинима њихове реализације, да бисмо се приближили бољим и потпунијим објашњењима живота као космолошког феномена *који је* радикално емергентан.

У следећем поглављу детаљније анализирамо оба типа емергенције на примерима из биологије и одговарамо на питања: а) који су формални услови емергенције унутар понашања комплексних система, и б) зашто тврдимо да су принципијелно предвидива епистемолошка, а нису предвидива онтолошки емергентна својства.

2.

Комплексан систем је онај систем код ког постоји мрежа међусобно повезаних интеракција компоненти организованих по одређеним правилима, где не постоји централна контрола, односно не постоји каузална хијерархија. Услови које један комплексан систем треба да задовољи да бисмо га сматрали комплексним нису једнозначно дефинисани и разликују се међу ауторима унутар другачијих научних дисциплина. Ми ћемо овде да прецизирамо неке од услова које претпостављамо да бисмо имали полазишну тачку разумевања. Три су основна услова за било какав комплексан систем: 1. самоорганизација, 2. нелинеарно понашање, 3. емергенција [13]. Самоорганизација и нелинеарно понашање нам говоре о томе да систем може неочекивано да промени образац понашања. У том смислу, прва два услова, на неки начин, имплицирају емергенцију као трећи услов. Речено упрошћено: нелинеаран систем је онај код ког аутопут није пропорционалан инпуту [14], па се због тога сматра да су такви системи непредиктабилни. Ми се не сла-

жемо у потпуности са таквим закључком. На примерима, укратко објашњеним, потрудићемо се да покажемо разлоге неслагања и да прецизирамо додатна два услова која систем треба да испуњава да бисмо га сматрали непредиктабилним у радикалном смислу. У последњем, трећем поглављу, изводимо закључке наше анализе да бисмо видели шта нам емергенција говори о биолошким системима, биосфери и читавој космолошкој еволуцији.

2.1.

О генетичким регулаторним мрежама постоји бројна литература из различитих научних дисциплина, тако да предстоји кратак и једноставан опис овог модела који је довољан да бисмо истакли поенту о томе шта би било епистемолошки емергентно својство неког комплексног система.

Стјуарт А. Кауфман (Stuart A. Kauffman) творац је насумичних бинарних (буловских) модела мрежа (изворно, *random Boolean networks / RBNs*). Оне представљају рачунарску симулацију активности метаболизма и регулације гена. Мрежа се састоји од неколико чинилаца: 1. чворова, где сваки појединачно представља један ген; 2. бинарне функције понашања гена – сваки ген има само две могућности, два стања у којима може да се нађе – *on* и *off*, или 1 и 0; 3. импулса (*inputs*), који се насумично шаљу чворима, као информација да ли се чвор „пали” или „гаси”, имитирајући биолошке гене који су или активни или инхибирани, који се транскрибују или не транскрибују. Слово *N* означава колико има чворова у одређеној мрежи, док слово *K* означава број насумичних инпута гена-контролора ка једном гену-мети². Експеримент се дешава тако што се модел пусти да ради (најчешће синхроно ка свим члановима једног скупа шаље се одређен број инпута), почињући из различитих почетних услова, конфигурација, а мењају се варијабле (*N* и *K*). Систем после одређеног времена, а зависно од броја чворова и инпута, улази у цикличан образац понашања где се понекад јављају одступања, такозвани случајни шум (*random noise*). Ово је кратак и поједностављен опис модела бинарних мрежа, које опет саме за себе представљају, наравно, поједностављен модел биолошких генетичких/метаболичких мрежа [15, 16].

Основна идеја од које је Кауфман започео свој експеримент је да су први или протоорганизми настали као насумично спојене мреже хемијских реакција [15]. Занимало га је да дигиталним експериментима покаже да ли и на који начин произвољно повезане мреже агената бинарних функција могу да дају стабилне обрасце понашања који су одрживи, који улазе у стабилне

² Називи ген-контролор и ген-мета су само хеуристички дати да би читалац могао да визуализује како мрежа функционише – у конкретном моделу, заправо, не постоје контролори, нити мете, зато што се импулси истовремено шаљу од свих чворова ка свим осталим чворовима. Остаје питање за будуће експерименте, колико је такав синхронизитет утемељен на реалној биолошкој динамици или представља идеализацију ради лакшег математизовања података.

