

Filozofická fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

Katedra obecné lingvistiky



Interpretace úlohy von Neumannovy sondy v kódové biologii

magisterská diplomová práce

Autor: Bc. Barbora Jurková

Vedoucí práce: Mgr. Lukáš H. Zámečník, Ph.D.

Olomouc

2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem magisterskou diplomovou práci „Interpretace úlohy von Neumannovy sondy v kódové biologii“ vypracoval/a samostatně a uvedl/a jsem veškerou použitou literaturu a veškeré použité zdroje.

V

Olomouci

dne

Podpis

Poděkování

Především bych chtěla poděkovat svému školiteli, Mgr. Lukáši H. Zámečnickovi za vedení práce a cenné rady. Dále bych také chtěla poděkovat za morální podporu, kterou mi byly Mgr. Martina Urbanová a Surina Shah.

Abstrakt

Název práce: Interpretace úlohy von Neumannovy sondy v kódové biologii

Autor práce: Bc. Barbora Jurková

Vedoucí práce: Mgr. Lukáš H. Zámečník, Ph.D.

Počet stran a znaků: 68, 124 033

Počet příloh: 0

Tato práce pojednává o možném znovuzavedení konceptu von Neumannova univerzálního konstruktéru jako možného mechanistického modelu pro živé systémy. John von Neumann spolu s Kurtem Gödelem a Alanem Turingem stál u zrodu teorií o umělém životě a také umělé inteligence. Na jeho pionýrský projekt univerzálního konstruktéru později bylo znovu upozorněno biologem Howardem Patteem, který ho považuje za možný model otevřené evoluce systému. Sebe-replikace a sebe-reference kódu je zkoumána jako jedno ze stěžejních témat v současné kódové biologii, setkáme se s tím například u Marcella Barbieriho či Abira Igamberdieva. Jejich přístupu ke kódům a živým systémům ukazují, že je to stále prostor pro větší uplatnění komputačních teorií, a především pak mechanistických přístupů, jako je právě Turingův univerzální stroj či von Neumannův univerzální konstruktér. Nejdříve je představen univerzální konstruktér po formální i technické stránce. Následně je zde vysvětleno, jakým způsobem je řešena problematika kódu v kódové biologii. V poslední části je ukázáno, jakým způsobem von Neumannův konstruktér splňuje požadavky kódové biologie a je možné ho uplatnit jako mechanistický model.

Klíčová slova:

Kódová biologie, von Neumannova sonda, sebe-reference, sebe-replikace, mechanistické modely

Abstract

Title: The Interpretation of the von Neumann Probe's Role in Code Biology

Author: Bc. Barbora Jurková

Supervisor: Mgr. Lukáš H. Zámečník, Ph.D.

Number of pages and characters: 68, 124 033

Number of appendices: 0

This thesis discusses the possible reintroduction of the concept of von Neumann's universal constructor as a possible mechanistic model for living systems. John von Neumann, together with Kurt Gödel and Alan Turing, was at the origin of theories of artificial life and also of artificial intelligence. His pioneering project, universal constructor, was later revisited by biologist Howard Patte, who considered it as a possible model for open system evolution. Self-replication and self-reference of code is explored as one of the central themes in contemporary code biology, encountered, for example, in the works of Marcello Barbieri and Abir Igamberdiev. Their approaches to codes and living systems show that there is still a way to make computational theories, and especially mechanistic approaches such as just Turing's universal machine or von Neumann's universal constructor, more applicable. In the first part is the universal constructor introduced formally and technically. In the second part, it is explained how the problem of code is addressed in code biology. In the last section it is shown how the von Neumann constructor satisfies the requirements of code biology and can be applied as a mechanistic model not only for code biology.

Keywords:

Code biology, von Neumann probe, self-reference, self-replication, mechanistic models

Obsah

Úvod.....	7
1 Univerzální konstruktér.....	9
1.1 John von Neumann: historické pozadí osobnosti	9
1.2 Historické pozadí von Neumannovy sondy.....	11
1.3 Architektura univerzálního konstruktéru.....	15
1.3.1 Úvod do problematiky	15
1.3.2 Formální zápis univerzálního konstruktéru	16
1.3.3 Automat <i>D</i>	19
1.3.4 Otevřená evoluce	19
1.3.5 Modely konstruktéru.....	20
1.3.6 Některé orgány konstruktéru a jejich funkce.....	22
2 Kódová biologie kontra biosémiotika	25
2.1 Mezi přírodovědnými a humanitními obory.....	25
2.2 Problematika kódu a jeho zařazení.....	25
2.3 Co vše je kód?.....	27
2.4 Kód v kódové biologii	29
2.5 Kódová biologie v kontrastu biosémiotiky.....	32
2.5.1 <i>Tři světy</i>	34
2.6 Otázka modelů v kódové biologii.....	37
3 Von Neumannova sonda jako model	40
3.1 Člověk jako dobrý hodinový stroj	40
3.2 Von Neumannova sonda modelem v kódové biologii.....	42
3.3 Von Neumannova sonda a práce s kódem.....	43
3.4 Von Neumannova sonda a kódová biologie	52
3.5 Univerzální konstruktér jako systém	55
3.6 Napříč dualitou	61
Závěr	63
Literatura a zdroje	65

Úvod

Tato práce se zaměřuje na možné uplatnění von Neumannova univerzálního konstruktéru jako mechanistického modelu v kódové biologii. Jedním z důvodů je schopnost univerzálního konstruktéru provádět sebe-replikaci na základě nutné sebe-reference, která je v něm uložena.

Hlavním cílem této práce je ukázat von Neumannovu sondu a mechanickou formu sebe-replikace jakožto vhodný mechanistický model zejména pro kódovou biologii. Koncept univerzálního konstruktéru je zde přebírán bez úprav tak, jak ho představil John von Neumann nejdříve v roce 1951 a posléze v knize *Theory of self-reproducing automata*.

První část práce se věnuje historickému kontextu a technické stránce práce Johna von Neumanna. Zaměřená je především na univerzální konstruktér. Ten je tu rozebírán do detailu zejména z formálního hlediska. Je vysvětlena celá konstrukce sondy a postupně ilustrován proces sebe-replikace. Z technického hlediska je nastíněna činnost některých klíčových orgánů sondy, přičemž klíčová je především paměť.

V druhé části práce je věnován prostor kódové biologii a částečně také biosémiotice. Nejdříve je zaveden kód v co nejširším pojetí a následně je ukázáno, jak je chápán Marcellem Barbierim a dalšími vědci z jeho okruhu. Pro důkladnější pochopení této problematiky je zde nastíněno i to, jak je chápán kód v rámci biosémiotiky, aby mohly být ilustrovány některé základní rozdíly.

Poslední část je zaměřena na koncept mechanického modelu a jeho uplatnění. Pozornost je soustředěna na tři významné osobnosti biologie, Marcella Barbieriho, Howarda Patteeho a Abira Igamberdieva. Všichni tři uplatňují pro své teorie o živých systémech mechanistické modely, každý má však svoje specifikace. Koncept von Neumannova univerzálního konstruktéru se objevuje u všech, avšak u Patteeho a Igamberdieva je kladen o něco větší důraz na počítačnou teorii a matematiku. Tento přístup vrhá na problematiku nové světlo.

Jedná se o teoretickou práci, která je vystavěna na konceptuální analýze zdrojů. Pro historický kontext byly využity především ego dokumenty typu osobní korespondence či memoáry blízkých osob. Zkoumání a využití těchto dokumentů pomohlo nejen

osvětlit historický kontext ale zároveň poukázat na skutečnosti, které nebývají brány v potaz, jako jsou některé osobní vztahy.

V rámci této práce je poukazováno zejména na důležitost mechanistického modelování a daleko rozsáhlejší využití matematiky v rámci živých systémů. Jedním z možných příkladů je právě von Neumannova sebe-replikační sonda. Na základě výchozích textů Marcella Barbieriho, Howarda H. Patteeho a Abira U. Igamberdieva je vystavěna argumentace pro zavedení von Neumannovy sebe-replikující se sondy právě jako vhodného mechanistického modelu. Tato argumentace je budována postupně v rámci celé práce. Je zde snaha poukázat na to, že ačkoliv von Neumannův konstruktér není přesnou mechanistickou replikou organismu, stále vyhovuje podmínkám, které pro kódovou biologii stanovil právě Barbieri.

1 Univerzální konstruktér

1.1 John von Neumann: historické pozadí osobnosti

John von Neumann byl matematik a fyzik, původem z Maďarska, ale během svého života působil převážně v zahraničí. Vlivem dějinných událostí v Evropě v první polovině 20. století se von Neumann přesunul do Spojených států, kde působil především jako profesor matematiky v rámci *Institutu pro pokročilá studia*¹ a během druhé světové války posléze pracoval pro americkou vládu. Částečně v oblasti tehdejší informatiky, ale také spolupracoval s dalšími vědci v Los Alamos na Projektu Manhattan. Do historie se však zapsal především jako jeden z otců moderních počítačů, respektive jejich architektury, ale také jako jedna z předních osobností kybernetiky a teorie umělého života.²

V rámci teorie umělého života a potažmo i umělé inteligence, přichází John von Neumann s velice zajímavým konceptem, který se znovu postupně dostává do popředí některých dnešních vědeckých odvětví. Jedná se *univerzální konstruktér*, který je dnes známý spíše jako von Neumannova sonda. Ve stručnosti se jedná o stroj, který je schopný sebe-replikace.

Tento von Neumannův sebe-replikující se stroj je založen na teorii univerzálních automatů tak, jak ji ve 30. letech představil svým článkem *On Computable Numbers* Alan Turing.³ Sám von Neumann se touto oblastí začal zabývat během druhé poloviny 40. let a nejvíce ke sklonku svého života. Jako první výraznou práci v tomto ohledu lze pokládat přednášky přibližně z roku 1945⁴, které se dochovaly pouze v rámci pozůstalosti von Neumannova kolegy z Los Alamos Hermana H. Goldstinea. Tyto

¹ Jedná se o Institute of Advanced Study, které je součástí univerzity v Princetonu.

² MACRAE, Norman: *John von Neumann: The scientific genius who pioneered the modern computer, game theory, nuclear deterrence, and much more*. Plunkett Lake Press. 2019.

³ TURING, Alan: *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem in Proceedings of the London Mathematical Society* 42/2. no. 1. 1937. s. 230–265.

⁴ HAIGH, Thomas, PRIESTLEY, Mark: *Von Neumann thought Turing's universal machine was 'simple and neat.': but that didn't tell him how to design a computer in Communications of the ACM* 63, no. 1. 2019. s. 26–32.

přednášky se zabývaly problematikou tzv. vysokorychlostního výpočtu.⁵ Von Neumann zde představuje Turingův univerzální stroj a zejména jeho možnou roli v budoucím vývoji nově rozvíjejících se oblastí informatiky a kybernetiky. Pro von Neumanna představuje univerzální stroj jednoduchý základ pro všechny jeho teorie v této problematice. Nastiňuje zde i to, co rozvíjel ve svých pozdějších pracích, a to je spojení automatu s umělým neuronem. Von Neumann ve své práci spojuje všechna hlavní témata, kterými se zabývala část vědecké obce zejména v první polovině 20. století.⁶

V tomto duchu jsou i další von Neumannovy práce z 50. let. Chronologicky se jedná nejprve o další přednášku *The General and Logical Theory of Automata*⁷, kterou von Neumann přednesl v roce 1951 v Pasadeně. V současné době je možné její tištěnou verzi najít v sebraných spisech⁸ i s diskusí, která později proběhla a jíž se účastnili i vědci jako McCulloch⁹, kteří stáli u zrodu teorie umělých neuronových sítí.

Během padesátých let von Neumann pracoval na dvou stěžejních publikacích, které ale již nestihl dokončit a obě byly vydány až posmrtně. Jedná se o *Theory of self-reproducing automata*¹⁰ a *The Computer and the Brain*.¹¹ V případě *The Computer and the Brain* došlo k vydání krátce po von Neumannově smrti, v roce 1958, jednalo se totiž o připravované přednášky s tématem počítačů a umělých neuronových sítí. V současné době je k dispozici třetí vydání z roku 2012. V druhém případě, *Theory of self-*

⁵ Některé specifické termíny nemají přesný český ekvivalent, jejich překlad je tedy čistě pro potřeby této práce.

⁶ VON NEUMANN, John: *Theory of self-reproducing automata*. Urbana and London: University of Illinois Press. 1966.

⁷ VON NEUMANN, John: *Collected Works: Volume 5: Design of Computers, Theory of automata and Numerical Analysis*. eds. A. H. Taub. Pergamon Press. 1963.

⁸ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963.

⁹ McCulloch a Pitts se tradičně považují za jedny z prvních, kdo se do hloubky věnovali umělým neuronovým sítím. Ve svém nejznámějším článku z roku 1943 *a logical calculus of the ideas immanent in nervous system* se snaží do umělé neuronové sítě zapojit také Turingův stroj. (MCCULLOCH, Warren S.; PITTS, Walter.: *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity in The bulletin of mathematical biophysics*. 1943, 5.4. 115-133.

¹⁰ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966.

¹¹ VON NEUMANN, John: *The computer and the brain*. New Haven and London. Yale University Press. 2012.

reproducing automata, stihl von Neumann zpracovat první část knihy, která se velice podrobně věnuje právě teorii univerzálních automatů. Druhá část této knihy, která už je zaměřena přímo na automat schopný sebe-replikace a sebe-replikaci jako takovou, byla vypracována zejména na základě přednášky z Pasadeny. Zkompletována a okomentována byla W. Burksem a následně vydána až v roce 1966, devět let po von Neumannově smrti.

Von Neumann bohužel zemřel mladý. Jako oficiální diagnóza a příčina smrti se uvádí leukemie, ale je velice pravděpodobné, že rakovina se u von Neumanna nejdříve vyskytla ve slinivce a posléze se rozšířila do celého těla. Jedná se o následek jeho činnosti v Los Alamos, konkrétně práce na atomové bombě. John von Neumann umírá v nemocnici 8. února 1957, kde byl až do svých posledních okamžiků hlídán, aby neohtrožil bezpečnost státu.¹²

Během svého života John von Neumann navázal kontakty a přátelství, která ovlivňovala i jeho intelektuální činnost. Za zmínku stojí především dlouholeté přátelství s Kurtem Gödelem, jehož důkaz¹³ byl nejen klíčový pro tehdejší vědeckou obec, ale von Neumann o něj opírá i svoji vlastní práci na sebe-replikační sondě. Gödel a von Neumann patřili k vědcům, kteří se kvůli situaci ve válečné Evropě přesunuli do Ameriky, konkrétně do Institutu pro pokročilá studia na Princetonu. Právě Princeton byl v tehdejší době živnou půdou pro mnohé vědecké kapacity. Von Neumann zde později přichází se svými nejznámějšími teoriemi.

1.2 Historické pozadí von Neumannovy sondy

První polovina 20. století byla bohatá na převratné vědecké objevy, ať už se týkaly matematiky, fyziky či biologie. Některé dokonce otřásly základy vědy, jako tomu například bylo u Gödelových důkazů. Pravděpodobně největší inspirací pro tehdejší vědeckou obec a další generace se stala práce Erwina Schrödingera. Průkopník kvantové teorie se zabýval také filozofií a během svého života napsal hned několik podnětných

¹² MACRAE, Norman: *ibidem*.

¹³ GÖDEL, Kurt: *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I* in *Monatshefte für Mathematik und Physik. Akademische Verlagsgesellschaft*. Leipzig 38. 1931. 173–198.

esejí, z nich asi největší vliv měla práce z roku 1944, *What is Life?*. Tato kniha, zejména během 50. let, podnítila výzkum genetické informace, protože Schrödinger hovoří jako jeden z prvních o genetické informaci na bázi chemie a v přeneseném slovo významu i o životě na bázi chemie.¹⁴

Nejen působení Schrödingera a dalších vědců, jako byl například Einstein, mohlo za poměrně rychlý vývoj nových teorií. Společně s rozvojem informačních technologií, který byl zapříčiněn druhou světovou válkou, se poprvé do popředí dostává teorie informace a kybernetika. Shannon a Weaver publikují model komunikace, který spadá do teorie informace, nejprve v roce 1948 jako článek, o rok později jako knihu.¹⁵ Právě teorie informace a práce Shannona a Weavera se částečně překrývají i s kybernetikou. Za zakladatele této disciplíny je považován Norbert Wiener a svou publikací *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and Machine*¹⁶ kybernetiku zpopularizoval nejen v rámci vědeckých kruhů. Kybernetika se tehdy považovala za vědu, která v sobě sloučí nejen rozvíjející se studium komunikace a řízení, ale také překlene pomyslnou propast mezi lidmi a stroji.¹⁷ Dále lze zmínit práci Warrena McCullocha a Waltera Pittse, kteří počátkem 40. let jako první přicházejí s návrhem umělého neuronu a umělé neuronové sítě.¹⁸ John von Neumann do tohoto schématu zapadá také. Ke konci 40. let a hlavně během 50. let až do konce svého života se věnoval teorii automatů a představuje svůj *buněčný automat*¹⁹, který v rámci této práce bude rozebírán později.

John von Neumann byl jedním z mnoha, kdo se během druhé světové války věnoval informačním technologiím, šlo samozřejmě především o šifrování a dešifrování zpráv. Další podněty pro svou práci v této zkušenosti nenašel pouze on, ale i mladý britský matematik Alan M. Turing. Von Neumannova a Turingova činnost se

¹⁴ SCHRÖDINGER, Erwin. *What is life?: With mind and matter and autobiographical sketches*. Cambridge university press. 2012.

¹⁵ SHANNON, Claude Elwood; WEAVER, Warren: *The mathematical theory of communication*. Univ. 1949.

¹⁶ WIENER, Norbert: *Cybernetics: Control and Communication in the Animal and the Machine--2nd*. 1961.

¹⁷ GLEICK, James. *Informace: historie, teorie, záplava*. Praha: Argo. 2013. s. 190-194.

¹⁸ MCCULLOCH, Warren S.; PITTS, Walter: *ibidem*.

¹⁹ VON NEUMANN, John: *ibidem*. 1966. s. 265-271.

v některých momentech překrývá, i když v současné době se jedná zejména o spory ohledně vynálezu počítače. Obecný konsensus dnes připisuje zásluhy oběma vědcům. Jak už ale bylo řečeno, von Neumann se přibližně v posledním desetiletí svého života věnoval především teorii automatů, hlavně těch univerzálních.

S touto teorií přichází v roce 1937 právě Alan Turing v článku *On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem*.²⁰ Právě zde Turing představil univerzální stroj, který dnes známe jako Turingův univerzální stroj. Jednoduše lze říci, že tento stroj řeší akceptovatelnost a rozhodnutelnost zápisu dalšího automatu, který mu byl předložen. Turing zde používá obdobný postup jako je Gödelovo číslování, kde každý aritmetický výrok má své unikátní a vypočitatelné číslo. V případě Turinga se však jedná zejména o to, že takovýmto číslem dokáže být reprezentován celý automat.

Sám Turing provedl ještě několik oprav a úprav nejen článku, ale celkového konceptu univerzálního automatu, nejvýrazněji asi ve své dizertaci z roku 1939 *Systems of Logic based on Ordinals*, kde Turing ke svému klasickému komplexu přiřazuje ještě *oraculum*, které lze nejlépe popsat jako black box, který dokázal dopředu rozhodovat o výsledku.²¹ Tato *o-machine* je dnes spíše standartním argumentem v oblasti umělé inteligence.²² Turingův univerzální stroj byl několikrát upraven i dalšími vědci, mezi nejvýraznější a pravděpodobně nejznámější úpravy patří ta od Emila Posta, který zjednodušil některé kroky automatu.²³

John von Neumann byl s touto teorií velice dobře seznámen. Dokazují to nejen jeho pozdější publikované práce, o kterých zde ještě bude hovořeno, ale především přednášky, které pravděpodobně pronesl koncem 40. let a které se dochovaly pouze v pozůstalosti Hermana H. Goldstinea, jak už bylo zmiňováno výše. V těchto přednáškách von Neumann Turingovu práci velice detailně rozebírá. Podobně tomu tak je i v přednášce z roku 1951 a následně i v knihách *Theory of Self-reproducing Automata*

²⁰ TURING, Alan: *ibidem*, 1937.

²¹ TURING, Alan: *Systems of logic based on ordinals* in *Proceedings of the London Mathematical Society* 2. no. 45. 1939. s. 161–228.

²² HAVLÍK, Vladimír: *Kurt Gödel a AI* in *Meze formalizace, analytičnosti a prostoročasu*, eds. Tomáš Čana and Vladimír Havlík. Praha. Filosofia. 2007. s. 161-177.

²³ POST, Emil L: *Recursive unsolvability of a problem of Thue* in *The Journal of Symbolic Logic*. 1947. 12.1. s. 1-11.

a později *The Computer and the Brain*. Jak už bylo zmíněno, obě tyto knihy vyšly posmrtně, nicméně v tématu se místy překrývaly.

V obou případech je to ilustrace toho, jak von Neumann chápe problematiku univerzálních automatů. Liší se však aplikace. V případě *The Computer and the Brain* se jedná o návaznost převážně na teorii umělých neuronů a neuronových v sítí, což je následně vztaženo na vytváření něčeho, co bychom dnes chápali jako teorii umělé inteligence. *Theory of Self-reproducing automata* pak problematiku umělých neuronů částečně řeší také, ale celá je věnována právě konceptu sebe-replikace a univerzálního konstruktéru, který dnes známe jako von Neumannovu sondu.

Co je důležité podotknout, jedná se o teoretické práce. John von Neumann ve všech úvodech, ať už se jedná o přednášku či knihy, jasně zdůrazňoval, co je jeho oblast výzkumu a na které části rozhodně odborníkem není. Vždy poukazoval na matematický a částečně i logický aspekt celého problému. Co se reálnosti týče, jednalo se z jeho strany spíše o mechanistické modely. Von Neumann v té době měl jenom velice omezené možnosti poznání, hlavně co se týká anatomie nervové soustavy.²⁴

I přes to, že von Neumannova práce je z velké části pouze teoretická, už ve své době vzbuzovala zájem a dnes se opět dostává do popředí, zejména díky Howardu Patteemu.²⁵ Von Neumann dokázal vystihnout některé velice podstatné problémy, které se většinou týkají práce s kódem v závislosti nejen na sebe-replikaci, ale také případnou evoluci. Dříve, než však bude předložena argumentace pro užitečnost von Neumannovy sondy jakožto modelu v oblasti zejména kódové biologie, je nutné představit samotný konstruktér tak, jak ho John von Neumann navrhl. Pro potřeby této práce se jedná především o formální popis celé sondy a jejího fungování.

²⁴ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 2012.

²⁵ PATTEE, Howard: *The Physics and Metaphysics of Biosemiotics* in *Journal of Biosemiotics* 1. 2005. s. 281–301.; PATTEE, Howard; KULL, Kalevi: *A biosemiotics conversation: Between physics and semiotics* in *Sign System Studies* 37. no. ½. 2009. 331-321.

1.3 Architektura univerzálního konstruktéru

1.3.1 Úvod do problematiky

V rámci této části bude nejdříve uveden formální popis univerzálního konstruktéru a posléze vysvětleny některé jeho základní orgány. I přes to je ale pro lepší pochopení sondy jako celku nutné uvést některé čistě technické aspekty sondy. Jak zde již bylo několikrát zmíněno, von Neumann svoji práci opírá zejména o práci Alana Turinga. Turingův univerzální stroj²⁶ je zde brán jako výchozí jednotka, která je obsažena v každé *buňce* tohoto konstruktéru. Z těchto buněk se posléze skládají jednotlivé orgány, které tu budou teprve představeny, a z těchto orgánů je sestaven samotný univerzální konstruktér.²⁷ Tento koncept je jeden z mnoha důvodů, proč je von Neumannova sonda řazena na počátek programu umělého života.

Pro lepší pochopení – Turingův univerzální stroj si lze představit jako čtecí zařízení, skrze které prochází nekonečně dlouhá páska rozdělaná na jednotlivá políčka, kde právě jedno políčko obsahuje jediný symbol, dnes vesměs uvažujeme o binárním kódu.²⁸ Nicméně von Neumann v tomto bodě podnikl drobné úpravy, kdy se zbavil takovéto lineární paměti, tedy Turingovské pásky, a nahradil ji programem, který má stejné vlastnosti jako páska.²⁹

Von Neumann se ve své práci snažil ilustrovat rozdíly a podobnosti mezi strojem a organismem. Lze to sledovat napříč jeho přednáškami a publikacemi. Pravděpodobně nejvíce znatelné je to v knize *The Brain and the Computer*, kde se zamýšlí nad možnou reprezentací inteligence na bázi té lidské za pomoci počítačů. V případě univerzálního konstruktéru můžeme sledovat jistou podobnost mezi výstavbou organismus a výstavbou konstruktéru samotného. Svědčí o tom i von Neumannem užívané termíny, jako jsou buňka či orgány.

²⁶ TURING, Alan: *ibidem*, 1937.

²⁷ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 106-107.; 132-151.

²⁸ TURING, Alan: *ibidem*, 1937. s. 234.

²⁹ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963 s. 316-317.

1.3.2 Formální zápis univerzálního konstruktéru

Než se však budeme zabývat ve zkratce orgány sondy a podobností stroje a organismu, je nutné si zavést univerzální konstruktér po jeho formální stránce. Von Neumannova sonda, sebe-replikace a potažmo i evoluce, se dnes shrnuje do jednoduše vypadající rovnice. Sám von Neumann ji v rámci své práce neuvádí, ale zejména díky práci Howarda Patteeho je dnes všeobecně přijímána.

$$(A + B + C) \rightarrow \varphi (A + B + C) = (A' + B' + C') \rightarrow \varphi (A' + B' + C')^{30}$$

Jednotlivé členy rovnice buďto označují automat nebo důležitou součást automatu. Výše uvedená rovnice není kompletní, alespoň tedy v tom smyslu, jak ji posléze von Neumann rozvíjí v případě možné evoluce. Člen, který není v rovnici vyjádřen, ale bude o něm často hovořeno, je I, které jakožto symbol zastupuje instrukce, které jsou sondě předány a kterými se řídí. Podle těchto instrukcí I je následně sestrojen nový automat. Informace obsažená v konstruktéru, tedy jeho vlastní sebe-reference, je označována jako L a funkce této části konstruktéru bude rozebírána později.³¹

První člen v rovnici, v tomto případě má označení A, je základní automat, který von Neumann zavádí. Lze si ho do jisté míry představit jako univerzální stroj, který navrhuje Turing. Nicméně jsou zde dva základní rozdíly. Ten největší spočívá v tom, že von Neumann se v rámci své práce zbavuje nekonečně dlouhé pásky, na které je zápis. Místo toho pro fungování konstruktéru zavádí L.³² V určitém slova smyslu tento člen L můžeme pokládat za software, kterým se sonda řídí, ať už v otázce vlastní existence či sestavování nového automatu. Jedná se o zápis o univerzálním konstruktéru. To, že univerzální konstruktér obsahuje svůj vlastní zápis, je jednou z podmínek ke schopnosti provádět sebe-replikaci.³³

³⁰ PATTEE, Howard. H.: *ibidem*, 2005. s. 8. Jak již bylo řečeno, von Neumann tuto rovnici přímo neuvádí, nicméně v rámci přednášky z roku 1951 jsou některé části rovnice načrtnuty. V knize *Theory of self-reproducing automata* je pak následně tato rovnice rozepsána po jednotlivých bodech, takže vztahy vyjádřené tímto formální zápisem jsou jasné.

³¹ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316-318.

³² VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 112-130.

³³ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 316-318.

Právě takovýto automat A by měl být schopný zkonstruovat jakýkoliv další automat, jehož zápis dostane k dispozici. Může se jednat o automat, který je naprosto totožný, nebo to může být kompletně nový automat. Problém ale v tomto okamžiku spočívá v tom, že A postrádá některé nutné funkce, které jsou klíčové proto, aby sestavení dalšího automatu proběhlo přesně tak, jak má. Lze si to představit tak, že tento hypotetický automat A bude umístěn do prostředí, ve kterém má k dispozici nejen instrukce, ale i veškerý materiál nutný pro to, aby se mohl zadanými instrukcemi řídit. Jenže to je také to jediné, co by byl schopný automat A udělat. Sestrojit další automat podle předaného zápisu. Dle von Neumanna je však nutné, aby univerzální konstruktér jako celek byl schopný sestavit i mnohem komplikovanější a větší automaty, než je on sám.³⁴

Celá von Neumannova teorie je posléze unikátní právě v konceptu sebe-replikace, která by ale v případě pouhého automatu A neprobíhala na žádné vyšší úrovni. Proto je nutné, aby von Neumann zavedl do rovnice další členy, které v rámci celého procesu budou mít své funkce.

Další část rovnice je člen B. Ve své podstatě se jedná o další automat, tentokrát ale s poněkud rozšířenými funkcemi. Podobně jako A, i B je schopné postavit další automat na základě předaných instrukcí. Oproti A má ale B jednu funkci navíc. Automat B je schopen zkopírovat zápis I a ten v daný moment existuje jako samostatná entita. Pokud zachováme metaforu pásky, tak, jak to v tomto případě dělá von Neumann, ve své podstatě jde o to, že B je schopno přečíst pásku a následně natisknout druhou, kompletně stejnou. Prosté kopírování informací. Již bylo řečeno, že i B je schopno konstruovat další automaty, platí stále podmínky, že mohou být větší a složitější, nicméně jeho primární funkcí je právě kopírování I, instrukcí, které byly konstruktéru předány.³⁵

V tento okamžik tedy existují dva automaty, A a B, které jsou oba schopny stejné činnosti, tedy konstruování dalších automatů na základě poskytnutých instrukcí, ale B ještě navíc dokáže zkopírovat danou instrukci I a předat ji dále. Nicméně, jedná se o dvě samostatné jednotky, které momentálně nejsou schopny jakékoliv spolupráce.

Z tohoto důvodu von Neumann zavádí do rovnice další člen, a to C. Rozdíl spočívá v tom, že zatímco A a B jsou automaty v tom slova smyslu, jak jsou definovány

³⁴ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316-318.

³⁵ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316-318.

univerzální automaty, C je ve své podstatě pouze jednoduchá funkce. Pro fungování A a B dohromady a celkový průběh sebe-replikace je však naprosto nezbytný. Funkce C se dá chápat jako kontrolní program. V okamžiku, kdy je konstruktéru předána instrukce I, tak C rozhodne, že tento zápis bude nejdříve předán automatu A, který podle I sestrojí nový automat. V okamžiku, kdy je tato část hotova, C vydá pokyn pro automat B, aby zkopíroval instrukci I a předal ji do nově vytvořeného automatu, který byl vytvořen A.³⁶

Von Neumann tento nově vytvoření automat označuje jako D. Po nutně dlouhou dobu je tento nový automat D součástí konstruktéru $(A + B + C)$ ³⁷. Automat D tak v tuto chvíli obsahuje zkopírovanou informaci $(A + B + C)$, která se tak stává jeho vlastním zápisem a popřípadě i kompletně novým, který byl předán za pomoci I. V okamžiku, kdy je automat D kompletní, C vydá příkaz k tomu, aby byl oddělen od konstruktéru $(A + B + C)$.³⁸

Jak tedy můžeme vidět na výše popsaném procesu, spojením jednotlivých částí, tedy automatů A a B a funkce C, vzniká konstruktér $(A + B + C)$. Tento konstruktér je tedy schopný sebe-replikace. Je však nutné, aby pro spuštění celého procesu byla konstruktéru předána instrukce. V rovnici si můžeme povšimnout závorky $\varphi(A + B + C)$, která vyjadřuje právě zápis automatu L³⁹, nadefinovaný výše. V tomto případě se jedná o software, který je už přítomen v konstruktéru a je nutný pro jeho funkci. Na druhé straně rovnice pak můžeme najít totožný zápis. Opět je to – už tedy zkopírovaný – konstruktér $(A' + B' + C')$, ke kterému ještě patří právě zápis konstruktéru L, který je vyjádřen poslední závorkou $\varphi(A' + B' + C')$.⁴⁰

³⁶ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316-318.

³⁷ Pokud je v této práci zmiňován univerzální konstruktér, vždy se jedná už o kompletní konstruktér $(A + B + C)$. Tento zápis von Neumann používá ve své přednášce z roku 1951.

³⁸ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316-318.

³⁹ L je zde převzato až z knihy *Theory of self-replicating automata*. Ve své přednášce von Neumann pracuje především s instrukcí I, která je v podstatě obdobná. V případě L se však jedná už o propracovanější verzi částečně lineární paměti. Jednou ze zásadních charakteristik je to, že L má funkci neomezené paměti. VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 114.

⁴⁰ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316-318.

1.3.3 Automat D

Automat D zatím v této rovnici obsažen není. Tato rovnice se věnuje čistě konceptu sebe-replikace, tudíž kopírování daného zápisu a předávání ho dále. Problém ale je, že v jeden okamžik tedy existuje L, jakožto software, který řídí (A + B + C) a následně tento konstruktér dostane sadu nových instrukcí I, podle kterých je vytvořen nový automat D. Do tohoto automatu D však není překopírována pouze instrukce I, která byla předána konstruktéru, ale i zápis L, tedy zápis samotného konstruktéru (A + B + C). Automat D tak obsahuje svůj kompletní zápis, podle kterého byl vytvořen, ale také kompletní zápis svého předchozího automatu, podle kterého může automat D provozovat sebe-replikaci. Proto tedy platí, že $(A + B + C) = D$.⁴¹

Proto von Neumann přichází s další úpravou rovnice, se kterou později zejména v otázce biosémiotiky pracuje například Howard H. Pattee. V této rovnici už je vidět nový člen a automat D.

$$(A + B + C) \rightarrow \varphi (A + B + C + D) = (A' + B' + C' + D') \rightarrow \varphi (A' + B' + C' + D')^{42}$$

Jak můžeme pozorovat, člen D je do rovnice zaveden tak, jak byl popsán jeho vznik. Nejprve potřebujeme pouze konstruktér (A + B + C), ale v okamžiku, kdy dochází k jeho zkopírování, víme dle popsaného průběhu sebe-replikace výše, že k tomu procesu je zapotřebí, aby konstruktér měl k dispozici instrukci I. Druhá strana rovnice je již odštířený automat D, ve kterém je nejen jeho zápis, ale i kopie jeho celkového zápisu.

1.3.4 Otevřená evoluce

Von Neumann zde popisuje model otevřené evoluce. Problém spočívá v tom, že toto je jedna z částí, kterou von Neumann nestihl během svého života plně rozvinout. Jak bylo zmiňováno výše, existují dvě varianty instrukce I. Buďto je univerzálnímu konstruktéru

⁴¹ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316-318.; VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 112-130.

⁴² PATTEE, Howard H.: *ibidem*, 2005. s. 8.

předán pokyn, aby sestrojil svoji totožnou kopii, nebo mu může být poskytnut zápis zcela nového automatu, jehož změny se odvíjejí zejména od prostředí. Nevyřešenou otázkou zde však zůstává množství informace, které se v dalších generacích může hromadit.⁴³

V tento okamžik se nám von Neumannova představa může zdát velice abstraktní. Přece jenom je to z velké části založené na univerzálním automatu, který pravděpodobně nikdy nebudeme schopni sestavit. Odvíjí se to zejména z faktu, že nedisponujeme nekonečně dlouhou páskou, o které hovoří Turing, nebo v případě von Neumanna nemáme k dispozici neomezenou paměť L, která zde byla představena. Je tedy třeba mít na paměti ty změny, které von Neumann v rámci univerzálního stroje provedl. Jedná se zejména o převedení hmotné nekonečné pásky na program, který do jisté míry připomíná software. Tento převod však nefunguje vždy, příkladem toho může být právě L. Dá se říct, že v současné chvíli je situace stále stejná jako byla během 50. a 60. let, kdy von Neumann tuto teorii formuloval. Není dostatek prostředků a materiálu k tomu, aby konstruktér byl sestrojen, nicméně po formální stránce je konstruovatelný.

Druhou stránkou věci je to, že sám von Neumann pracuje s několika verzemi toho, jak by se tento univerzální konstruktér dal využít právě při řešení sebe-replikace a evoluce. V knize *Theory of Self-reproducing Automata* uvádí von Neumann konkrétně pět modelů, jak se na problematiku sebe-replikace dá nahlížet. Jedná se o *kinematic, cellular, excitation-threshold-fatigue, continuous and probabilistic*.⁴⁴

1.3.5 Modely konstruktéru

Pro von Neumanna a další, kteří s jeho sondou pracují, je pravděpodobně nejdůležitější druhý typ modelu, který lze přeložit jako buněčný. Von Neumann byl k tomuto modelu inspirován prací Ulama, který von Neumannovi ukázal některé své závěry v této oblasti.⁴⁵ Jedná se tedy o model, kde je automat poskládán z jednotlivých buněk. V rámci

⁴³ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 131.

⁴⁴ V tomto případě nejsou názvy jednotlivých modelů přeloženy. Není to pro práci důležité, nicméně dále bude pracováno s především s *cellular type*, který je v rámci této práce překládán jako buněčný model. (VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 93.)

⁴⁵ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 94-95.

těchto buněk je určitý počet univerzálních automatů, samozřejmě ve von Neumannově úpravě. Von Neumann pracuje s 29 automaty v rámci jedné buňky. Funkci takovéto buňky by se dnes dala demonstrovat na umělé neuronové síti s 29 neurony, alespoň tedy do jisté míry.⁴⁶ Do každého automatu vstupuje jeden vzruch a jeden automat je propojen se čtyřmi dalšími ve svém okolí. Reagují jeden po druhém, i když tato linearita je něco, čeho se později von Neumann v některých aspektech zbavuje.⁴⁷ Příkladem může být paměť konstruktéru, ve které von Neumann zavádí postupně reagující smyčky.⁴⁸

Problém, který ale v tomto okamžiku vyvstává, je axiomatizace v rámci takového konstruktéru. Von Neumann se tedy snaží vyřešit otázku, které procesy a části sondy nemusí zavádět, ale budou považované za základy. Je masivní rozdíl mezi tím, zda za axiomy budeme považovat už samotné buňky, nebo až případné orgány. V prvním případě by celá sonda byla až příliš komplikovaná, v tom druhém si von Neumann pokládá otázku, zda by tedy vůbec mělo smysl něco takového řešit. Najít rovnováhu v této problematice je klíčové, ale ani v tomto případě von Neumann neposkytuje přímou odpověď. Problém zde spočívá v tom, kolik informace bude obsahovat instrukce I. Zda na ní bude zaznamenán každý jednotlivý detail, nebo jenom určité díly. Kvantita a kvalita I je důležitá pro celý proces stejně jako samotný konstruktér ($A + B + C$).⁴⁹

Řešení axiomatizace se také dotýká jednotlivých orgánů, které jsou pro sondu důležité. Vesměs je možné orgány rozdělit na dvě skupiny. Na orgán jako takový a dále

⁴⁶ Von Neumann v tomto případě popisuje umělý neuron tak, jak se v tehdejší době předpokládalo, že funguje. V současné problematice neuronových sítí již víme, že neurony jsou mezi sebou propojeny každý s každým, i když ne každé spojení je stejně silné. V některých případech ani nevíme, jak konkrétní vrstva neuronové sítě funguje. Von Neumann se oproti tomu stále poměrně dosti držel lineárního systému.