циклусе, и тиме да понуди општу метаболичку теорију. За потребе овог рада није неопходно да улазимо у детаље спровођења самог рачунарског експеримента, његову историју, нити у математичке формуле такозваног НК модела (модела који описује добијене обрасце понашања).

Битно је само да истакнемо да се данас, педесет година од настанка, ови модели мрежа користе у различитим биолошким дисциплинама: генетици, имунологији, екологији, биоинформатици, интердисциплинарним студијама комплексних система, чак и у организационој теорији [17, 18]. Њихова архитектура се временом мења и компликује не би ли веродостојније имитирала сложене биолошке или друштвене системе и дала робусније резултате. Због плодности и актуелности овог модела, бирамо баш њега као пример за разумевање епистемолошке емергенције [19, 20, 21].

Оно што је важно да разумемо јесу резултати до којих су Кауфман и колеге, савременици и наследници његовог рада, дошли. У том смислу, за нас од суштинског значаја су три стања (облика понашања) у којима насумичне бинарне мреже једино могу да се нађу, с обзиром на то да је њихова динамика детерминистичка и да је фазни простор таквих мрежа јасно ограничен. Та три облика понашања су: ред (*order*), хаос (*chaos*) и критичност (*criticality* или *edge of chaos*). Критичност, као стање између хаоса и реда, односно између хаоса и потпуног замрзавања [19, 22], постаје парадигма понашања којом се дефинише динамика механизма који одржавају живе системе живим одупирући се ентропији. Сва три облика понашања су касније математизована, дате су теореме за њихову интерпретацију и тиме је досегнута, чини нам се, могућност принципијелног израчунавања сваког, на овај начин објашњеног, комплексног понашања [23, 24].

Хаос \Rightarrow Критичност \Leftarrow Ред

У том смислу, овакве моделе можемо да дефинишемо као емергентне, јер свакако обрасци њиховог понашања нису објашњиви пуким скупом услова који га чине, као што су број чворова, једно бинарно правило функционисања и број импулса који се шаљу сваком чвору посебно (најчешће су то један, два или три импулса), већ тополошким анализом података који се добију када се модел пусти у рад. Такво својство макронивоа који није подложен потпуној редукцији на микрониво јесте емергентно, али у епистемолошком смислу. Дакле, ми можемо сазнајно да му приступимо, али једино постдогађајно – прво смо направили динамички модел да нам разоткрије какви све обрасци на нивоу система/мрежа, а не на нивоу чворова/гена, постоје, па смо тек затим разумели различите облике колективног понашања, то јест разумели смо: 1. шта су детерминистички хаос, а шта је критичност, и 2. како комплексност може да искрсне од релативно једноставних почетних услова. Такво сазнање је имало значајан утицај на теорије о пореклу живота и за разумевање тезе о континуитету између абиогенезе и биогенезе [25, 26, 27].

Када говоримо о предвидивости оваквих система, можемо да тврдимо да су они израчунљиви зато што је фазни простор јасно дефинисан, а сви његови параметри су ограничени. Тако да предикције могу да буду изазов у математичком домену рачунања свих могућих стања система, уколико је реч о већем броју варијабли, али начелно су таква израчунавања, верујемо, могућа.

3.

Рекли смо да теоријско полазиште овог рада представља системска биологија. Неке од њених теоријских претпоставки (експериментално добро поткрепљених), релевантних за нашу тему, следеће су: 1. постоји функционални однос комплексног система са његовом средином, 2. биолошки системи су организационо затворени, али термодинамички отворени системи, и 3. способни су за аутотрансформацију, самоорганизацију, умножавање [28, 29, 30]. Дакле, ми бисмо тако интерпретирали – биолошки ентитети увек постоје унутар себе и, истовремено и неодвојиво, изван себе – у континуираној размени информација са спољашњом средином. Сви биолошки системи настају под одређеним околностима, егзистирају условљени контекстом и мењају се под утицајем епигенетичких и генетичких фактора [31, 32, 33].