⁴⁷ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 94.

⁴⁸ Reagující smyčky jsou součástí paměti univerzálního konstruktéru. Na základě fáze sebe-replikace konstruktéru se tyto smyčky v rámci paměti dokáží zkrátit nebo prodloužit. Do jisté míry jsou založeny na lineární pásce, tak, jak je používána v klasické úpravě Turingova univerzálního automat. VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 115.; 253-155.

⁴⁹ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 57-58.

na kontrolor, který je za funkci orgánu odpovědný. Nejen však za orgán samotný, ale i za to, jak dobře komunikuje se zbytkem sondy.⁵⁰

1.3.6 Některé orgány konstruktéru a jejich funkce

Orgány sondy jsou sestaveny z jednotlivých buněk o 29 automatech tak, jak už bylo rozebíráno výše. V tento moment se dá celý proces představit jako reakce neuronové soustavy na podnět. Konstruktéru je předána instrukce I a funkce C vydává jednotlivé pokyny k tomu, jak s touto informací má být nakládáno. V tomto okamžiku jsou důležité části, které von Neumann nazývá *pulsary*. Pulsary ovlivňují to, jakou rychlostí a skrze který kanál se daný podnět bude přenášet. Von Neumann nepoužívá ve svých automatech a orgánech pásku v turingovském slova smyslu. Jedná se o něco podobného, ale v rámci von Neumannovy pásky je několik smyček, z nich se každá váže k jiné části průběhu vyvolaného procesu. Tyto jednotlivé smyčky jsou aktivovány jen v okamžiku, kdy jsou potřeba. Ve větší míře je nalezneme především v paměti sondy, kde jsou pro ně důležité funkce RWE a RWEC.⁵¹

V obou případech se jedná o funkci „*read-write-erase*“, ale přesně podle von Neumannova rozdělení, druhá funkce je kontrolorem té první. Jedná se o nadjednotku, skrze kterou prochází vše, co prochází přes RWE.⁵²

Právě RWE má za úkol přečíst dané instrukce, které jsou konstruktéru předkládány a následně podle toho aktivovat celý proces vytváření nového automatu. V tomto momentu se rozhoduje, které stimuly a jak budou vyslány do dalších částí sondy. Aby toto celé fungovalo, je nutné zavést ještě jednotku MC, v tomto případě tedy „*memory control*“, která přímo dohlíží na činnost RWE a RWEC. Paměť sondy je jedna z nejdůležitějších částí celého stroje.⁵³

Tato komplikovanost, zejména v počtu jednotlivých jednotek a jejich kontrol, je nutná. Objem kódu se při jakékoliv činnosti zvětšuje. Kopie sice nezůstávají jako součást mateřského konstruktéru, ale stále je nutné, aby paměť byla schopná pojmout

⁵⁰ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 57-58.

⁵¹ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 237-250.

⁵² VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 237-243.

⁵³ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 201-250.

nejen základní kód konstruktéru, ale i nově přichozí instrukce I a následně jejich kopie, dokud se neoddělí automat D. Paměť jako taková tedy musí být do určité míry plastická a schopná se přizpůsobit nejen kvantitativnímu objemu informace, ale také tomu kvalitativnímu.⁵⁴

Je také nutné počítat s premisou, se kterou přichází von Neumann a o které už tu byla řeč. Jedná se o ten fakt, že jednoduchý konstruktér, jako je právě (A + B + C), bude schopný sestrojít automaty, které jsou větší a komplikovanější. V tomto případě nejde ale pouze o velikost jakožto fyzickou podobu, ale zejména je nutné počítat i s tím, že celý hardware konstruktéru se bude muset tomuto vývoji přizpůsobit. Tím, že von Neumannova sonda pravděpodobně není schopna vykonávat větší zásahy do vlastního kódu⁵⁵, si kromě základního s sebou nové automaty berou i kompletní kódy všech automatů, které tvořily ten předchozí. Jedná se tak o naprosto neuvěřitelné množství informace, které je potřeba někde uložit. Navíc to vytváří otázku, jak velké jsou rozdíly mezi jednotlivými dceřinými konstruktéry na základě toho, který automat byl jejich mateřským konstruktérem.

S ohledem na tuto skutečnost je jasné, že se postupně bude navyšovat i kapacita paměti. Množství kódu má posléze jistou potencialitu komplikovat chod nejen paměti, ale celého stroje. Právě zavedení kontrolních jednotek, které budou fungovat podle jasně nastavených pravidel, je klíčové. Zejména proto, že v jistých částech paměti dochází k přecházení mezi hardwarem sondy a jejím softwarem.⁵⁶ Tento přechod je však řízen jasně danými pravidly, podobně jako je tomu u každého jednotlivé orgánu a buňky v celé sondě. Nezbyvá zde tedy prostor pro to, aby si konstruktér mohl interpretovat instrukce po svém a neřídit se jasně vyhrazenými pravidly.

Jak vyplývá z textu, a bylo to i explicitně napsáno, von Neumann zakládá velkou část sondy na poznacích, které měl o fungování živočišné nervové soustavy. Přesto

⁵⁴ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 201-250.

⁵⁵ Von Neumann se kvantitě kódu věnuje pouze okrajově, a to v okamžiku, kdy srovnává univerzální konstruktér s genetickým kódem, u kterého předpokládal, že ne vždy bude obsahovat kompletní informaci. Nutno podotknout, že v té době byl popis genetického kódu teprve ve svých počátcích. (VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 318.

⁵⁶ Jedná se zde o zápis konstruktéru L. Ve většině případech můžeme L brát jako software, tedy program, který má na starosti fungování univerzálního konstruktéru. V okamžiku, kdy ale dochází ke kopírování L pro nový automat, L se najednou stává hardwarem.

však několikrát zdůrazňuje, že považovat je za jedno a to samé nelze. Ať už se jedná o funkčnost, ale také o fyzickou stránku věci, respektive velikost.

Co je však klíčové, von Neumann tuto myšlenku umělé neuronové soustavy, jako celku s orgány a se vším ostatním, přenáší i do své další práce. Nejvýrazněji je to vidět zejména v poslední knize *The Computer and the Brain*. Jak už vyplývá ze samotného názvu, von Neumann se zde věnoval nejen metafoře mozku jako počítače, která v té době byla velice populární, ale i chápání nervové činnosti jako činnosti počítače. Klíčová je také snaha pochopit, co vlastně lze ještě považovat za inteligenci.⁵⁷

Použití počítačích technologií, jakožto modelu pro fungování mozku a celé nervové soustavy, bylo ve von Neumannově době velice populární. Odvíjelo se to od poznatků v oblasti neurovědy. Počítače, které v tehdejší době byly teprve ve svých začátcích, byly dostatečně vhodným modelem, i když kvůli tomu docházelo k některým mylným představám o funkci nervové soustavy a především mozku. Proto se od této metafory začalo poměrně brzy ustupovat.⁵⁸

Díky Howardu H. Patteemu⁵⁹ se von Neumannova sonda dostala znovu více do popředí. V rámci rozvíjející se biosémiotiky mohla být odpovědí na některé palčivé otázky. Nicméně díky současnému vývoji této vědní disciplíny, a vytvoření některých dalších, v tomto případě zejména kódové biologie, se postavení von Neumannovy sondy jakožto vhodného mechanistického modelu opět mění. Do jaké míry, to bude rozebíráno v následujících částech této práce.

⁵⁷ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 2012.

⁵⁸ Uvést zde v tomto případě můžeme von Neumannovu práci *The computer and the brain*, dále také články Alana Turinga, kdy nejdůležitější z nich je *Machinery and Intelligence* (TURING, Alan: *Computing machinery and intelligence in Mind* 59. 1950. 444-445.). Ze současných přístupů lze poukázat zejména na práce Rogera Penrose a jeho teorii kvantového vědomí. (PENROSE, Roger, *Shadows of the Mind*. Oxford University Press, 1994.; PENROSE, Roger, *The emperor's new mind: concerning computers, minds and the laws of physics*. Oxford University Press. 1990.)

⁵⁹ PATTEE, Howard H.: *ibidem*, 2005.

2 Kódová biologie kontra biosémiotika

2.1 Mezi přírodovědnými a humanitními obory

Von Neumannův univerzální konstruktér tak, jak byl představen v předchozí části, má velmi specifické postavení nejen v teorii automatů či oborů umělého života a potažmo i umělé inteligence. V současné chvíli se z něj však znovu stává aktuální téma, které proniká i mimo disciplíny zaměřené na AI a ALife.

Pomezí disciplíny v současné době vyplňuje jisté vakuum, které vzniklo postupným odlučováním přírodovědných a humanitních oborů. V kontextu této práce bude hovořeno částečně o biosémiotice, ale především o kódové biologii. Spojení s univerzálním konstruktér tu můžeme najít skrze pojetí kódu a konceptu sebe-replikace umělých systémů.

Tam, kde univerzální konstruktér a tato poněkud mechanistická forma sebe-replikace a sebe-reference nemůže být akceptována v oblasti přírodních věd, jako je biologie a chemie, jsou to právě pomezí disciplíny, které nám dovolují takovýto koncept začlenit jako mechanistický model. V současném přístupu filozofie vědy se stává populární opět nová forma mechanismu, kde jsou klíčovým konceptem mechanistické modely.

Tato část práce je zaměřena především na kódovou biologii a její přístupy. Částečně zde bude hovořeno i o biosémiotice. I přes to, že obě disciplíny se zabývají skoro totožnou problematikou, jsou zde momenty, kdy se rozcházejí nebo naopak do jisté míry i doplňují. Jde nám o to co nejlépe ilustrovat danou problematiku pojetí kódu.

2.2 Problematika kódu a jeho zařazení

Jak tedy vyplývá z úvodu této části práce, a celkově z první části, jednou ze zásadních otázek, se kterou se musíme vypořádat, je povaha informace a kódu. Kód, ať už v jakékoliv podobě a na jakékoliv úrovni, je neoddělitelně spojen se životem. Nalezneme jej skutečně všude, od kultury až po naše vlastní buňky. S tím je spojena i nutnost mít schopnost jednotlivé kódy mezi sebou rozlišit a také správně přečíst a v některých

případech interpretovat. K interpretaci kódu dochází především na základě kontextu, nicméně není tomu tak ve všech druzích semiózy, jak zde bude rozebíráno později.

Můžeme tedy vidět, že povaha kódu a informace je poměrně složitá. Komplikace také spočívají v tom, že se jí zabývá široké spektrum oborů, které pro kód volí vlastní definice. V našem případě je však upřednostňován mechanistický a technický přístup do jisté míry propojený s tím sémiotickým. Druh modelu komunikace jsme mohli pozorovat již v případě von Neumannova univerzálního konstruktéru, ať už mezi vnějším okolím a konstruktérem, či v rámci konstruktéru a jeho jednotlivých orgánů.

Je to tedy definice kódu, která je klíčová, protože od toho, jak kód definujeme, se posléze řídí i náš přístup k jeho zkoumání. V současné chvíli nám jde o to uchopit kód z co možná nejširšího hlediska, posléze pak jeho specifikace v rámci kódové biologie. Jde o to poukázat na aspekty kódu, které se jednotlivým vědcům zdají důležité.

Ve vší obecnosti můžeme kód definovat jako sadu pravidel, podle kterých je kódována a následně dekodována informace. Tato sada pravidel má své charakteristické vlastnosti. Pro Shannona s Weaverem a dalšími matematiky ve 40. letech minulého století se jednalo o pravidla, jak zakódovat a dekodovat zprávu, která se přenáší mezi účastníky komunikačního procesu.⁶⁰ Jedna z možných lingvistických definic, kterou můžeme uplatnit, je ta Ecova. Pro Eco je kód systémem signifikace. Eco tvrdí, že kód zastupuje něco, co momentálně není přítomno, něčím jiným.⁶¹ Lze také využít některé charakteristiky kódu, které byly prezentovány Greimasem a Courtésem, kteří charakterizují kód například jako soubor arbitrárních pravidel, za jejichž pomoci jsou mezi sebou spojovány znaky.⁶²

Z této definice vyplývá, že s kódem je spojených několik dalších termínů. Informace⁶³ již zde byla rozebírána v kontextu, který je vhodný pro tuto práci, zejména s ohledem na koncept von Neumannovy sondy. S převodem takovéto informace souvisí dva pojmy, které doposud nebyly přímo zmíněny. Jedná se o proces kódování a následného dekodování.

⁶⁰ SHANNON, Claude; WEAVER, Warren: *ibidem*.

⁶¹ ECO, Umberto: *Teorie sémiotiky*. Praha. Argo. 2009. s. 16.

⁶² GREIMAS, COURTÉS: *Semiotics and Language*. 1982. s. 31-32. Autoři zde uvádějí celkem pět definic kódu.

⁶³ Pojem informace je zde přejat v takovém významu, jak jej definovali právě Shannon a Weaver a jak se s ní nadále pracuje především v oblasti současné informatiky.

Při kódování dochází k tomu, že informace je převedena na znaky předem zvoleného kódu. Je tedy nutné volit takový, pomocí kterého pro nás bude vhodné zakódovat a posléze dekodovat přenášenou zprávu. Obě strany komunikačního procesu by měly být schopny bez větších obtíží předávané informaci porozumět. Pokud bychom to ilustrovali na příkladu von Neumannova univerzálního konstruktéru, jedná se o moment, kdy C přečte instrukce I a následně vydává povely, podle kterých se řídí zbytek univerzálního konstruktéru. Funkce C je tedy schopná dekodovat zápis automatu, který má konstruktér vytvořit. Konstruktér jako takový je naopak schopný předané informace znovu zakódovat a vložit do nového automatu.

Další procesy, které s kódem, nebo respektive spíše s informací, souvisí, je jejich přenos a záznam. Kód je zvolen pro danou informaci tak, aby ji byl schopný zapsat a popřípadě ji i uchovat. Pro každý typ informace je tu možnost vybrat nejlepší možný kód. V našem případě by nemělo smysl instrukce I zaznamenávat kódem, které není konstruktér schopný přečíst ani uchovat. Problém však nespočívá jenom ve zvolené formě kódu, ale také jakým médiem bude zpráva přenášena, případně na něm bude zachován. V případě univerzálního konstruktéru by se jednalo o využití metaforické pásky, tak, jak je popsána v rámci teorie automatů.⁶⁴

2.3 Co vše je kód?

Definice kódu, které zde doposud byly uváděny, byly vybrány tak, aby se daly považovat za co nejobecnější. Problém s obecností a širokým pojetím kódu ale nastává v okamžiku, kdy je nutné vytyčit jasné hranice. Proto jedna z prvních otázek, kterou je nutné vyřešit, spočívá v tom, co vše se dá ještě považovat za kód. Tato otázka je nutná pro kódovou biologii zejména proto, že hlavním zaměřením jsou zde organické kódy. To, jakým způsobem zařazuje kódová biologie organické kódy mezi ty ostatní, bude rozebíráno v následující kapitole.

⁶⁴ Je zde hovořeno o pásce, kterou Alan Turing představil ve svém článku *On Computable Numbers* z roku 1937. V současné době se dá použít metafora lineární paměti, která je však v rámci von Neumannova konstruktéru využívána jen minimálně.

K tomuto účelu lze využít teorii, kterou vypracoval italský sémiotik, Umberto Eco.⁶⁵ Ecova teorie spodní a horní hranice sémiotiky⁶⁶ ovlivnila nejen samotnou sémiotiku, ale v současné chvíli je jedním z hlavních předmětů debat i v rámci kódové biologie a biosémiotiky.⁶⁷ Konkrétně se jedná o pochopení a aplikování Ecovy spodní hranice sémiotiky, která je klíčová i pro tuto práci. Do horní hranice jsou zahrnuty kulturní kódy, které však pro nás v tuto chvíli nejsou podstatné.

V případě spodní hranice sémiotiky Eco zmiňuje především zoosémiotiku⁶⁸, do které, jak zde již bylo řečeno, můžeme zahrnout jak bisémiotiku tak právě kódovou biologii. Pro Eco se jedná o přirozený vývoj kódu, kdy nejprve zkoumáme tyto procesy na úrovni nejnižších organismů a posléze postupujeme výše, právě ke kódům kulturním.⁶⁹

Problém zde ale spočívá v tom, že pro Eco je nutný proces signifikace. Dle jeho názoru totiž za znak může sice být považováno cokoliv, co zastupuje něco za něco, ale pouze v tom případě, že existuje konvence v rámci takového vztahu.⁷⁰ Proto například stimuly, signály a fyzické informace Eco za součást sémiotiky nepovažuje.⁷¹ Předmětem zkoumání kódové biologie jsou však do větší míry právě fyzické informace, tedy genetické kódy.

Jak však bude vysvětleno později, Ecova formulace „zastupovat něco za něco na základě konvence“⁷², se spojením Barbieriho definice kódu, nám umožňuje do zkoumání zařadit organické kódy. Také to ale souvisí s pojetím von Neumannova univerzálního konstruktéru jako možné spodní hranice sémiotiky. K akceptování této

⁶⁵ Je nutné podotknout, že Eco se zabýval především kulturou a estetikou. Ve své knize *Teorie sémiotiky* disciplíny, jako je zoosémiotika, ze které později vychází biosémiotika a můžeme k nim zařadit právě i kódovou biologii, nepovažoval za tradiční součást sémiotiky.

⁶⁶ ECO, Umberto: *Teorie sémiotiky*. s. 17-41.

⁶⁷ Příkladem zde může být článek: LACKOVÁ, Ludmila; FALTÝNEK, Dan: *The lower threshold as a unifying principle between Code Biology and Biosemiotics* in *Biosystems*. 2021.

⁶⁸ Zakladatelem zoosémiotiky je Thomas Sebeok. Biosémiotika vychází právě z jeho práce.

⁶⁹ ECO, Umberto: *ibidem*, s. 17.

⁷⁰ ECO, Umberto: *ibidem*, s. 29.

⁷¹ ECO, Umberto: *ibidem*, s. 29-31.

⁷² ECO, Umberto: *ibidem*, s. 16.

skutečnosti by nám mohlo pomoci, že univerzální konstruktér je založen na nutné distinkci mezi konstruovatelností a reprezentovatelností.