Дакле, емергенција код оваквих, еволуцијских и, тврдимо, информативних система,³ није само карактеристика унутрашње природе једне целине, него и динамички исход, новина која се спорадично појављује. Другим речима, тврдимо да су биолошки системи и радикално емергентни, односно да су у одређеном смислу и начелно непредиктабилни,⁴ зато што постоје као отворени системи способни за еволуционе скокове [34], радикалне адаптације након катастрофичких догађаја и функционалну реорганизацију и инвенцију. Та начелна непредвидивост није последица акаузалних процеса, нити многобројности варијабли које не можемо да математизујемо, то јест израчунамо. Она је последица апсолутно случајних иницијалних фактора/узрока, који под специфичним условима дају биолошку новину (било да је то нова функција или нов простор за рађање нове врсте), у статистичком, а не векторском фазном простору. Да бисмо боље објаснили ово апстрактно одређење онтолошке емергенције као карактеристике биолошких система, анализираћемо још један пример, овог пута из еволуционе биологије. Пример ћемо интерпретирати у потпуности онако како је објашњен у изворној литератури, јер га сматрамо изузетно битним.

³ Овде мислимо на неколико нивоа: ниво врсте, ниво еколошке нише, ниво екосистема, ниво биосфере као такве и астробиолошки ниво – односно, ниво целокупне васионе и њеног потенцијала за живот. Такође, тврдимо да постоји међусобна каузална условљеност свих нивоа, што уједно не значи да увек постоји природна селекција за сваку новину, као компонента адаптивне вредности. О овој теми нешто више говоримо у закључном излагању.

⁴ Упркос постојању еволуцијских конвергенција и хомологија, зато што је еволуција, такође, контингентан историјски процес.

3.1.

Пример који ћемо интерпретирати је о рибљем мехуру (*swim bladder, gas bladder, fish maw, or air bladder*). Наиме, познато је да неке рибе имају мехур у којем постоји неутралан потисак између воде и ваздуха. Међусобна количина воде и ваздуха мења се у односу на врсту воде у којој рибе живе, то јест мења се специфична тежина да би риба била у могућности да плута без напора одржања. Како је рибљи мехур настао, можемо да нагађамо, али у овом примеру то није од суштинског значаја. Битна је следећа ствар: када је вода једном ушла у плућа, на овај или онај начин и под једним или другим условима, али потпуно случајним стицајем околности, иако на основу одређених узрочних фактора, добили смо радикално емергентну карактеристику овог биолошког система. Јавља се нова функција у биосфери – неутрални потисак такав да риба може да плута на одговарајућој дубини, а да не троши додатну енергију, и јавља се нова врста – постојање дводихалица. Самим тим добијамо нов правац кретања биосфере, јер су настале нове биолошке врсте које имају гасовити мехур. Али истовремено, имамо и нову отворену еколошку нишу, зато што нове врсте могу да се настане у том мехуру као микрофлора [11].

Шта нам овај пример егзаптације (или Дарвинове преадаптације) говори о биосфери? Говори нам да не можемо унапред да израчунамо све преадаптације зато што: 1. не можемо да направимо листу свих будућих селективних услова за остварење неке преадаптације, и 2. немамо критеријум на основу ког знамо да смо све релевантне услове навели. Природна селекција је утицала на популацију риба да настане функционалан ваздушни мехур, али природна селекција *није* утицала на стварање нове еколошке нише као последице настанка рибљег мехура, у којој нов микроорганизам, на пример, може да се настани. Другим речима и речено у духу језика научног чланка који инспирише цео наш рад: у еволуцији биосфере једнако учествују природна селекција и потпуно неселективно омогућавање (*enablement*) стварања нових функција [11].

“The biosphere without any selection at all is creating its own future possibilities of becoming.” Stuart A. Kauffman [35]

Да поновимо, закључак овог рада је аргументација у прилог радикалне емергенције као својства свих еволуцијских комплексних система (на свим нивоима поменутих у фусноти број 4), које се јавља под: 1. специфичним, 2. нама неизрачунљивим, 3. селективним, али 4. насумичним условима, који имају за једну од својих последица 5. потпуно неселектовану отвореност за будуће еколошке нише. Другим речима, еволуција је не само контингентна већ и креативна, поред чињенице да је адаптабилна и конвергентна. Еволуција, на нивоу биосфере, многоструко је димензионална. Такође да поновимо, оваквим ставовима ми не тврдимо експанаторни nihilizam – ра-

дикална емергенција није квантитативно, него квалитативно својство свих биолошких система и свих система који су настали као производ људске интелигенције (економске, финансијске, социјалне и друге мреже), а потенцијално и као производ суперинтелигенције.