Von Neumannův univerzální konstruktér schopný sebe-replikace má totiž ještě další schopnost, kterou je sebe-reference. K tomu, abychom mohli hovořit o sebe-referenci je nutné, aby existoval proces, jako je výše rozebírané Gödelovo číslování, pomocí kterého dokážeme nahradit fyzické části konstruktéru jejich zápisem. Konstruktér tedy splňuje Ecovu podmínku, že znak je „něco za něco na základě konvence“.⁷³

2.4 Kód v kódové biologii

V současné chvíli víme dvě věci. Definice kódu ve své nejjobecnější podobě je schopna pojmut široké spektrum toho, co můžeme považovat za kód. Zároveň jsou tu také ale určitá omezení, jako je například právě Ecova teorie spodního a horního prahu sémiotiky, které se snaží nastavit jasné hranice toho, co za kód ještě považovat lze. I přes to, že Ecem nastavené a všeobecně přijímané restriktce se zdají být jasné a pevné, stále je tu možnost je posouvat. Týká se to především spodního prahu sémiotiky. Eco sice argumentuje tím, že fyzické kódy, jako je právě ten genetický, do spodního prahu zařadit nejde, ale v rámci této a následujících kapitol se pokusíme poukázat na některé argumenty proti. Protože otázka zařazení organických kódů je jedna z prvních, se kterou se Barbieri a kódová biologie musí vypořádat.

Dle kódové biologie je kód „*mapování mezi dvěma světy, které jsou na sobě nezávislé, a je realizovaný objekty třetího světa.*“⁷⁴ Tyto objekty třetího světa Barbieri nazývá adaptory. Příkladem je, dle Barbieriho, například Morseova abeceda. Na jedné straně máme Morseovu abecedu, která se skládá z dlouhých a krátkých tónů, v případě přepisu dlouhých a krátkých čar. Tato kombinace značení je náhodně přiřazena k abecedě, kterou běžně používáme. Pokud bychom toto tvrzení chtěli demonstrovat na tématice bližší hlavnímu problému, kterým se kódová biologie a Barbieri zabývají, lze

⁷³ ECO, Umberto: *ibidem*, s. 16.

⁷⁴ BARBIERI, Marcello: *What is code biology?* in *Biosystems*. 2018. 164. s. 1-10.

hovořit o genetickém kódu. Genetický kód má adaptor t-RNA a jedná se o mapování mezi kodony a amino kyselinami.⁷⁵

Dále Barbieri považuje za nutné, aby pravidla kódování, kterým kódy podléhají, splňovaly další požadavky. Jak Barbieri píše: „*tato pravidla musí nutně být kompatibilní se zákony fyziky a chemie, na druhou stranu ale existuje požadavek, aby byly arbitrární. Jde především o to, aby počet arbitrárních vztahů mezi těmito dvěma světy zůstal neomezený.*“⁷⁶ Barbieriho pojetí arbitrárnosti se v této práci budeme zabývat ještě později.

Můžeme si povšimnout, že Barbieriho definice kódu je velice podobná těm, které zde byly uvedeny. Především zůstává stále natolik obecná, aby se do ní daly zahrnout veškeré kódy, ať už se jedná o organické či kulturní. Barbieri toto celé vyjadřuje velice jednoduše jedním výrokiem. „*And this is precisely what a code is: a small set of arbitrary rules selected from a potentially unlimited number in order to ensure a specific correspondence between two independent worlds.*“⁷⁷

Samozřejmě, tato definice kódu je navržena velice specificky. Barbierimu jde především o to, aby do kódové biologie mohl zahrnout právě organické kódy a procesy, které se odehrávají na buněčné úrovni. Je to právě otázka postavení organických kódů, se kterou se kódová biologie musela vypořádat hned na začátku. Barbieri existenci genetického kódu považuje za ontologický problém, jehož řešení je ale jednoduché. Spochívá v potvrzení toho, že organické kódy jsou reálné.⁷⁸

Historie organických kódů, a především tedy genetického kódu, je dlouhá a komplikovaná. V současné chvíli, jak tvrdí Barbieri, je genetický kód brán jako reálný na základě toho, že se chová dle fyzikálních a chemických zákonů. Tudíž splňují i jednu ze základních podmínek pro kód v rámci kódové biologie. Otázka je, zda je to dostačující. Protože pokud bychom se drželi této premisy, která byla stanovena v rámci

⁷⁵ BARBIERI, Marcello: *Code Biology, A New Science of Life*. Springer. 2015. s. 35.

⁷⁶ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. xii. „*What is essential in all codes is that the coding rules, although completely compatible with the laws of physics and chemistry, are not dictated by these laws. In this sense they are arbitrary, and the number of arbitrary relationships between two independent worlds is potentially unlimited.*“

⁷⁷ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. xii.

⁷⁸ BARBIERI, Marcello. *Ibidem*, 2018. s. 2.

moderní biologie, znamenalo by to, že o genetickém kódu nedokážeme říct, že je arbitrární, a tudíž se nejedná o kód jako takový.⁷⁹

V současné chvíli je přesvědčení poněkud jiné. Nejprve však bylo nutné, aby genetický kód a další organické kódy byly potvrzené jako reálné entity. Na základě přesvědčení, že život je chemie, o kterém zde již bylo hovořeno, byl první model založený na stereochemii v roce 1954 a jeho autorem byl George Gamow.⁸⁰ Další důležitý model vytvořil Wong, tentokrát s větším důrazem na biochemii.⁸¹ Jak poukazuje Barbieri, tyto modely mají společné to, že předpokládají neexistenci arbitrárnosti v rámci genetického kódu a tvrdí, že je determinován chemickými zákony.⁸²

Je to však právě otázka arbitrárnosti, která je zde problematická. Oba kanonické modely tvrdí, že v rámci genetického kódu není možná realizace arbitrárnosti. Naopak na základě definicí kódů, které zde byly uvedeny a nemusí se týkat výsadně kódové biologie, je arbitrárnost podmínkou kódu. To zde již ostatně bylo řečeno. Důležitým milníkem v této otázce je popsání t-RNA a m-RNA v roce 1961, které však už byly předpokládány daleko dříve.⁸³ Je to pak následně t-RNA⁸⁴, kterou Barbieri zasazuje do svého modelu evoluce genetického kódu a částečně pomáhá se vypořádat i s otázkou arbitrárnosti.

⁷⁹ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2018. s. 2.

⁸⁰ GAMOW, George: *Possible relation between deoxyribonucleic acid and protein structures in Nature*, 1954. 173. 318.

⁸¹ WONG, J. Tze-Fei: *A co-evolution theory of the genetic code in Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1975. 72.5. 1909.

⁸² BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2018. s. 2.

⁸³ HOAGLAND, MB.; STEPHENSON, ML.; SCOTT, JF.; HECHT, LI.; ZAMECNIK, PC.: *A soluble ribonucleic acid intermediate in protein synthesis in J Biol Chem*. 1958. s. 241-57.; BRENNER, S., JACOB, F., and MESELSON, M.: *An unstable intermediate carrying information from genes to ribosomes for protein synthesis in Nature 190*. 1961. s.576–581.; COBB, Matthew: *Who discovered messenger RNA? in Current Biology*. 2015. 25.13.

⁸⁴ T-RNA je dle Barbieriho důležitá zejména v otázce evoluce kódu. Jak uvádí ve svém článku: „*This is how first genetic code appeared on Earth. It came into being when primitive ribosomal-RNAs, primitive transfer-RNAs and primitive anchoring-RNAs came together in the common ancestor and formed the first apparatus of protein synthesis.*“ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2018. s. 2.

Barbieri se v případě vyřešení arbitrárnosti odvolává především na práci Paula Schimmela⁸⁵ a dalších, kteří dokázali, že v případě genetického kódu mezi amino kyselinami a kodony neexistuje žádné deterministické spojení. Což tedy znamená, že kodon se může navázat na kteroukoliv amino kyselinu.⁸⁶ Je tedy potvrzen další požadavek, který je obecnými definicemi kladen na kód, tedy arbitrárnost genetického kódu.

Pokud je tedy genetický kód arbitrární, řídí se základními fyzikálními a chemickými pravidly a funguje jako set pravidel, splňuje tak definici kódu, jak je běžně uváděna, ale i tak, jak požaduje Barbieri v rámci kódové biologie. V tento okamžik už nic nebrání tomu, aby se právě genetický kód a problematika s ním související stala hlavním předmětem zkoumání nejen Barbieriho, ale vesměs celé kódové biologie. Týká se to především i ostatních organických kódů, které lze také považovat za kód tak, jak zde byl definován.

Jak je možné sledovat, Barbieri k celkové problematice přistupuje poněkud odlišněji, než je zvykem v biosémiotice. Jak bude ukázáno v následující části této práce, tím nejdůležitějším rozdílem je chybějící interpretace na úrovni buňky a genetického kódu. Barbieri se tedy do určité míry odvrací od Peircovského modelu, na kterém je biosémiotika založena.

2.5 Kódová biologie v kontrastu biosémiotiky

Kódová biologie je záležitostí až posledních deseti let. Jedná se o rozrůstající se okruh akademiků a vědců z nejrůznějších oborů kolem Marcella Barbieriho a periodika *Bio-Systems*. Marcello Barbieri za sebou má velmi dlouhou kariéru jako teoretický biolog. Během svého života se zabýval především molekulární biologii, biofyzikou a embryologií. K jeho osobě se váže několik důležitých objevů, jako je například objevení největších mikro krystalů eukaryotických ribozomů.⁸⁷ V posledních dvou dekadách se

⁸⁵ SCHIMMEL, Paul: *Aminoacyl tRNA synthetases: general scheme of structure-function relationships in the polypeptides and recognition of transfer RNAs* in *Annual review of biochemistry*. 1987. 56.1. s. 125-158.

⁸⁶ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2018. s. 2.

⁸⁷ BARBIERI, Marcello: *Ribosome crystallization in homogenates and cell extracts of chick embryos* in *Journal of Supramolecular Structure*. 1979. 10.3. 349-357.

nejdříve věnoval zejména biosémiotice a také byl velice aktivním přispěvatelem do časopisu *Biosemiotics*. K jeho odchodu a k založení své vlastní disciplíny, tedy kódové biologie, vedly některé spory v oblasti užívaných přístupů a teorií. Těm nejdůležitějším rozdílům bude věnována pozornost v této kapitole.

Hlavním záměrem biosémiotiky je snaha navzájem propojit biologii, lingvistiku, filozofii a také teorii komunikace. Podobně jako kódová biologie je biosémiotika zaměřena na znak a význam, které se snaží dokládat v živých organismech a systémech. Je to však především znak, který je pro biosémiotiku podstatný, kdežto kódová biologie je více orientována na kód, jak již plyne z názvu této disciplíny.

To, co biosémiotiku od kódové biologie odlišuje nejvýrazněji, je spíše formální záležitost. Biosémiotika má oproti kódové biologii delší tradici. První oficiální setkání vědců zabývajících se sémiotikou proběhlo v roce 2001. Nicméně její počátky můžeme alespoň v náznacích sledovat již dříve. Ve svých základech je biosémiotika založena na zoosémiotice, za kterou stojí především Thomas Sebeok.⁸⁸ Vychází ale také především z vědecké činnosti Charlese S. Peirce, Charlese W. Morrise a biologa Jakoba von Uexküllla a některých dalších.⁸⁹

Právě tato jména nám již mohou napovědět, jakým směrem se biosémiotika oproti kódové biologii ubírá. Ve velké míře je užívaná Peircovská sémiotika, ve které má velký prostor interpretace, a to i na nejnižší úrovni kódu. Poukazuje to na snahu uplatnit především přístup humanitních věd. Jak bude ilustrováno později, kódová biologie zastává více mechanistický postoj.

Je to zavedení interpretace, se kterou Barbieri nesouhlasí. Z přístupu kódové biologie ke kódu můžeme vidět, že Barbieri se snaží vyhnout triadickému modelu znaku. Svoji kritikou peircovského přístupu k sémiotice je Barbieri známý.⁹⁰ Dle Barbieriho interpretace na nejnižší úrovni není jednoduše možná. Dále bude vysvětleno,

⁸⁸ SEBEOK, Thomas A.: *Zoosemiotics in American speech*. 1968. 43.2. s. 142-144.

⁸⁹ VON UEXKÜLL, Jakob; MACKINNON, Doris L.: *Theoretical biology*. 1926.; PEIRCE, Charles Sanders: *Peirce on signs: Writings on semiotic*. UNC Press Books, 1991.; MORRIS, Charles W.: *Writings on the general theory of signs in Writings on the General Theory of Signs*. De Gruyter Mouton. 2014.

⁹⁰ BARBIERI, Marcello: *Organic semiosis and Peircean semiosis in Biosemiotics*. 2013. 6.2. s. 273-289.

z jakého hlediska na to Barbieri nahlíží, na druhou stranu však nepopírá, že na vyšších úrovních již interpretace existuje.

K lepšímu pochopení rozdílu v přístupech kódové biologie a biosémiotiky ke kódu poslouží rozdělení, které navrhl a zpracoval Karl Popper⁹¹ a který z velké části přebírá právě Barbieri.⁹² Dle Poppera lze reálný svět rozdělit na tři další Světy a dle Barbieriho tyto tři Světy odpovídají i třem druhům semiózy. Samozřejmě, z Popperova hlediska se jedná zejména o filozofickou teorii, ale Barbierimu se jí povedlo aplikovat na svou teorii kódů.

2.5.1 Tři světy

To, co Popper označuje jako Svět 1, zahrnuje veškeré fyzické objekty a stavy. Do této kategorie lze zahrnout cokoliv, co je zkoumáno přírodními vědami, zejména fyzikou, biologií a chemií. Především by se do této kategorie daly zařadit objekty jako molekuly či atomy. Problém, na který během své přednášky Popper naráží, je rozdíl mezi neživou a živou částí tohoto Světa 1. Sám tvrdí, že distinkce není velmi jasná a může místy splývat.⁹³

Do Světa 2 jsou zahrnuty všechny stavy, které se nějakým způsobem dotýkají vědomí. Jedná se o myšlenkové a duševní stavy. Je to také svět, do kterého lze zahrnout naše emoce a znalosti. Tyto stavy jsou prožíváním předchozího Světa 1.⁹⁴

Jako poslední Popper uvádí Svět 3. V rámci své přednášky se právě tímto Světem zabývá nejvíce, protože se jedná o všechno, co se dá pokládat za produkty lidského myšlení, které pochází ze Světa 2. Jedná se o objektivní zaznamenání obsahu naší mysli, jako jsou nejrůznější vědecké teorie či umělecká díla.⁹⁵

Samozřejmě tyto Světy jsou mezi sebou provázány. Každý komplikovanější Svět vychází z toho předchozího. U Světa 3 pak dochází k okamžiku, kdy v rámci

⁹¹ POPPER, Karl R: *Three Worlds: The Tanner Lecture on Human Values*. delivered at the University of Michigan. April. 7. 1978.

⁹² BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 186.

⁹³ POPPER, Karl: *ibidem*, s. 143.

⁹⁴ POPPER, Karl: *ibidem*, s. 143-144.

⁹⁵ POPPER, Karl: *ibidem*, s. 144-145.

tohoto světa vznikne jeho nějaká nová část, která se stává na Světech 1 a 2 nezávislá. Jedná se tak o novou entitu.⁹⁶

Právě tento Popperův příspěvek částečně inspiroval Barbieriho k doplnění semiózy, které by v rámci jednotlivých světů dle jeho názoru probíhaly. Jsou opřené o to, co Popper do jednotlivých světů zahrnuje. Zároveň s tím jsou představeny i nejdůležitější mechanismy, které probíhají a kódy, které jsou pro daný svět primární.⁹⁷

Do Světa 1 jsou zahrnuty organické kódy a dle popisu tohoto Světa u nich dochází pouze k jedinému mechanismu, a tím je kódování, do kterého je automaticky zahrnuto i dekódování. Dle Barbieriho se jedná o *Organickou semiózu*.⁹⁸

Svět 2 je komplikovanější než Svět 1. Dochází v něm ke složitějším procesům, které jsou zahrnuty do *Živočišné semiózy*. Kromě kódování zde již dochází i k interpretaci. Proto jsou do této kategorie zahrnuty kromě organických kódů ještě neuronové kódy. K interpretaci zde již může docházet, protože živočichové vnímají svět a je nutné, aby se v něm dokázali správně orientovat. Což v předchozí kategorii nutné nebylo.⁹⁹

Zatímco předchozí dva Světy lze pochopit a přijmout bez větších obtíží, Svět 3 je poměrně abstraktní koncept, jelikož je založen na předchozích dvou Světech a zároveň je schopný se z něj i vydělit. Dle Barbieriho je toto čistě *Lidská semióza*, která je podmíněna především třemi mechanismy. Opět se jedná o kódování a interpretaci, ale tradičně je zde čistě lidský aspekt a tím je jazyk. Proto následně do kódů, které do tohoto světa spadají, je vedle organických a neuronových, zařazen právě i jazyk. Svět 3 obsahuje ty věci, které by dle Umberta Eca spadaly do horního prahu sémiotiky.¹⁰⁰

Tím, že Barbieri rozdělil kódy dle Popperovy teorie, lze pozorovat, že organické kódy jsou vyčleněny do samostatné kategorie. Konkrétně tedy do té, pro kterou není důležitá interpretace. Právě toto je bod zlomu mezi peircovským přístupem v rámci biosémiotiky a tím, který se snaží uplatnit kódová biologie.

V rámci biosémiotiky je tato problematika řešena převážně okrajově. Tím, že její základy se opírají o zoosémiotiku Thomase Sebeoka, se sémiotici v rámci této disciplíny dlouhou dobu zaměřovali na takové kódy, které se objevují až ve Světě 2, pokud

⁹⁶ POPPER, Karl: *ibidem*, s. 145.

⁹⁷ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 186.

⁹⁸ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 186.

⁹⁹ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 186.

¹⁰⁰ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 186.

tedy přistoupíme na Popperovo a Barbieriho rozřazení. Postupem času se však i díky vlivu některých biologů, například Jespera Hoffmeyera a Kalevi Kulla, začali věnovat i otázce genetického kódu. Jde hlavně o to vyřešit problematiku interpretace na úrovni toho, co kódová biologie označuje jako organickou semiózu. Jak zde již bylo zmiňováno, v průběhu let byla dokázána arbitrárnost genetického kódu, tedy že kodon se může navázat na jakoukoliv amino kyselinu.¹⁰¹ Tam, kde kódová biologie spoléhá na předem stanovená chemická a fyzikální pravidla, tam se biosémiotika spoléhá právě na interpretaci.

U Barbieriho a v rámci kódové biologie se setkáváme s jiným přístupem. Barbieri odmítá, že by na této úrovni probíhala interpretace. Tento fakt zde již byl demonstrován výše. To, co je pro Barbieriho zásadní, je charakteristika kódu, která plně odpovídá jeho definici. Kód je tedy setem pravidel, dle kterých probíhají operace na buňčné úrovni.

Nejdříve se tuto charakteristiku, kterou by kód měl splňovat, pokusíme nastínit obecně. První bod, který Barbieri uvádí, je shodný přímo s definicí kódu v rámci kódové biologie. Je tedy nutné, aby kód, za pomoci adaptoru, byl mapováním mezi dvěma na sobě nezávislými světy. Tuto přímou definici pak doplňují následující požadavky, které se týkají především předávané informace. Kód, dle kterého je tato informace zakódovaná, musí být zvolen tak, aby zvládnul předat význam. Poslední podmínka je to, aby kódy fungovaly jako pravidla. Tato pravidla jsou však nezávislá na systému, ze kterého vycházejí. To znamená, že jsou deterministická. Barbieri se tímto snaží poukázat na nezávislost informace jako formy a smyslu jejího obsahu.¹⁰²

Pokud tato všeobecná pravidla budeme chtít uplatnit na genetický kód, je nutná jejich specifikace. Jelikož první podmínka vychází z definice kódu, význam adaptorů v rámci DNA zde již byl rozebírán v předchozí části. Nicméně pro druhou charakteristiku je nutné specifikovat, že se jedná především o to, aby kódy byly takovými adaptory, které jsou schopny nést význam jednotlivých molekulárních struktur. Poslední charakteristika je velice důležitá pro to, jak se Barbieri definitivně vypořádal s interpretací na úrovni organické semiózy. Pro kódy totiž platí, že se jedná o set pravidel,

¹⁰¹ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2018. s. 2.