Да ли је ово била пука семантичка дискусија о појму емергенције или представљање битно другачијег разумевања живих система у односу на еволуционистичку биологију? Сматрамо да хипотеза да су биолошки и пост-биолошки системи радикално емергентни није део Дарвинове, нити неодарвинистичке теорије. Такође, сматрамо да је допринос нашег рада у истицању, иако имплицитно, става да нам резонување, логички утемељено, корак по корак, континуирано и линеарно, није довољно да разумемо специфичне комплексне системе, односно процесе. Чини нам се да смо учинили креативан напор да допринесемо разјашњењу појма емергенције и да истакнемо његову употребну вредност унутар филозофије биологије и теоријске биологије. Тиме смо хтели да укажемо на то да теоријска биологија, баш као што то јесте теоријска физика, треба да буде креативнија и слободоумнија када је тумачење биолошке, па и постбиолошке, комплексности у питању.

Захвалница. Захваљујем се Слободану Перовићу, Милану М. Ђирковићу, Срђи Јанковићу и Еви Камерер на свим добронамерним сугестијама, дискусијама и напоменама које су биле од великог значаја, како за време писања овог рада, тако и у претходном периоду.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] За више информација на тему односа између филозофских појмова и науке, видети предавање професора др Ненада Цекића поводом научног скупа *Филозофија и наука*, одржаног у Српској академији наука и уметности: <https://www.sanu.ac.rs/wp-content/videos/filozofija%20i%20nauka/21-October-2020.mp4> 21. 10. 2020.
- [2] *Stanford Encyclopedia of Philosophy / Emergent Properties*, First published Mon Aug 10, 2020, <https://plato.stanford.edu/entries/properties-emergent/> 2. 3. 2021.
- [3] *Internet Encyclopedia of Philosophy / Emergence*, ISSN 2161-0002, <https://iep.utm.edu/emergenc/> 2. 3. 2021.
- [4] Stephan, A. 2006, "The dual role of 'emergence' in the philosophy of mind and in cognitive science", *Synthese* **151** (485), <https://doi.org/10.1007/s11229-006-9019-y> 2. 3. 2021.
- [5] Silberstein, M., McGeever, J. 1999, "The Search for Ontological Emergence", *The Philosophical Quarterly* **49** (195), 201–214.
- [6] Kauffman, S. A. 2019, *A World Beyond Physics: The Emergence and Evolution of Life*, Oxford University Press.
- [7] Goldstein, J., Richardson, K. 2000 [last modified: 2014 Nov 15], *Emergence: A construct amid a thicket of conceptual snares*, *Emergence: Complexity and Organization*, Edition 1, <https://journal.emergentpublications.com/article/emergence/>