¹⁰² BARBIERI, Marcello: *The organic codes: An introduction to semantic biology*. Cambridge University Press. 2003. s. 94.

kteřá zaručují to, že specifické biologické procesy proběhnou tak, jak mají. Vždy se tedy vytvoří ten protein, který se v dané situaci vytvořit má, a to je zaručeno t-RNA.¹⁰³

Můžeme pozorovat, že Barbieri se aplikováním jednotlivých metod a teorií snaží dokázat, že interpretace na úrovni buňky není nejen nutná, ale dokonce i nemožná. Dostatečně arbitrární kód splňující veškeré další podmínky je schopen nahradit koncept interpretace tak, jak je zaveden v biosémiotice.

Jak již bylo řečeno, Barbieri připouští, že na vyšších úrovních, tedy pro nás na úrovni Světa 2 a Světa 3, dochází k interpretaci. K tomu je ale nutné, aby již byla vyvíjena kognitivní činnost. Jelikož na buněčné úrovni se nedá říct, že by docházelo ke kognitivní projevům, lze jen těžko věřit tomu, že by tady probíhala i interpretace. Pro organickou semiózu existuje kód, tedy pravidla, kterými se vždy buňka řídí. Tato pravidla jsou proměnná v závislosti na situaci, ale vždy jsou přesně určena pro každou možnou situaci. Nejedná se tudíž o interpretaci tak, jak je používána v biosémiotice.

2.6 Otázka modelů v kódové biologii

Jak je tedy patrné, kódová biologie a biosémiotika od sebe nejsou odlišné nikterak drasticky. To, co ale lze vyzorovat u Barbieriho a celkového směřování kódové biologie, je snaha začlenit do zkoumání co nejvíce mechanistické modely. Znatelné je to už v předešlé části. Pokud se zaměříme na to, jakým způsobem Barbieri definuje kód a jeho působení v rámci organismu, lze pozorovat některé totožné rysy s fungováním univerzálního konstruktéru.

Tento vývoj u Barbieriho není pouze záležitostí posledních deseti let, tedy existence kódové biologie. Jeho inklinaci k mechanistickému modelu lze pozorovat napříč jeho články a publikacemi ještě před rokem 2012.¹⁰⁴ Od etablování kódové biologie

¹⁰³ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2003. s. 109.

¹⁰⁴ Ve většině případech se jedná jenom o drobné náznaky, nejlépe doložitelné jsou tyto Barbieriho názory v jeho publikaci z roku 2003 *The Organic Codes: An Introduction to Semantic Biology*, kde věnuje více pozornosti von Neumannově sondě. Dále je nutné poukázat na časté odkazování na Howard H. Patteeho.

jsou to ale právě mechanistické modely, které se neobjevují jenom v práci samotného Barbieriho, ale také například u Igamberdieva.¹⁰⁵

Nelze však říci, že by se Barbieri vracel k analogii, která byla populární zejména ve 40. a 50. letech minulého století, tedy v největším rozpuku kybernetiky a počátku informatiky. Barbieri netvrdí, že organismus lze uměle vytvořit a ani to, že je až do posledního detailu shodný s počítačem či počítačovým programem. Drží se výroku Maymarda Smithe: „*We understand biological phenomena only when we have invented machine with similar properties.*“¹⁰⁶

Barbieriho přístup k mechanismu je však obohacený o jeho snahu se v rámci mechanismu vyrovnat i s mechanistickým modelem významu. Ten zakládá na předpokladu, že při vzniku života, v okamžiku, kdy již docházelo ke tvorbě proteinů, se v rámci genetického kódu musel určitým způsobem řešit právě význam.¹⁰⁷ Dopracovává se k němu skrze typologii mechanismu, kterou představil zejména ve své knize *Code biology*. Nejprve hovoří o chemickém přístupu, který z Descartovi teze, že člověk je jako dobře fungující stroj, postupně vytvořil tvrzení, že člověk je dobře pracující mechanický stroj.¹⁰⁸

Tento předpoklad založený na chemii více či méně platil až do první poloviny minulého století, kdy Wilhelm Johanns nejdříve popsal jasnou distinkci mezi organismem, tedy fenotypem, a informací, tedy genotypem. Nadále k informačnímu obratu napomohli James Watson a Francis Crick, kteří poukázali na sekvenci nukleotidů obsahující informaci v rámci genu. Už v tomto okamžiku ale Barbieri také poukazuje na podobnost distinkce mezi softwarem a hardwarem ke vztahu fenotyp-genotyp. Tady tato analogie nekončí. Vlivem rozvíjejících se disciplín jako kybernetika se do biologie dostávají metafory jako počítačový kód. Toto, dle Barbieriho vedlo k pozměnění tvrzení, že život je chemie. Od této chvíle byl život chemie a informace.¹⁰⁹

¹⁰⁵ V tomto případě se jedná především o knihu *Code Biology* z roku 2015, která je stěžejní pro tuto práci. I v rámci svých článků, jako je například *What is Code Biology?* či *CodeBiology, Peircean Biosemiotics, and Rosen's Relational Biology* se problematika von Neumannovy sondy objevuje minimálně jako důležitý historický mezník ve vývoji vědy.

¹⁰⁶ SMITH, John Maynard: *The problems of biology*. 1986. s. 99-100.

¹⁰⁷ BARBIERI, Marcello: *A mechanistic model of meaning in Biosemiotics*. 2011. s. 1-4.

¹⁰⁸ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 4-5.

¹⁰⁹ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 5-6.

Pro Barbieriho je však zásadní mechanismus v té podobě, kdy se jedná o vědecké modelování, ať už se jedná o model či pouhý algoritmus. Svoji argumentaci pro použití mechanistického přístupu shrnuje do čtyř bodů. Mechanismus není dle Barbieriho názoru redukcionismus, neboť stroj je strojem až v okamžiku, kdy je kompletní. Také se nejedná o determinismus, protože je nadřazen klasické fyzice. Zároveň nepodléhá fyzikálním aspektům, takže se nejedná ani o fyzikalismus. Na závěr Barbieri tvrdí, že mechanismus není kompletní a neustále u něj probíhá vývoj.¹¹⁰

Avšak i přes tuto obhajobu mechanistického přístupu v kódové biologii a aplikaci mechanistických modelů, je pro Barbieriho von Neumannův univerzální konstruktér do jisté míry nevyhovujícím konceptem s některými nedostatky. Tyto nedostatky se zejména týkají toho, že von Neumannův univerzální konstruktér obsahuje svůj vlastní kompletní zápis a dle Barbieriho je tak sebe-replikace *autopoietický systém*, tedy systém, který vytváří sám sebe.¹¹¹ Nicméně organismus, respektive buňka, je naopak *codepoietický systém*, tedy systém, který v sobě zahrnuje vytváření a zachovávání svého vlastního kódu.¹¹²

V další části této práce bude představena argumentace, že na von Neumannův univerzální konstruktér lze nahlížet jako na komplexní systém, a nikoliv pouze jako na stroj schopný sebe-replikace. Pokusíme se ilustrovat, jakým způsobem univerzální konstruktér splňuje veškeré Barbieriho požadavky, a i přes některé nedostatky je stále užitečným modelem pro kódovou biologii, zejména v otázce evoluce systémů.

¹¹⁰ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 16-17.

¹¹¹ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 175.

¹¹² BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 175-176.

3 Von Neumannova sonda jako model

3.1 Člověk jako dobrý hodinový stroj

V současné chvíli máme představu o tom, jak funguje von Neumannův univerzální konstruktér a také jakým způsobem a za jakých okolností dochází k sebe-replikaci. Také zde byl představen princip kódu v kódové biologii, který nám dovoluje uplatnit mechanistické modely. Dosud tu byl mechanistický přístup představován z pohledu Barbieriho, kterého zde rozebíráme z pohledu nového mechanicismu.

Tento nový mechanistický přístup částečně navazuje na ten původní, který je založen na práci filozofa Reného Descarta. Ten by se jednoduše dal shrnout jako snaha vysvětlit přírodní jevy a fenomény za pomoci strojů. Vývoj myšlenky mechanismu byl částečně naznačen již v předchozí části. V současné době se vědci a filozofové původní doktríny nedrží a místo toho se soustředí na detailní procesy za jednotlivými úkazy.

Toto tvrzení lze doložit na definicích nového mechanistického přístupu. Jedna z nejméně citovaných je převzata z článku filozofů vědy Machamera, Dardena a Cravera *Thinking about Mechanisms*. Ti o mechanismu hovoří následovně: „*Mechanisms are entities and activities organized such that they are productive of regular changes from start or set-up to finish or termination conditions.*“¹¹³

Poněkud detailnější jsou následující definice. Nejprve je uvedena ta z článku Glennana a následně z článku Bechtela a Abrahamsenové. Glennan nový mechanismus shrnuje takto: „*A mechanism for a behavior is a complex system that produces that behavior by the interaction of a number of parts, where the interaction between parts can be characterized by direct, invariant, change-relating generalizations.*“¹¹⁴

U Bechtela a Abrahamsenové se setkáváme s touto definicí: „*A mechanism is a structure performing a function in virtue of its component parts, component operations,*

¹¹³ MACHAMER, Peter; DARDEN, Lindley; CRAVER, Carl F: *Thinking about mechanisms in Philosophy of science*. 2000. 67.1. s. 3.

¹¹⁴ GLENNAN, Stuart: *Rethinking mechanistic explanation in Philosophy of science*. 2002. 69.S3. s. 344.

and their organization. The orchestrated functioning of the mechanism is responsible for one or more phenomena.”¹¹⁵

Můžeme tedy vidět, že nový mechanistický přístup upřednostňuje zkoumání celkového systému za daným jevem. Soustředí se především na jeho části a interakci mezi nimi. Jedná se o podobný přístup, který v rámci své práce zvolil John von Neumann, pro kterého interakce mezi jednotlivými orgány byla stejně důležitá, jako koncept univerzálního konstruktéru jako celku.¹¹⁶ V případě kódové biologie tento přístup více než u samotného Barbieriho lze vnímat především u Igamberdieva¹¹⁷, jehož práce zde bude rozebírána později.

Barbieri připouští, že mechanismus pravděpodobně není odpovědí na všechny otázky, které jsou pro kódovou biologii klíčové. Na druhou stranu je to však právě mechanismus, nebo alespoň to, jak ho Barbieri chápe a jak zde byl představen z jeho pohledu v předešlé kapitole, který nám v současné chvíli dokáže poskytnout možnosti pochopit fungování organismů a dalších systémů. Je také přesvědčen, že je to právě mechanistický přístup, který je schopný v rámci biologie změnit pohled na koncepty informace a energie. Případně i významu.¹¹⁸

To, co ale Barbieri z tohoto přístupu přejímá především, je právě koncept mechanistického modelu. Opět zde využijeme článek *Rethinking mechanistic explanation* napsaný Stuartem Glennanem. Kromě své definice mechanismu zde také Glennan uvádí svoji definici mechanistického modelu: „*A mechanical model is a description of a mechanism, including (i) a description of the mechanism’s behavior; and (ii) a description of the mechanism which accounts for that behavior.*“¹¹⁹

Nový mechanistický přístup je uplatňován především v biologii. Výše uvedenou definici modelu lze jednoduše aplikovat na organismy a organické kódy tak, jak jsou zavedeny v kódové biologii. I když noví mechanisté nepracují s konceptem sebe-

¹¹⁵ BECHTEL, William; ABRAHAMSEN, Adele: *Explanation: A mechanist alternative in Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*. 2005. 36.2. s. 423.

¹¹⁶ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 157-200.

¹¹⁷ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, Joseph E: *Mathematics in biological reality: The emergence of natural computation in living systems in Biosystems*. 2021.

¹¹⁸ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 17.

¹¹⁹ GLENNAN, Stuart: *ibidem*, 2002. s. 347.

reference, který je nutnou podmínkou existence von Neumannova univerzálního konstruktéru, lze ji do tohoto modelu zahrnout. Je to naznačena i problematika, která v této práci bude řešena později. Jedná se o distinkci mezi konstruovatelností a reprezentovatelností. V tomto okamžiku se jedná převážně o reprezentovatelnost.

Mechanistický přístup v kódové biologii je logický. Barbieri se svým přístupem snaží oprostit od zavedení interpretace a mechanistický model je řízen jasnými pravidly, kde není prostor pro interpretaci. Splňuje tedy tento požadavek dyadičnosti. Otázkou v tomto momentě zůstává, zda je právě von Neumannův univerzální konstruktér se schopností sebe-replikace vhodným modelem pro kódovou biologii. V následující části budou předloženy argumenty, které tuto tezi podporují.

3.2 Von Neumannova sonda modelem v kódové biologii

Howard Pattee představuje v rámci biosémiotiky von Neumannův univerzální konstruktér jako vhodný model pro kód a buňku. Ten poprvé von Neumannův koncept sebe-replikace uvádí v článku z roku 1968, kde se poprvé objevují Patteeho teze, že buňky jsou ovládané kódem.¹²⁰

Jeden z článků, který pomohl von Neumannově práci na sebe-replikujících se automatech, je článek z roku 2005 *The Physics and Metaphysics of Biosemiotics*¹²¹, kde je von Neumannova sonda řešena v kontextu otevřené evoluce. Poukazuje zde na von Neumannův závěr, že aby systém byl schopný sebe-replikace, musí být fyzické podstaty a kontrolován skrze symboly. Pokud tuto metaforu přesuneme do současného kontextu, jedná se o fyzický systém, který je kontrolován specifickým programem.¹²²

Pattee se von Neumannovou prací a zejména sebe-replikací zabývá po celou dobu své kariéry. Podobně jako Barbieri tvrdí, že buňka nebo systém se nutně musí řídit pravidly vycházející z chemie.¹²³ Zároveň však svoji práci opírá zejména o

¹²⁰ PATTEE, Howard H.: *The physical basis of coding and reliability in biological evolution in Towards a theoretical biology*. 1968. 1. 67-93.

¹²¹ PATTEE, Howard H.: *ibidem*, 2005.

¹²² PATTEE, Howard. H.: *ibidem*, 2005. s. 6.

¹²³ PATTEE, Howard H.: *How does a molecule become a message?* in *LAWS, LANGUAGE and LIFE*. Springer, Dordrecht. 2012. s. 55-67.

fyzikální zákony, které nejsou postačující sami o sobě, ale jsou nutná i jejich materiální omezení v podobě počátečních a mezních hranic systému. V případě buňky bychom v tomto případě například hovořili o jednotlivých membránách.¹²⁴

I přes to, že Pattee je v tomto ohledu biosémiotik, opět zde můžeme pozorovat jisté paralely mezi jeho teorií a tou Barbieriho. Kód v obou případech musí podléhat zákonům chemie v případě Patteeho a fyziky a chemie v případě Barbieriho a kódové biologie. Také je nutné, aby existovala omezení. V případě Barbieriho hovoříme o pravidlech, u Patteeho se jedná o fyzickou hranici v rámci systému.

Barbieri Patteeho přístup bere jako součást vývoje mechanistického přístupu. Poukazuje na Patteeho snahu vyhnout se fyzikálním zákonům, které nahrazuje konceptem omezení tak, jak je uvedeno výše. Na příkladu genetického kódu posléze ilustruje Patteeho logické kroky v tomto rozhodnutí. První je biologický princip, který je založen na sebe-replikaci jako podmínky života. Dalším krokem je nutnost existence symbolického zápisu evoluce pro sebe-replikující se systém tak, jak o něm hovoří von Neumann.¹²⁵

To, co Barbieri s Patteem nesdílí, je přesvědčení o vhodnosti univerzálního konstruktéru jakožto modelu. Základní výtky proti von Neumannově konceptu zde již byly uvedeny. V tomto kontextu si však Barbieri pokládá otázku: „*co z některých omezení dělá zrovna ta speciální omezení, kterými by se měl systém řídit? Namítá také, že ne všechna tato omezení vedou přímo k životu a jaká je tedy posléze hranice mezi živým systémem a tím neživým?*“¹²⁶

3.3 Von Neumannova sonda a práce s kódem

Při popisu technického a formálního konceptu von Neumannova univerzálního konstruktéru bylo poukázáno na to, jakou funkci má kód nejen při sebe-replikaci, ale také v otázce sebe-reference. Von Neumann zavedl univerzální konstruktér jako automat, který obsahuje svůj vlastní popis a zároveň i informace o tom, jak na základě předaných

¹²⁴ PATTEE, Howard H.: *Laws and constraints, symbols and languages in LAWS, LANGUAGE and LIFE*. Springer. Dordrecht. 2012. s. 83.

¹²⁵ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 22.

¹²⁶ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 22.

instrukcí I sestrojit nový automat. Jedná se o dva sety kódů. Ty, které už v sobě obsahuje univerzální konstruktér a jsou označovány jako L a instrukce I, která je konstruktéru předána z vnějšího prostředí.¹²⁷

Von Neumann koncipoval konstruktér tak, aby se jednalo o systém, který je ovládán znaky, tedy kódem. Vyžaduje to, aby bylo konstruktér schopný rozlišovat mezi syntaxí a sémantikou kódu. Podobně je tomu i v případě Barbieriho teorie sémantického pohledu na evoluci. Barbieri v tomto případě tvrdí, že je nutné rozeznávat distinkci mezi syntaxí, protože informace je schopna existovat bez významu, a sémantikou, protože význam je podmíněn existencí informace.¹²⁸ Pokud použijeme metaforu, která je bližší von Neumannovu zaměření, jde o rozlišení mezi softwarem, tedy sémantikou, a hardwarem, v tomto případě syntaxí. Médium, skrze které je kód předáván, je schopno existovat samo o sobě jako řada znaků, která se řídí pravidly, tedy svou syntaxí, ale nemusí mít význam. Kdokoliv, kdo by tato pravidla ovládal, by byl schopný napsat tento zápis. Podobně jako lze sestrojit stroj. Je to právě ale až sémantická složka, která dává kódu význam. Pokud zůstaneme u metafory stroje, aby fungoval, musí mít k dispozici program, tedy zápis s významem.

Tato distinkce je tedy základem pro funkci univerzálního konstruktéru. Rozeznávání distinkce mezi sémantikou a syntaxí strojem, jako je von Neumannova sebe-replikující se sonda, není však záležitostí pouze kódové biologie a mechanistického přístupu. Tato problematika vychází z důkazů matematiky a logiky, které byly představeny zejména během 30. let minulého století.

V roce 1930 se konala v Königsbergu vědecká konference, které se von Neumann účastnil. Jedna z přednášek, kterou si vyslechl, byla přednesena matematikem Kurtem Gödelem. Jednalo se tehdy o první představení důkazu neúplnosti.¹²⁹ Von

¹²⁷ VON NEUMANN: *ibidem*, 1963. s. 316.

¹²⁸ BARBIERI, Marcello: *The semantic theory of evolution*. Harwood Academic Publisher. 1987. s. 159.

¹²⁹ Je zde vycházeno z originální Gödelovy práce z roku 1931 "Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I." in *Monatshefte für Mathematik und Physik. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig* 38 (1931): 173–198. Do podrobností zde důkaz rozebírán nebude, kromě originální práce, která byla v nedávné době přeložena do češtiny, existuje hojné množství sekundární literatury. Jako hlavní zde lze uvést práci Nagela a Newmana, Gödelův důkaz (NAGEL, Ernest, I and NEWMAN, James Roy: *Gödelův důkaz*, eds.

Neumanna toto téma zaujalo natolik, že s Gödelem nejdříve zahájil korespondence a později se stali velmi dobrými přáteli.¹³⁰

Gödelův důkaz je klíčový pro další vývoj von Neumannovy teorie. Sám von Neumann v tehdejší době pracoval na tomtéž tématu a v rámci prvních dopisů, které si vědci mezi sebou vyměnili, se Gödelovi snažil ukázat smysl použití intuicionismu, za pomoci kterého se dá dojít ke stejným závěrům.¹³¹ John von Neumann se rozhodl na toto téma nepublikovat.¹³² Jeho schopnost zkonstruovat takovýto argument svědčí o hlubokém pochopení problematiky.

Gödel tedy ve svém článku dokázal, že existuje rozdíl mezi pravdivostí a dokazatelností věty. Pokud to vztáhneme k předchozí debatě, při dokazování pravdivosti se jedná o sémantické hledisko a v případě dokazatelnosti naopak o to syntaktické. Tato

Douglas R. Hofstadter. Brno. VUTIUM. 2006.) či rozsáhlé dílo Douglase Hofstadtera *Gödel, Escher, Bach* (HOFSTADTER, Douglas R.: *Gödel, Escher, Bach: existenciální gordická balada: metaforická fuga o mysli a strojích v duchu Lewise Carrolla*. Praha. 2012.). Za zmínku stojí i biografie z pera Rebecy Goldstein (GOLDSTEIN, Rebecca: *Incompleteness: The Proof and Paradox of Kurt Gödel (Great Discoveries)*. WW Norton & Company, 2006.) či práce Hao Wanga (WANG, Hao: *A logical journey: From Gödel to philosophy*. USA. MIT Press. 1996.).¹³⁰ Korespondence mezi Kurtem Gödelem a Johnem von Neumannem je pečlivě zdokumentovaná a publikovaná. Část von Neumannových dopisů najdeme ve sbírce vybraných dopisů, kterou zkompletoval a zeditoval profesor filozofie a logiky Miklós Rédei. Filozof Solomon Feferman a matematik John W. Dawsona jsou hlavními editory pěti svazků sesbíraných prací a esejích Kurta Gödela, přičemž v posledních dvou svazcích je kompletní Gödelova korespondence. V některých případech, tak jako právě mezi Gödelem a von Neumannem, je uvedena i v německém originále. V rámci společné korespondence spolu během 30. let von Neumann a Gödel řešili hned několik matematických problémů. Korespondence posléze byla přerušena, protože se z nich stali kolegové na Princetonu v Institute for Advanced Study. Nicméně Gödel posléze posílá von Neumannovi ještě jeden poslední dopis do nemocnice pár měsíců před von Neumannovou smrtí. Odpovědi už se pravděpodobně nedočkal. (GÖDEL, Kurt: *Collected Works: Volume V Selected correspondence*, HZ. eds. Solomon Feferman et al. New York: Oxford University Press. 1986-2003.)

¹³¹ GÖDEL, Kurt: *Collected Works: Volume V Selected correspondence*, HZ. eds. Solomon Feferman et al. New York: Oxford University Press. 1986-2003. s. 336-339., konkrétně dopis von Neumanna z 29. listopadu 1930, Berlin.

¹³² GÖDEL, Kurt: *ibidem*, s. 339.

dualita bude rozebírána později, v tuto chvíli je důležité pochopit Gödelův postup při vytváření tohoto důkazu.

Jedná se o Gödelovo číslování.¹³³ Kurt Gödel navrhl algoritmus, dle kterého jsou dle specifických pravidel přiřazovaná k jednotlivým symbolům aritmetiky prvočísla. Posléze jsou provedeny matematické operace, které vedou k tomu, že dokážeme aritmetickou formuli vyjádřit za pomoci jednoho čísla. Jedná se o poměrně jednoduchou operaci se symboly a jak zde již bylo řečeno, von Neumann univerzální konstrukt zavádí jako stroj, který je řízen symboly tedy kódem. Gödelovo číslování nejen splňuje toto kritérium, zároveň však naplňuje charakterizaci kódu, o které hovořil Barbieri a která zde byla rozebírána v předchozích částech.¹³⁴

Gödelovo číslování je však pouze prvním krokem v celé této problematice. V tomto kontextu je von Neumannův univerzální konstruktér až finálním krokem. V případě Gödelova číslování se jedná o operaci se symboly. Na tuto Gödelovu práci navazuje britský matematik a logik Alan. M. Turing¹³⁵ svým konceptem univerzálních automatů.¹³⁶

¹³³ Postup Gödelova číslování je velice důkladně zpracován v knize Nagela a Newmana (NAGEL, Ernest, I and NEWMAN, James Roy: *Gödelův důkaz*, eds. Douglas R. Hofstadter. Brno. VUTIUM. 2006.). V rámci jednoduchého shrnutí se postup Gödelova číslování dá shrnout následovně. Gödel pro formální systém vytvořil dva slovníky, proměnné a konstanty. Původně bylo uvedeno sedm konstant, dnes se běžně pracuje s dvanácti, tak jak je ve své práci představili Nagel a Newman. Na základě těchto slovníků je jednotlivým položkám přiřazeno číslo. V případě konstant, což jsou především základní symboly logiky, se jedná o čísla od 1 do 7, případně 12. Proměnné jsou následně rozděleny do třech kategorií, kde pro každou kategorii existují specifická pravidla pro to, která prvočísla k proměnné přiřadit. Musí se však jednat o prvočísla větší, než je tabulka konstant. Pro každou matematickou formuli lze takto vypočítat Gödelovo číslo. ZÁMEČNÍK, Lukáš H., JURKOVÁ, Barbora: *Von Neumann, Turing a Gödel: o mysli a strojích*. (V recenzi k 2.5.2022.).

¹³⁴ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2003. s. 94.

¹³⁵ Oproti Gödelovi a von Neumannovi, nejsou zde žádné doklady o tom, že by Turing s některým z nich navázal bližší kontakt. Vzájemná inspirace zde však existovala a v průběhu této práce je již několikrát ilustrována.

¹³⁶ Podobně jako v případě Gödela, ani zde nebude reprodukován celá Turingova teorie týkající se univerzálních automatů. Turing představuje svoji práci v článku z roku 1937 *On computable*

Turingovy univerzální stroje můžeme chápat jako druhý a o něco komplikovanější krok v celé teorii automatů tak, jak s ní později pracuje právě von Neumann. Z podstaty Turingova univerzálního stroje se v tomto případě jedná o rozhodování mezi akceptovatelností a rozhodnutelností daného řetězce. Z technického hlediska tedy existuje univerzální automat, který se skládá ze čtecího zařízení, které načítá nekonečně dlouho pásku. Pokud hovoříme o *univerzálním automatu*, jedná se o takový automat, který je schopný přijmout řetězec, na kterém je popsán jakýkoliv jiný Turingův automat. Univerzální automat tak dokáže simulovat výpočet, který by předložený automat prováděl sám.¹³⁷

Tato operace, kterou univerzální automat provádí, může skončit jedním ze tří možných stavů. V ideálním případě se univerzální automat zastaví v některém konečném stavu a znamená to, že předložený Turingův automat je rozhodnutelný, má tedy řešení. V případě akceptovatelnosti univerzální automat zpracuje řetězec a zastaví, nikterak však v konečném stavu automatu. To znamená, že takový automat je akceptovatelný, ale univerzální automat ho nedokáže vyřešit. Existuje ještě třetí možnost, a to je ta, že univerzální automat nikdy nezastaví a místo toho se zacyklí mezi svými jednotlivými stavy. Ukazuje to tak, že ani univerzální Turingův automat není schopen vyřešit všechny předložené problémy.¹³⁸

Něco podobného můžeme pozorovat i u Gödela. Na základě jeho důkazu je formální systém buďto bezesporný, ale v tom případě nemůže být kompletní. Naopak, pokud je formální systém kompletní, nikdy nebude bezesporný. U Turinga se jedná o obdobnou problematiku. Vždy tu bude existovat takový řetězec, který sice bude akceptovatelný, ale nebude rozhodnutelný. Samozřejmě, množství takovýchto řetězců je nekonečně mnoho.

Pokud se zaměříme na syntaktickou část, to, že u Turingova automatu jsme schopni identifikovat množinu finálních vztahů, odpovídá v případě Gödela schopnosti nalezení syntaktického odvození pro jeho důkaz. Pokud by takto syntakticky odvozený

numbers, with an application to the Entscheidungsproblem a nadále ji rozvíjí s novými modifikacemi ve svojí disertaci *Systems of logic based on ordinals* z roku 1939.

¹³⁷ TURING, Alan: *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem* in *Proceedings of the London Mathematical Society* 42/2. no. 1. 1937. s. 230–265.

¹³⁸ TURING, Alan: *ibidem*, 1937.

důkaz neexistoval, nebyli bychom schopni takovou množinu finálních stavů automaticky identifikovat.¹³⁹

Co je však mnohem důležitější je právě řetězec, který je univerzálnímu automatu předkládán. Jak už bylo řečeno, jedná se o zápis jakéhokoliv Turingova automatu. Abychom mohli pořídit zápis takového automatu a následně ho reprezentovat na pásce, která je rozdělena na jednotlivá políčka, musí zde opět existovat algoritmus, dle kterého jsme schopni tento zápis vytvořit. Turingův automat funguje tak, že na základě předem nadefinovaných pravidel přechází z jednoho stavu do druhého. Jedná se o stavy, ve kterých automat načítá jednotlivá políčka, následně vyhledá v pravidlech to, jak se má zachovat a dle tohoto se buďto posune po pásce dál nebo dané políčko vymaže či přepíše a následně se posune. Posouvání čtecí hlavičky je možné oběma směry, doprava i doleva¹⁴⁰

Tím, že jsme schopni vyjádřit chování automatu jednoduchým zápisem, je možné ho posléze převést na zápis pomocí symbolů, jako je tomu u Gödelova číslování pro věty aritmetiky. Je nutné, aby tyto symboly byly součástí konečné abecedy a v nejčastějších případech se jedná o binární kód 0 a 1. Turing dokonce sám poukazuje na důležitost gödelova číslování.¹⁴¹ Podobně tedy jako formální systém, automat můžeme vyjádřit za pomoci jednoduchého zápisu. Opět zde tedy dochází k tomu, že se bavíme o potencionálním fyzickém mechanismu, který je kontrolován symboly.

Pokud tedy v případě Gödela hovoříme o tom, že se jedná o rozhodnutí mezi pravdivostí a dokazatelností na úrovni jednotlivých symbolů, v případě Turinga a jeho automatů se jedná o akceptovatelnost a rozhodnutelnost na úrovni konečné abecedy.

Problematika dvojí sady, v tomto případě tedy syntaxe a sémantiky, je v případě obou řešena velice podobně. Dostáváme se zde k problému sebe-reference. Gödelův důkaz je ve své podstatě založen na velice jednoduchém výroku, že G je nedokazatelné. Nicméně za pomoci právě číslování, které Gödel představil, lze najít v rámci formálního systému číslo právě pro tento výrok.¹⁴² Obdobný problém nastává v okamžiku, kdy Turingovu univerzálnímu stroji předložíme zápis sebe samotného. Univerzální

¹³⁹ ZÁMEČNÍK, Lukáš H., JURKOVÁ, Barbora: *ibidem*.

¹⁴⁰ TURING, Alan: *ibidem*, 1937. s. 231.

¹⁴¹ TURING, Alan: *ibidem*, 1937. s. 230.

¹⁴² GÖDEL, Kurt: *ibidem*, 1931.

automat tak tedy v tomto okamžiku zpracovává řetězec, který je pro něj sice akceptovatelný, ale ne rozhodnutelný.¹⁴³

V případě Gödela tedy platí, že pravdivost zastává sémantickou funkci a dokazatelnost lze brát jako syntax. U Turinga se sémantikou setkáme v případě akceptovatelnosti a se syntaxí v rámci rozhodnutelnosti. V obou případech také platí, že sémantika zde není přímo závislá na syntaxi. Platí totiž, že všechny rozhodnutelné řetězce musí být akceptovatelné, ale ne všechny akceptovatelné řetězce musí být rozhodnutelné. Totéž se dá říci o pravdivosti a dokazatelnosti. Ne všechny pravdivé věty jsou nutně dokazatelné, ale všechny dokazatelné věty jsou nutně pravdivé. Akceptovatelnost a pravdivost, tedy sémantika, není přímo v závislém vztahu na syntaxi.¹⁴⁴

Tato distinkce mezi dvěma sety kódu je však důležitá zejména právě pro von Neumannův univerzální konstruktér. Problém, který jsme v předchozí části definovali jako akceptovatelnost versus rozhodnutelnost a pravdivost versus dokazatelnost, se v tomto případě dá formulovat jako distinkce mezi konstruovatelností a reprezentovatelností.¹⁴⁵ Zároveň tu vyvstává poněkud komplikovanější otázka sebe-reference.

Von Neumann tuto distinkci nezavádí přímo. Ve větší míře je tato problematika řešena v rámci textů, které von Neumann nestihl dokončit. Navíc, tím, že von Neumann se z větší části zaměřuje na problematiku konstruktéru po technické stránce, tato distinkce mezi sémantikou a syntaxí ani pro něj samotného nemusela být patrná. Sebe-reference v tomto případě není tím hlavním problémem.¹⁴⁶

V případě von Neumanna je to ale poněkud naopak. Otázka distinkce sémantiky a syntaxe je stále podstatná, ale je v tomto případě silně vázána na koncept sebe-reference. Von Neumann se neptá, jak vyřešit případnou sebe-referenci v rámci formálního systému, jako kdyby sebe-reference byla problémem. Naopak se ptá, zda je možné sebe-referenci využít při tvorbě své vlastní kopie. Místo sebe-reference se tak najednou zabýváme problematikou sebe-replikace.

¹⁴³ TURING, Alan: *ibidem*, 1937. s. 231-232.

¹⁴⁴ ZÁMEČNÍK, Lukáš H., JURKOVÁ, Barbora: *ibidem*.

¹⁴⁵ Tyto dva termíny byly zavedeny v článku ZÁMEČNÍK, Lukáš H., KRBEK, Jaroslav: *Describing Life: Towards the Conception of Howard Pattee in Linguistic Frontiers* 2. no. 1. 2019. 1–9. a následně také v článku ZÁMEČNÍK, Lukáš H., JURKOVÁ, Barbora: *ibidem*.

¹⁴⁶ ZÁMEČNÍK, Lukáš H., JURKOVÁ, Barbora: *ibidem*.

Důrazu na nutnou existenci kódu v rámci von Neumannova univerzálního konstruktéru si lze povšimnout už v předchozích částech této práce. Univerzální konstruktér ale nutně musí obsahovat zejména právě zápis sám sebe, ve kterém se zakódované i to, jakým způsobem má provést svoji sebe-replikaci. Tyto dva kódy od sebe lze oddělit, pokud se budeme zabývat jednotlivými orgány konstruktéru. Pokud ale budeme řešit již přímo problematiku sebe-replikace, tento kód je brán jako celek, tedy L, kompletní zápis konstruktéru. Druhý kód zde posléze představuje instrukce I.¹⁴⁷

Univerzální konstruktér však není pouze metamatematický problém jako v případě Gödelova důkazu, či jednoduchým strojem jako u Turinga. Jedná se komplexní koncept stroje, který má svoje jednotlivé orgány s přesnou funkcí. Pokud ale má obsahovat zápis sebe, je nutné, aby celá jeho komplexita byla reprezentovatelná. To znamená, že jednotlivé části konstruktéru jsme schopni převést na zápis, který se dá uložit a předat ve formě, kterou konstruktér dokáže znovu přečíst a také předávat dále. Nahrazujeme zde tedy univerzální konstruktér přímo jeho zápisem. Pokud by automat tento svůj kód neobsahoval, nebyl by schopný zkonstruovat sám sebe.

Lze tedy vidět, že v případě reprezentovatelnosti je tu jasná analogie k akceptovatelnosti a pravdivosti. Rozhodnutelnost a dokazatelnost jsou analogiemi právě ke konstruovatelnosti. Abychom to vyjádřili stejně jako v předchozích příkladech, to, co je konstruovatelné musí být nutně reprezentovatelné, ale to, co je reprezentovatelné, nemusí být nutně konstruovatelné. Což platí hlavně v okamžiku, kdy do celé problematiky zahrneme ještě kód, který přichází v podobě instrukce I z vnějšího prostředí a který také dává do pohybu celý proces sebe-replikace. Instrukce I může v některých případech obsahovat kód takového automatu, který je sice reprezentovatelný, nicméně pro univerzální kód není konstruovatelný. Pokud v prostředí, ve kterém je univerzální konstruktér umístěn, nebude správný materiál, či ho nebude dostatek, proces sebe-replikace se spustí, ale nebude možné, aby byl dokončen.

Na okamžik pomineme fakt, že v současné chvíli jeho konstrukce není možná a jedná se tedy spíše o myšlenkový experiment. Komplikovanost univerzálního konstruktéru spočívá v tom, že kromě komplexního stroje jako takového, je důležité i jeho okolí.

¹⁴⁷ VON NEUMANN: *ibidem*, 1966. s. 112-130.

Univerzální konstruktér je dle něj umístěn v prostředí, kde má k dispozici všechny díly na sestavení sama sebe.¹⁴⁸ V tomto případě tedy může sestavit svoji přesnou kopii, která se nebude lišit v naprosto v ničem. Instrukce *I*, která byla nadefinována v první části této práce, může obsahovat pouze zápis o tom, že má být spuštěna sebe-replikace. Funkce *C* po přečtení a dekódování této instrukce začne rozdávat úkoly jednotlivým částem univerzálního konstruktéru. Kromě vzniku nového automatu je do něj překopírovaný i řetězec obsahující kompletní popis včetně sebe-replikace mateřského konstruktéru.¹⁴⁹

Musíme ale počítat i s něčím, co von Neumann navrhuje a dále rozvíjí právě Howard Pattee. Jedná se o evoluci.¹⁵⁰ Univerzální konstruktér je do velké míry odkázán na své prostředí, nejen v rámci dílů, které potřebuje k sebe-replikaci, ale také se jedná právě o instrukce, které jsou mu předávány. Kromě toho, že instrukce *I* může obsahovat jednoduchý příkaz k sebe-replikaci jako takové, může obsahovat i informace o automatu, který má být teprve vytvořen. Tedy novou sadu pravidel, kterými se univerzální konstruktér najednou musí řídit.¹⁵¹

V ideálním případě můžeme předpokládat, že konstruktér bude schopný sestavit automat, který se od něj v některých aspektech liší. I do tohoto automatu se budou kopírovat kód, který obsahuje popis konstruktéru a sebe-replikace, zároveň tam však bude zkopírována i nová informace, která v sobě nese *I*, tedy popis kompletně jiného automatu, než je mateřský konstruktér. Von Neumann nerozebírá, co přesně se pak s kódem v rámci nově vzniklých automatů děje. Lze však předpokládat, že tento kód se ukládá a přenáší na nové automaty takto kompletní, s informacemi ze všech předchozích automatů.