- [8] Fromm, J. *Types and Forms of Emergence*, Distributed Systems Group, Universität Kassel, Germany, <https://arxiv.org/ftp/nlin/papers/0506/0506028.pdf>, 1–23.
- [9] Kauffman, S. A. 2016, *Lecture at Institute for the Advance Study of Natural Complex Systems*, Klosterneuburg, <https://www.youtube.com/watch?v=EWo7-azGHic>
- [10] Clayton, P., Davies, P. (eds.) 2006, *The Re-Emergence of Emergence: The Emergentist Hypothesis From Science to Religion*, Oxford University Press.
- [11] Longo, G., Montévil, M., Kauffman, S. A. 2012, *No Entailing Laws, but Enablement in the Evolution of the Biosphere*, Conference Paper, Cornell University, <https://arxiv.org/abs/1201.2069>
- [12] Katić, A. 2020, “The epistemic role of fiction in scientific models”, *Theoria* **63** (3), 5–16.
- [13] Howard, J., Fuller, B. 2010, *MPG2010+ Self-organization in biology*, <https://www.mpg.de/967113/BM08SelfOrgbasetext.pdf>
- [14] Weik, M. H. 2000, “Nonlinear device”, In: *Computer Science and Communications Dictionary*, Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/1-4020-0613-6_12428 2. 3. 2021.
- [15] Kauffman, S. A. 1969, “Metabolic stability and epigenesis in randomly constructed genetic nets”, *Journal of Theoretical Biology* **22** (3), 437–467.
- [16] Kauffman, S. A. 1969, “Homeostasis and Differentiation in Random Genetic Control Networks”, *Nature* **224**, 177–178.
- [17] Gavetti, G., Levinthal, D. 2000, “Looking Forward and Looking Backward: Cognitive and Experiential Search”, *Administrative Science Quarterly* **45** (1), 113–137.
- [18] Levinthal, D. 1997, “Adaptation on Rugged Landscapes”, *Management Science* **43** (47), 934–950.
- [19] Drossel, B. 2007, *Random Boolean Networks*, Cornell University, <https://arxiv.org/abs/0706.3351> 2. 3. 2021.
- [20] Kauffman, S. A., Peterson, C., Samuelsson, B., Troein, C. 2003, “Random Boolean network models and the yeast transcriptional network”, *PNAS* **100** (25), 14796–14799.
- [21] Kauffman, S. A., Peterson, C., Samuelsson, B., Troein, C. 2004, “Genetic networks with canalizing Boolean rules are always stable”, *PNAS* **101** (49), 17102–17107.
- [22] Gross, C. 2008, *Complex and Adaptive Dynamical Systems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [23] Langton, C. G. 1990, “Computation at the edge of chaos: Phase transitions and emergent computation”, *Physica D: Nonlinear Phenomena* **42** (1–3), 12–37.
- [24] Kauffman, S. A. 1993, *The Origins of Order*, Oxford University Press.
- [25] Damer, B. 2016, “A Field Trip to the Archaean in Search of Darwin’s Warm Little Pond”, *Life* (Basel) **6** (2), 21.
- [26] Van Kranendonk, M. J., Deamer, D. W., Djokic, T. 2017, “Life on Earth Came from a Hot Volcanic Pool, Not the Sea, New Evidence Suggests”, *Scientific American* **317** (2), 28–35.
- [27] Fry, I. 1995, “Are the different hypotheses on the emergence of life as different as they seem?”, *Biology and Philosophy* **10**, 389–417.
- [28] Palsson, B. O. 2015, *Systems Biology: Constraint-based Reconstruction and Analysis*, Cambridge University Press.

- [29] Palsson, B. O. 2006, *Systems Biology: Properties of Reconstructed Networks*, Cambridge University Press.
- [30] O'Malley, M. A., Dupré J. 2005, "Fundamental Issues in Systems Biology", *Bioessays* 27 (12), 1270–1276.
- [31] Noble, D. 2006, *The Music of Life: Biology beyond the Genome*, Oxford University Press.
- [32] Perović, S., Miquel, P. A. 2010, "On Gene's Action and Reciprocal Causation", *Foundations of Science* 16 (1), 31–46.
- [33] Svensson, E. I. 2018, "On Reciprocal Causation in the Evolutionary Process", *Evolutionary Biology* 45, 1–14.
- [34] Gould, S. J. 2007, *Punctuated Equilibrium*, Belknap Press.
- [35] Kauffman, S. A. 2017, *Lecture: The Emergent Universe*, CERN.

Ana Katić

THE NOTION OF EMERGENCE IN PHILOSOPHY OF BIOLOGY: A DIFFERENT UNDERSTANDING OF LIVING SYSTEMS

S u m m a r y

The paper deals with the two types of emergence within the understanding of biological entities called: a) epistemological and b) ontological emergence. Although there is extensive literature dedicated to this notion (its types and kinds), we claim that ontological emergence is using wrongly in scientific and philosophical explanations of complex systems, so we formulate it differently. To indicate the distinctive feature between two types of emergence, thus contributing to a better understanding of biological complexity and biosphere, for type a) we use conventionally accepted model of random Boolean networks, while for type b) we justify our choice of exaptations. Our analysis points out, starting from the basic assumptions of systems biology, how the notion of emergence has its significance in today's philosophy of science and theoretical biology.

Key words: emergence, complex systems, random Boolean networks, exaptations, natural selection