Otázka evoluce von Neumannova univerzálního konstruktéru je však něco, co se velmi často obchází. Jedním z největších faktorů, proč se tomu tak děje, je to, že von Neumann nestihl tuto část plně dokončit. Pouze navrhl úpravu původní rovnice a nikterak evoluci jako takovou nerozváděl. Je otázkou, zda ji hodlal objasnit v další části, či jednoduše tento vágní popis odpovídá stavu evoluční teorie v 50. a 60. letech.

¹⁴⁸ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316-318.

¹⁴⁹ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316-318.

¹⁵⁰ PATTEE, Howard, H.: *ibidem*, 2005. s. 6.

¹⁵¹ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316-318.

Přesto, kromě konceptu sebe-replikace, je to právě evoluce, co by mohlo být potažmo užito jako model v rámci kódové biologie a dalších disciplín.

3.4 Von Neumannova sonda a kódová biologie

Přestože se von Neumannův koncept sebe-replikace a celkového fungování jeho univerzálního konstruktéru zdá jako ideální model pro kódovou biologii a zejména genetický kód samotný, jsou zde jisté rozdíly, které nelze ignorovat. Stále se jedná o stroj, i když hypotetický. Je tedy jasné, že nebude plně odpovídat biologické realitě. Vyplývá to z popisu konstruktéru jako systému. Jelikož se jedná o umělý systém, je nutné, aby ho někdo nejdříve sestrojil. Nezáleží na tom, jak moc bude totožný se živým systémem, stále se jedná o něco mechanického.

Jeden z prvních problémů, který je zdůrazňován téměř všemi vědci, nejen biology, je ten fakt, že von Neumannova sonda musí obsahovat svůj kompletní popis. Jak již bylo zdůrazněno, bez toho nemůže sebe-replikace probíhat.¹⁵²

Další podobný problém vystává v okamžiku případné evoluce sebe-replikující se sondy. V předchozí části bylo řešen i problém toho, že von Neumann neuvádí, co se děje s původním zápisem mateřského univerzálního konstruktéru, ze kterého posléze vznikají další. Předpokládáme tedy, že kód zůstává zachován kompletní a kompletní bez jakékoliv změny se i předává dále. Do původního kódu, tedy kódu mateřského konstruktéru, není zasahováno a nemění se ani v okamžiku, kdy má sestrojit dceřiný automat, který je od mateřského konstruktéru odlišný. V rámci jedné generace tedy kód zůstává stále stejný.¹⁵³

Na druhou stranu jsou tu některé aspekty, které von Neumannova sonda splňuje až pozoruhodně přesně. Vrátime-li se k tomu, jak Barbieri řeší koncept kódu v kódové biologii, podstatná pro něj byla charakteristika kódu. Pro připomenutí se jedná o to, aby kód fungoval jako korespondence mezi dvěma na sobě nezávislými světy, tedy jako

¹⁵² VON NEUMANN: *ibidem*, 1963. 317-318.

¹⁵³ VON NEUMANN: *ibidem*, 1966. s.251-381.

adaptor, který dává smysl zakódované informaci a jako poslední bod musí splňovat požadavek, že se jedná o pravidla, která garantují specifičnost probíhající operace.¹⁵⁴

Předpokládejme tedy, že von Neumannově sonda je uměle sestrojený organismus. Jak již tedy bylo řečeno, je zde podmínka obsahu svého vlastního kompletního zápisu.¹⁵⁵ Tento kompletní zápis je kód, do kterého byla sonda jako celek převedena. Samotný zápis sebe-replikující se sondy tedy splňuje první Barbieriho podmínku. Kód, předpokládejme, že binární, zde funguje jako mapování v rámci sondy jako takové.¹⁵⁶

Co se týká druhé podmínky, ta už vyplývá z podstaty kódu samotného. Pokud by z nějakého důvodu byl univerzální konstruktér zakódován do kódu, který sám není schopný přečíst, celý proces sebe-replikace by selhal. Totéž platí pro příchozí instrukci I.¹⁵⁷

Poslední bod je však pro celý koncept von Neumannovy sondy jakožto vhodného mechanistického modelu pro kódovou biologii klíčový. Barbieri odmítá v rámci konceptu kódu jakoukoliv interpretaci. Kód tedy dle jeho názoru funguje jako regulace celého procesu, především v rámci organických kódů. Pro příklad, jsou to právě tyto regulace, které zajišťují vytváření toho správného proteinu na základě toho, že t-RNA je užita jako mapování mezi kodony a amino kyselinami. Dle Barbieriho jsou tyto regulace nutné k celkovému fungování a dalšího vývoje organismů.¹⁵⁸

Von Neumannova sonda funguje na základě přesných regulací. Není zde prostor pro interpretaci. Stejně tak, jako není prostor pro interpretaci v rámci Gödelova pojetí pravdivosti a dokazatelnosti věty či Turingovy akceptovatelnosti a rozhodnutelnosti řetězce, na kterých je z velké části von Neumannův koncept sebe-replikace a evoluce vystavěn.

Tento přístup je možný sledovat především u Howarda Patteeho, který tuto vlastnosti von Neumannova univerzálního konstruktéru nazývá jako *special constraints*.¹⁵⁹ Do jisté míry se podobají charakterizaci kódu tak, jak ji předkládá Barbieri. Jak Barbieri, tak Pattee přistupují k organickému kódu, a především k tomu genetickému, skrze

¹⁵⁴ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2003. s. 94.

¹⁵⁵ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 317-318.

¹⁵⁶ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2003. s. 94.

¹⁵⁷ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316-318.

¹⁵⁸ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. 39.

¹⁵⁹ PATTEE, Howard, H.: *ibidem*, 2012. s. 83.

biologickou potřebu sebe-replikace a tím pádem i tedy symbolické vyjádření této formy evoluce. Patteeho teorie spočívá pak právě na speciálních omezeních¹⁶⁰ a dle tohoto přístupu se von Neumannova sonda dostává do poměrně zvláštního postavení v rámci sémiotiky. Jak už zde bylo poukázáno, pokud se takovéto ohraničení použijí, dle Barbieriho pak není velmi jasná hranice mezi živým a umělým systémem.¹⁶¹ Von Neumannův univerzální konstruktér však splňuje všechny Barbieriho požadavky a jsme schopni ho zahrnout do Barbieriho *rozšířeného mechanismu*.¹⁶²

To je právě i bod, kde se Barbieri s Patteem rozchází. Ano, dle Barbieriho fungují kódy jako přesně dané restriktce, nicméně zdůrazňuje, že ne všechny všechna speciální omezení je možné pozorovat v organických kódech. Pokládá si tak otázku, kde je hranice těchto speciálních omezení a jak je lze vymezit v případě živého a umělého systému.¹⁶³ Můžeme vidět, že i přes to, že Barbieri zastává částečně mechanistický přístup v rámci kódové biologie, čistě mechanistický model pro něj není dostačující. Barbieri se do tohoto konceptu snaží ještě začlenit význam.¹⁶⁴

Koncept von Neumannova univerzálního konstruktéra je všeobecnosti pojímaný jako jeden z prvních modelů, který ukazuje dualitu kódu, tedy rozdíl mez konstruovatelností a reprezentovatelností.¹⁶⁵ Ve většině případech tak von Neumannova sonda zůstává na pozadí zkoumání jako historická zajímavost. Kromě Howarda Patteeho, a do jisté míry Marcella Barbieriho, se v poslední době k této problematice také vyjadřuje teoretický biolog Abir U. Igamberdiev.

Pro Igamberdieve je důležitý organismus a jeho organizace. Nesoustředí se pouze na roli kódu, přenáší problematiku na úroveň nutného rozdělení symbolické paměti a dynamických zákonů, které jsou v rámci organismu nutné pro sebe-replikaci.¹⁶⁶

¹⁶⁰ PATTEE, Howard, H.: *ibidem*, 2012. s. 83.

¹⁶¹ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 175.

¹⁶² BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 175-176.

¹⁶³ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 175.

¹⁶⁴ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2010. s. 1-4.

¹⁶⁵ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 153.

¹⁶⁶ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, Joseph E: *Mathematics in biological reality: The emergence of natural computation in living systems* in *Biosystems*. 2021.; BRENNER, Joseph E.; IGAMBERDIEV, A: *Philosophy in Reality. A New Book of Changes*: Berlin/Heidelberg, Germany. 2021.

3.5 Univerzální konstruktér jako systém

Igamberdiev má ke kódové biologii svůj vlastní přístup, ve kterém se odráží jeho zaměření na organizaci systémů. Tento přístup je patrný i v tom, jak pracuje s konceptem von Neumannova univerzálního konstruktéru. Oproti Barbierimu a Patteemu, Igamberdiev na sebe-replikační sondu nahlíží z velké části i skrze matematiku. Dalším rozdílem je to, že Barbieri a Pattee vedou debatu na úrovni kódů, Igamberdiev se však tento mechanistický model, jakým sonda je, snaží ukotvit pro systém jako celek. Přesto se však v některých bodech shoduje s přístupy jak Barbieriho, tak i Patteeho.¹⁶⁷

Koncept, kterým Igamberdiev navazuje především na Howarda Patteeho, je *epistemický řez*. Pattee chápe epistemický řez poněkud odlišně, než jak je zaveden v klasické filozofii, kde se jedná především o problém na úrovni kognice.¹⁶⁸ Dle jeho názoru distinkce mezi subjektem a objektem, či symboly a hmotou (přírodními zákony) nejsou otázkou ontologické duality, ale právě epistemické nutnosti.¹⁶⁹ Pattee předpokládá, že forma epistemického řezu proběhla na počátku života jako nutná součást evoluce.¹⁷⁰ Pokud by existoval mechanistický model života, dle Patteeho musí definovat epistemický řez na základě toho, jaká data v rámci takového modelu reprezentují fyzickou skutečnost a jaká naopak reprezentují model prostředí daného organismu.¹⁷¹

Pro koncept von Neumannova univerzálního konstruktéru v tomto případě Pattee hovoří o distinkci mezi popisem a konstrukcí, respektive mezi genotypem a fenotypem takového automatu.¹⁷² Zastává ten názor, že bez této distinkce a bez arbitrárnosti kódu by nemohlo docházet k sebe-replikaci, ale také k otevřené evoluci, ke které má univerzální konstruktér potenciál.¹⁷³

¹⁶⁷ BRENNER, Joseph E.; IGAMBERDIEV, A.: *Philosophy in Reality*, 2021. s. 423-44.

¹⁶⁸ PATTEE, Howard, H.: *ibidem*, 2012. s. 230.

¹⁶⁹ PATTEE, Howard, H.: *ibidem*, 2012. s. 5.

¹⁷⁰ PATTEE, Howard, H.: *ibidem*, 2012. s. 20.

¹⁷¹ PATTEE, Howard, H.: *ibidem*, 2012. s. 25.

¹⁷² PATTEE, Howard, H.: *ibidem*, 2012. s. 229.

¹⁷³ PATTEE, Howard, H.: *ibidem*, 2012. s. 280.

Igamberdiev s Pattem do jisté míry nesouhlasí. Tvrdí, že epistemický řez jako výsledek arbitrárnosti a distinkce symbolů a hmoty je iluze. Vztahuje to opět ke genotypu a fenotypu, které jsou dle Igamberdievova názoru sice oddělitelné, ale nelze o nich přemýšlet jako o izolovaných a na sobě nezávislých entitách. Konkrétně se jedná o výrok: „*We agree with Pattee that the illusion of isolation of symbols from matter can arise from the arbitrariness of the apparent epistemic cut. Further, the apparent isolation of symbolic expression from physics seems due to an epistemic necessity, but ontologically it is still an illusion, making a clear distinction is not the same as isolation from all relations. In general, one clearly separates the genotype from the phenotype, but from an operative standpoint, one certainly does not think of them as isolated or independent entities.*“¹⁷⁴

Igamberdiev však s Patteem souhlasí zejména v nutnosti zavedení restrikcí pro systémy. Pro Igamberdieva je klíčové, aby v systému existovala distinkce mezi symbolickou pamětí a dynamickými zákony. Jako dynamické zákony lze v tomto kontextu chápat základní zákony fyziky a chemie, jelikož Igamberdiev je nikterak blíže nespecifikuje.¹⁷⁵ Dynamické v tom směru, že tam dochází ke změně příčiny

Dle Igamberdieva je tato distinkce patrná hlavně v případě dynamických zákonů, kterými se systém řídí, a počátečních podmínek, které se dají vyhodnotit vědeckými metodami.¹⁷⁶ Opírá se zde především o argumentaci Patteeho. Dle Patteeho, a přeneseně i Igamberdieva, jsou omezení v rámci biologických systémů ekvivalentní dynamickým zákonům a jsou naprosto nezbytné pro průběh potenciaální evoluce.¹⁷⁷

Jak následně Igamberdiev poukazuje, von Neumann sám dokázal, že počáteční podmínky a dynamické zákony se v rámci systému musí navzájem doplňovat, jinak by docházelo k regresi celého systému. Epistemický řez je tedy nutný pro organizaci celého systému. Jak však ale Igamberdiev připomíná, vyvstává ale otázka, jak uchopit vztah mezi počátečními podmínkami a omezeními. V okamžiku, kdy by byly odlišné, nemůže mezi nimi probíhat žádná forma komunikace. Kdyby naopak byly totožné,

¹⁷⁴ BRENNER, Joseph E.; IGAMBERDIEV, A: *Philosophy in reality*, 2021. s. 439.

¹⁷⁵ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, Joseph E.: *Mathematics*. 2021. s. 441.

¹⁷⁶ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Mathematics*, 2021. s. 9.

¹⁷⁷ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Mathematics*, 2021. s. 9.

nemůžeme hovořit o epistemickém řezu. Tímto se Igamberdiev snaží částečně vyvrátit epistemický řez tak, jak ho zavedl Pattee.¹⁷⁸

Oproti Patteemu se Igamberdiev s Brennerem snaží znovu vrátit k ontologickému dualismu. Proto zavádí dvojici pojmů *aktuálnosti*, která zastupuje subjekt a je brána jako hybná příčina systému, a *potenciality*, která se dá chápat jako objekt a finální stav systému. Z toho vyplývá, že aktuálnost je zde pojímána jako počáteční míry a potencialita jako kontrola systému skrze symboly. Igamberdiev poukazuje na to, že o nich lze uvažovat jednotlivě, ale stále tvoří jeden celek a nejedná se o epistemický řez.¹⁷⁹

Pokud bychom tyto Igamberdievy pojmy chtěli uplatnit už v zavedených schématech dvojic u Gödela, Turinga a von Neumanna, *aktuálnost* by přibližně odpovídala konstruovatelnosti a *potencialita* zase naopak reprezentovatelnosti. Jak už bylo několikrát zmíněno, tato separace je nutnou podmínkou pro fungování univerzálního konstruktéru a správné probíhání jeho sebe-replikace.¹⁸⁰

Doposud jsme tedy řešili univerzální konstruktér na jeho základní rovině, a to je to, jakým způsobem zpracovává kód a jak je řešena jeho sebe-reference a sebe-replikace na základě kódu. Pouze okrajově byla řešena potencionální evoluce von Neumannovy sondy. Barbieriho využití mechanistického modelu do sebe většinou nezahrnuje přímo matematické teorie a teorie jako je umělá inteligence a umělý život.¹⁸¹ Pattee do své práce AI a ALife zahrnuje, jedná se však o velmi teoretickou práci. Tuto problematiku řeší právě hlavně s ohledem na AI a ALife, živým systémům se natolik nevěnuje.¹⁸² Igamberdiev však matematiku užívá k vysvětlování procesů a organizace v systémech, ať už v těch živých či umělých.¹⁸³

Premisa článku *Mathematics in biological reality: The emergence of natural computation in living systems* do sebe zahrnuje přesvědčení, že matematika je univerzálním nástrojem, který dokáže vyjádřit některé procesy systému v reálném světě.

¹⁷⁸ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Mathematics*, 2021. s. 9.

¹⁷⁹ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Mathematics*, 2021. s. 9.

¹⁸⁰ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 251-196.

¹⁸¹ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015.

¹⁸² PATTEE, Howard H: *Artificial life needs a real epistemology* in *European Conference on Artificial Life*. Springer. Berlin. Heidelberg. 1995. p. 21-38.

¹⁸³ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Mathemacs*, 2021.; IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Philosophy in reality*, 2021.

Základem pro toto tvrzení je fakt, že všechny živé systémy v sobě obsahují svůj vlastní zápis. Nadále Igamberdiev tvrdí, že právě na základě tohoto zápisu je vytvořen model chování takového živého systému, který odráží pravidla vytvořená na základě právě jejich zápisu.¹⁸⁴

Pro Igamberdieva se vývoj systému zakládá na překonávání chyb, které se mohou v modelu jeho chování objevit. Takováto chyba je povětšinou na úrovni zápisu, který neobsahuje všechny možné vzorce chování pro všechny možné situace. V tento okamžik se model musí změnit. Většinou zásahem právě do svého zápisu. Znamená to tedy, že samotný symbolický zápis, a tedy i symbolická paměť systému, se vyvíjí společně se systémem.¹⁸⁵

Pokud se na evoluci zaměříme v případě univerzálního konstruktéru, průběh je velice podobný. Sebe-replikace v rámci univerzálního konstruktéru totiž může mít potenciaálně dva výsledky. Ve většině případech hovoříme o přímé sebe-replikaci, kdy tedy konstruktér dostane k dispozici instrukce I, že má začít replikovat přímo sám sebe z materiálů, které má k dispozici. Předpokládáme, že v okolí konstruktéru se nachází takový materiál, aby konstruktér skutečně mohl sestrojít svoji přímou repliku.¹⁸⁶

Univerzální konstruktér však také může dostat instrukce I', které obsahují zápis dalšího konstruktéru. Tyto nové instrukce I', a tedy i nový kód, musí být takový, že je univerzální konstruktér schopný jej přečíst. Zároveň ale také v tomto kódu mohou být zaneseny nové skutečnosti z prostředí, ve kterém se sonda nachází. Součástí procesu sebe-replikace je i kopírování symbolického zápisu univerzálního konstruktéru samotného, ale také právě instrukce I', podle kterých byl nový konstruktér sestrojen. Což tedy znamená, že zde dochází ke změně zápisu samotného, který v sobě najednou pojí kódy dohromady. Jak už zde ale bylo řečeno, univerzální konstruktér do svého kódu zpětně nezasahuje, nebo alespoň von Neumann s touto hypotézou nepracuje. To znamená, že v okamžiku, kdy nově vytvořený konstruktér provede svoji sebe-replikaci, nový kód se přenáší do další generace konstruktérů. K těmto změnám v rámci kódu může docházet i několikrát, záleží na tom, co bude zaneseno v instrukcích I. Důležité je poznamenat,

¹⁸⁴ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Mathematics*, 2021. s. 9.

¹⁸⁵ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Mathematics*, 2021. s. 9.; IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Philosophy in reality*, 2021. s. 436. (Přímý citát se nachází u odkazu 174.)

¹⁸⁶ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1963. s. 316.

že konstruktér, který instrukce I zpracovává, je v sobě neukládá. Zápis v rámci jednoho konstruktéru zůstává stále stejný, změny se týkají až posléze nových generací.¹⁸⁷

Evoluce von Neumannova konstruktéru není přesnou kopií evoluce tak, jak o ní mluvíme v případě organismů. Ostatně ani von Neumann nezamýšlel, aby sonda byla přesnou kopií živého systému. Stále je podstatné to, že von Neumannova sonda je ve své podstatě strojem a byla tak zamýšlena. Přesto však jistým způsobem reprezentuje průběh evoluce tak, jak o něm píše Igamberdiev: „*During the origin and evolution of living systems, mathematics emerges internally as a capacity for abstraction exhibiting itself in the course of development and adaptation to the external world. The internal coding structures which represent embedded descriptions of living systems manifest this natural mathematics. They generate deterministic models of behavior being anticipatory in this sense, and can evolve due to the acquisition of new statements inside the embedded description that overcome limitations of the existing models. The newly generated statements are empowered by meanings in the changing environment. The growth of complexity, being a consequence of the internal active adaptation to externality performed by the systems, increases the amount of actualized external work and generates the observed patterns of spatiotemporal structures of evolving systems.*“¹⁸⁸

Celkový Igamberdievův přístup nastiňuje to, co zde již bylo řečeno. Von Neumannova sebe-replikující se sonda dává jako mechanistický model pro kódovou biologii mnohem větší smysl, pokud k ní budeme přistupovat jako k systému. Pokud k tomuto přistoupíme, univerzální konstruktér tak do konceptu kódu a kódové biologie tak, jak byly stanoveny Barbierim, zapadne mnohem lépe, protože jsme za pomoci konstruktéru schopni namodelovat systém jako celek.¹⁸⁹

Podobně jako je tomu u organismů, i v případě von Neumannova univerzální konstruktéru se stále případně můžeme soustředit pouze na jednotlivé části a orgány. V kontextu bychom se stále soustředili především na to, jakým způsobem je v pracováno s kódem. Přijmeme-li Igamberdův matematický pohled na celou problematiku,

¹⁸⁷ VON NEUMANN, John: *ibidem*, 1966. s. 131.; PATTEE, Howard H.: *ibidem*, 2005. s. 8-9.

¹⁸⁸ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Mathematics*, 2021. s. 9.

¹⁸⁹ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Mathematics*, 2021. s. 9.

celý problém se dá převést na digitální úroveň a mohli bychom zde hovořit o počítačovém programu.¹⁹⁰

I přes to, že se zdá, že Igamberdiev opírá značnou část svojí hypotézy právě o von Neumannův univerzální konstruktér a teorii sebe-replikace, ve své podstatě se vrací ke Kurtu Gödelovi a jeho teorému, především však právě ke Gödelovu číslování. Pro Igamberdieva je Gödelovo číslování, při němž dochází k získávání zakódování výroku, rovno procesu vytváření sémiotické entity. Jedná se konkrétně o výrok: „*To understand this dynamic process, we need to analyze the course of obtaining the proof in Gödel's sense which will characterize the process itself and generate encoding in the system such that it becomes a semiotic entity (seme). During this process, growth of complexity takes place and the system acquires information about itself and about the external (to it) reality. In other words, Gödel contributed much more for understanding semiosis than Peirce or Saussure because he explained the necessity of encoding as a required step in the signification process.*“¹⁹¹

Dle názoru Igamberdieve, je to právě Kurt Gödel, který prokázal důležitost semiózy v rámci systému na základě nutného kódování jako důležitého korku pro proces signifikace. Tento proces je nutný k tomu, aby byla lépe uchopitelná distinkce mezi formálním Gödelovým systémem a Gödelovým číslováním. Jedná se o další duální distinkci, se kterými se setkáváme v průběhu této práce. Jedná se o rozdíl mezi systémem jako takovým a jeho kódováním, které sám obsahuje. Tedy to, co Pattee považuje za epistemický řez¹⁹² a Igamberdiev za ontologický.¹⁹³ Igamberdiev tak navazuje na Barbieriho a jeho dyadické pojetí kódu. Stejně tak ale navazuje přímo na Gödela, Turinga a von Neumanna a potvrzuje tím tak, že systém si vystačí s touto dualitou a ke své existenci nepotřebuje provádět interpretaci. V systému samotném je deterministicky zakódované jeho chování a způsob, jakým má číst instrukce a provádět sebe-replikaci. V případné evoluci vše závisí na přichozích instrukcích z vnějšího prostředí systému.

¹⁹⁰ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Mathematics*, 2021. s. 6.

¹⁹¹ BRENNER, Joseph E.; IGAMBERDIEV, Abir U.: *Philosophy in reality: scientific discovery and logical recovery in Philosophies*. 2019. 4.2. 22. s. 21.

¹⁹² PATTEE, Howard, H.: *ibidem*, 2012. s. 5.

¹⁹³ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Philosophy in reality*, 2021. s. 442.

3.6 Napříč dualitou

V průběhu této práce si lze povšimnout jistého motivu. Byla zde vyjádřena Barbieriho argumentace proti Peircovské sémiotice a triadickému modelu a zároveň zde bylo ukázáno na to, že Barbieri v rámci kódové biologie uplatňuje podobný přístup, s jakým se setkáme u de Saussura. Tento dualismus je však vlastní i všem ostatním teoriím, které zde byly uvedeny.

Jak bylo naznačeno v předchozí části, Igamberdiev sice dává von Neumannově univerzálnímu konstruktéru větší prostor k realizaci jakožto mechanistického modelu pro živý systém, nicméně v základech se opírá o Gödela. Proto je nasnadě otázka, jestli i Barbieri nepřejímá Gödelovský přístup ke kódu, tedy myšlenku, že proces Gödelova číslování se rovná procesu semiózy.¹⁹⁴

Zachová se nám tím dualita, která je pro celý koncept důležitá, ale zároveň to kódovou biologii více prováže s mechanistickým přístupem k modelování systémů. Gödel dokázal pravdivost a dokazatelnost kódu v rámci systému, ale také to, že aby mohlo docházet k tomuto epistemickému řezu, musí systém obsahovat deskripci sebe sama. Přes to, že Gödelův důkaz je především vztahován přímo ke kódu, Igamberdiev ukázal, že má svoji roli i v okamžiku, kdy se budeme zaobírat systémem jako celkem. Zároveň poukázal na to, že je to právě Gödelem vytvořená distinkce v rámci systému, co je klíčem k modelování evoluce. Jde jen o to, aby se distinkce mezi pravdivostí a dokazatelností vztáhla k systému, a ne jenom k jeho kódu. Igamberdiev a Brenner se vyjádřili následovně: *The complementarity between a formal Gödel system and Gödel numbering is based on the separation between the system itself and its embedding that represents its encoding. It follows or tracks the growth of complexity via the dynamics that is inherent to Gödel's self-reflexive loop and includes a certain freedom as the encoding (Gödel's numbering) can be reached by many alternative, i.e. complementary, ways. Thus the growth of complexity is based on the contradiction between a system and its representation (including its internal "encoded" representation),*

¹⁹⁴ BRENNER, Joseph E.; IGAMBERDIEV, Abir U.: *Philosophy in reality: scientific discovery and logical recovery in Philosophies*. 2019. 4.2. 22. s. 21.

generating new levels of “gradation” of organizational structure, and includes the relational abolition (negation) of previous steps. ¹⁹⁵

Podobně je tomu i u Turinga a jeho duality rozhodnutelnosti a akceptovatelnosti, či u von Neumanna a konstruovatelnosti a reprezentovatelnosti. Poukazuje to tedy na to, že v okamžiku, kdy řešíme problematiku systému, který obsahuje svůj vlastní zápis, ať už se jedná o organický či nikoliv, nejdříve se musíme vypořádat právě s tímto dyadickým modelem signifikace. Repetice tohoto vzorce na úrovni organické semiózy naznačuje, že systémy, ať živé či umělé, by mohly upřednostňovat duální přístup alespoň na své nejnižší úrovni.

¹⁹⁵ IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, A.: *Philosophy in reality*, 2021. s. 206-207.

Závěr

Pro svoji komplikovanost je ve většině případech von Neumannova sebe-replikující se sonda uváděna jako historický milník pro teorii umělého života a kybernetiky. Nicméně ještě v 60. letech se von Neumannovou prací začal zabírat Howard H. Pattee, který jí posléze uvedl jako možný model kódu, který by mohla převzít biosémiotika. V rámci biosémiotiky je však uplatnění mechanistických modelů složité, zejména tak komplexního modelu jako je univerzální konstruktér.

Mechanistické modely jsou však široce použitelné v teorii Marcella Barbieriho. Barbieriho snaha vyhnout se Peircovskému pojetí sémiotiky ho dovedla k tomu, aby se znovu vrátil k dyadickému modelu na bázi práce Ferdinanda de Saussura. S jistou formou dvojice „označované a označující“ se však setkáváme i v dalších případech. V Gödelově číslování při dokazování pravdivosti a dokazatelnosti, v Turingově akceptovatelnosti a rozhodnutelnosti a zejména v případě von Neumannovy konstruovatelnosti a reprezentovatelnosti.

Barbierimu však v případě mechanistického modelování, hlavně tedy v otázce sebe-replikační sondy, chybí uchopení významu. Proto konstruktér bere jako důležitý milník v oblasti kybernetiky a teorie umělého života, zdá se, že právě počítačová teorie a matematika by v rámci kódové biologie mohly hrát daleko větší roli, než se v současné chvíli může zdát, nicméně pro něj není dostačující. Vymezuje se i proti Patteemu a jeho snaze zavést sondu jako možné řešení otevřené evoluce. Speciální omezení, které Pattee navrhuje, dle Barbieriho nejsou dostatečné.¹⁹⁶

Pojátkem mezi přístupem Patteeho a přístupem Barbieriho by mohla být práce Igamberdieva. Ten se soustředí především na otázku matematiky v živých systémech a posléze i v těch umělých. I když opět nesouhlasí s Patteeho teorií epistemického řezu, zavádí do celého konceptu novou dualitu, aktuálnosti a potenciality, na základě kterých vysvětluje chování systému. Igamberdiův přístup však poukazuje zejména na možnost více zapojit disciplíny jako strojové učení a neuronové sítě.

Jak už bylo v rámci práce ilustrováno, i když von Neumannova sonda splňuje podmínky a charakteristiku kódu stanovené Barbierim, její potenciál jakožto modelu bude využit lépe v okamžiku, kdy bude aplikovaná na systém jako celek. Možná

¹⁹⁶ BARBIERI, Marcello: *ibidem*, 2015. s. 21-22.

von Neumannův univerzální konstruktér neobsáhne veškerou podstatu evoluce živého systému, ale dost dobře může fungovat jako sofistikovaná simulace.

Neposkytne nám to odpovědi na všechny záhady ohledně organismu a jeho vývoje. To ani nikdo nežádá. Nicméně společně s počítačnou teorií nám von Neumannova sebe-replikující se sonda poskytuje nejen příležitost zodpovědět některé otázky ohledně kódu a jeho původu, ale také ve spojení s programy umělé inteligence a umělého života může v budoucnu sloužit jako základ pro další mechanistické modely.

Literatura a zdroje

- BARBIERI, Marcello: *A mechanistic model of meaning in Biosemiotics*. 2011. s. 1-4.
- BARBIERI, Marcello: *Code Biology, A New Science of Life*. Springer. 2015.
- BARBIERI, Marcello: *Organic semiosis and Peircean semiosis in Biosemiotics*. 2013. 6.2. s. 273-289.
- BARBIERI, Marcello: *Ribosome crystallization in homogenates and cell extracts of chick embryos in Journal of Supramolecular Structure*. 1979. 10.3. 349-357.
- BARBIERI, Marcello: *The organic codes: An introduction to semantic biology*. Cambridge University Press. 2003. s. 94.
- BARBIERI, Marcello: *The semantic theory of evolution*. Harwood Academic Publisher. 1987.
- BARBIERI, Marcello: *What is code biology? in Biosystems*. 2018. 164. s. 1-10.
- BECHTEL, William; ABRAHAMSEN, Adele: *Explanation: A mechanist alternative in Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*. 2005. 36.2.
- BRENNER, Joseph E.; IGAMBERDIEV, Abir U.: *Philosophy in Reality. A New Book of Changes: Berlin/Heidelberg. Germany*. 2021.
- BRENNER, Joseph E.; IGAMBERDIEV, Abir U.: *Philosophy in reality: scientific discovery and logical recovery in Philosophies*. 2019. 4.2. 22. s. 21.
- BRENNER, S., JACOB, F., and MESELSON, M.: *An unstable intermediate carrying information from genes to ribosomes for protein synthesis in Nature 190*. 1961.

- s.576–581.; COBB, Matthew: *Who discovered messenger RNA?* in *Current Biology*. 2015. 25.13
- ECO, Umberto: *Teorie sémiotiky*. Praha. Argo. 2009
- GAMOW, George: *Possible relation between deoxyribonucleic acid and protein structures in Nature*, 1954. 173. 318.
- GLEICK, James. *Informace: historie, teorie, záplava*. Praha: Argo. 2013. s. 190-194.
- GLENNAN, Stuart: *Rethinking mechanistic explanation in Philosophy of science*. 2002. 69.S3.
- GÖDEL, Kurt: *Collected Works: Volume V Selected correspondence*, HZ. eds. Solomon Feferman et al. New York: Oxford University Press. 1986-2003.
- GÖDEL, Kurt: *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I* in *Monatshefte für Mathematik und Physik*. Akademische Verlagsgesellschaft. Leipzig 38. 1931. 173–198.
- GOLDSTEIN, Rebecca: *Incompleteness: The Proof and Paradox of Kurt Gödel (Great Discoveries)*. WW Norton & Company, 2006.
- GREIMAS, COURTÉS: *Semiotics and Language*. 1982.
- HAIGH, Thomas, PRIESTLEY, Mark: *Von Neumann thought Turing's universal machine was 'simple and neat.': but that didn't tell him how to design a computer* in *Communications of the ACM* 63, no. 1. 2019. s. 26–32.
- HAVLÍK, Vladimír: *Kurt Gödel a AI* in *Meze formalizace, analytičnosti a prostoročasu*, eds. Tomáš Čana and Vladimír Havlík. Praha. Filosofia. 2007. s. 161-177.
- HOAGLAND, MB.; STEPHENSON, ML.; SCOTT, JF.; HECHT, LI.; ZAMECNIK, PC.: *A soluble ribonucleic acid intermediate in protein synthesis* in *J Biol Chem*. 1958. s. 241-57.;

- HOFSTADTER, Douglas R.: *Gödel, Escher, Bach: existenciální gordická balada: metaforická fuga o mysli a strojích v duchu Lewise Carrola*. Praha. 2012.
- IGAMBERDIEV, Abir U.; BRENNER, Joseph E: *Mathematics in biological reality: The emergence of natural computation in living systems* in *Biosystems*. 2021.
- LACKOVÁ, Ludmila; FALTÝNEK, Dan: *The lower threshold as a unifying principle between Code Biology and Biosemiotics* in *Biosystems*. 2021.
- MACRAE, Norman: *John von Neumann: The scientific genius who pioneered the modern computer, game theory, nuclear deterrence, and much more*. Plunkett Lake Press. 2019.
- MACHAMER, Peter; DARDEN, Lindley; CRAVER, Carl F: *Thinking about mechanisms* in *Philosophy of science*. 2000. 67.1.
- MCCULLOCH, Warren S.; PITTS, Walter.: *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity* in *The bulletin of mathematical biophysics*. 1943, 5.4. 115-133.
- MORRIS, Charles W.: *Writings on the general theory of signs* in *Writings on the General Theory of Signs*. De Gruyter Mouton. 2014.
- NAGEL, Ernest, I and NEWMAN, James Roy: *Gödelův důkaz*, eds. Douglas R. Hofstadter. Brno. VUTIUM. 2006.
- PATTEE, Howard H.: *LAWS, LANGUAGE and LIFE*. Springer, Dordrecht. 2012.
- PATTEE, Howard H.: *The physical basis of coding and reliability in biological evolution* in *Towards a theoretical biology*. 1968. 1. 67-93.
- PATTEE, Howard H: *Artificial life needs a real epistemology* in *European Conference on Artificial Life*. Springer. Berlin. Heidelberg. 1995. p. 21-38.

- PATTEE, Howard: *The Physics and Metaphysics of Biosemiotics* in *Journal of Biosemiotics* 1. 2005. s. 281–301.
- PATTEE, Howard; KULL, Kalevi: *A biosemiotics conversation: Between physics and semiotics* in *Sign System Studies* 37. no. ½. 2009. 331-321.
- PEIRCE, Charles Sanders: *Peirce on signs: Writings on semiotic*. UNC Press Books, 1991.;
- PENROSE, Roger, *Shadows of the Mind*. Oxford University Press, 1994.
- PENROSE, Roger, *The emperor's new mind: concerning computers, minds and the laws of physics*. Oxford University Press. 1990.)
- POPPER, Karl R: *Three Worlds: The Tanner Lecture on Human Values*. delivered at the University of Michigan. April. 7. 1978.
- POST, Emil L: *Recursive unsolvability of a problem of Thue* in *The Journal of Symbolic Logic*. 1947. 12.1. s. 1-11
- SEBEEK, Thomas A.: *Zoosemiotics in American speech*. 1968. 43.2. s. 142-144.
- SHANNON, Claude Elwood; WEAVER, Warren: *The mathematical theory of communication*. Univ. 1949.
- SCHIMMEL, Paul: *Aminoacyl tRNA synthetases: general scheme of structure-function relationships in the polypeptides and recognition of transfer RNAs* in *Annual review of biochemistry*. 1987. 56.1. s. 125-158.
- SCHRÖDINGER, Erwin. *What is life?: With mind and matter and autobiographical sketches*. Cambridge university press. 2012.
- SMITH, John Maynard: *The problems of biology*. 1986.

- TURING, Alan: *Computing machinery and intelligence* in *Mind* 59. 1950. 444-445.
- TURING, Alan: *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem* in *Proceedings of the London Mathematical Society* 42/2. no. 1. 1937. s. 230–265.
- TURING, Alan: *Systems of logic based on ordinals* in *Proceedings of the London Mathematical Society* 2. no. 45. 1939. s. 161–228.
- VON NEUMANN, John: *Collected Works: Volume 5: Design of Computers, Theory of automata and Numerical Analysis*. eds. A. H. Taub. Pergamon Press. 1963.
- VON NEUMANN, John: *The computer and the brain*. New Haven and London. Yale University Press. 2012.
- VON NEUMANN, John: *Theory of self-reproducing automata*. Urbana and London: University of Illinois Press. 1966.
- VON UEXKÜLL, Jakob; MACKINNON, Doris L.: *Theoretical biology*. 1926.
- WANG, Hao: *A logical journey: From Gödel to philosophy*. USA. MIT Press. 1996.
- WIENER, Norbert: *Cybernetics: Control and Communication in the Animal and the Machine--2nd*. 1961.
- WONG, J. Tze-Fei: *A co-evolution theory of the genetic code* in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1975. 72.5. 1909.
- ZÁMEČNÍK, Lukáš H., JURKOVÁ, Barbora: *Von Neumann, Turing a Gödel: o mysli a strojích*. (V recenzi 2. 5. 2022.).

ZÁMEČNÍK, Lukáš H., KRBEC, Jaroslav: *Describing Life: Towards the Conception of Howard Pattee* in *Linguistic Frontiers* 2. no. 1. 2019. 1–9.