



Hooker, C. A. (ed.) - Handbook of The Philosophy of Science. Philosophy of Complex Systems.

Martina Chalupská, KFI ZČU Plzeň

Abstrakt: Ačkoli pojmy pro vyjádření komplexity v běžném jazyce jsou známy již od antiky, západní způsob přemýšlení o světě je ve své podstatě doménově specifický. Věda se rozdělila do mnoha specifických oblastí a suboblastí, mezi nimiž panovala jen velmi slabá spolupráce. Svět byl nahlížen jako soustava částí na sobě nezávislých, a tedy hierarchicky uspořádaných. Tento přístup je vhodný tehdy, jestliže pracujeme s velmi jednoduchými systémy, kde interakce mezi komponenty nejsou relevantní (jestli takové vůbec existují). Jestliže se ovšem chceme skutečně pokusit porozumět světu kolem nás je nevyhnutelně nutný komplexně systémový přístup. Pojmy jako objekty, struktury, prostředí, emergence, univerzalita, interakce, měřítko nebo evoluce dnes plní články předních odborníků v každé vědecké oblasti.

Předkládaná kritická stať má dvě části: deskriptivní, kde se zaměřuji na jednu vybranou esej v rámci každého jednotlivého tématu a kritickou, v níž jedno vybrané téma analyzuji podrobněji.

Abstract: Although there have been terms for complexity in ordinary language since antiquity, western way of thinking about the world is intrinsically domain-specific. Science is ramified into different fields and subfields among which there was only a very weak cooperation. The world was seen as made of the independent parts, and therefore hierarchical. This approach is useful when focused on very simple systems where the interactions between components are not relevant (if such exist at all). If, however, we really try to understand the world around us is inevitably required a complex system approach. Currently, concepts such as objects, structures, environment, emergence, universality, interaction, scale, or the evolution fills of articles leading experts in every scientific field.

The submitted critical essay has two parts: descriptive, with focus on a selected essay within each theme and critical, in which a selected theme analyze in more details.

Klíčová slova: komplexita, systém, emergence, interakce, komponenty

Keywords: complexity, system, emergence, interaction, components

Holandské nakladatelství Elsevier vydává mezi roky 2007 a 2011 celkem šestnáctisvazkovou kolekci handbooků (*Handbook of The Philosophy of Science*) zaměřených na oblast filosofie vědy. Autory příspěvků jsou přední odborníci v této oblasti. Jedná se o komplexní a také nejrozsáhlejší výzkum v souvislosti s filosofickými otázkami vědy. Tato kniha dokazuje, že dnes neexistuje jediná oblast vědy, která by do jisté míry nepocítila vliv komplexně-systémových metod, principů a modelů.

V této sérii vychází v roce 2011, v pořadí desátý, svazek věnovaný filosofii komplexních systémů (*Philosophy of Complex Systems*). Představuje kolekci dvaceti sedmi esejů, jejichž autoři koncipují v současnosti nové komplexně-systémové paradigma. Jeho důležitost byla až na pár čestných výjimek opomíjena jak mezi vědci, tak mezi filosofy. Naštěstí jeho prvotní reflexe vědci Kennethem Bouldingem, Herbertem Simonem a Richardem Levinsem a filosofy Williamem Wimsattem a Cliffordem Hookerem nenechala tuto oblast atrofovat. Naopak ji přes více než čtyři desetiletí dovedla až do středu zájmu současné vědy.

Kniha je rozdělena do dvanácti částí. Po obecném úvodu (General Foundations) se jednotlivé kapitoly věnují komplexním systémům z pohledu biologie (Biology), ekologie (Ecology), inženýrství (Engineering), klimatologie (Climatology), ekonomie (Economics), antropologie (Anthropology), psychologie (Psychology), lékařství (Medicine), vojenské vědy (Military Science), udržitelného rozvoje/managementu (Public Policy/Management) a filosofie vědy (Philosophy of Science).

Upozornila bych na tři eseje z pera hlavního editora Clifforda Alana Hookera. Předkládá v nich obecně filosofickou reflexi nově se vynořujícího paradigma a jsou tak důležité pro pochopení komplexní povahy veškerých systémů. V první části (General Foundations) se jedná o esej „Introduction to Philosophy of Complex Systems: A“ (s. 3-90). Věnuje se zde konstrukčnímu rámci komplexních systémů. Dopad tohoto nového paradigma na současnou vědu chápe, jako její hlubokou rekonstrukci. Představuje zde a široce prozkoumává doménu komplexních systémů s důrazem na historické pozadí, klíčové systémové vlastnosti a soubor subdomén, jimž nebyla věnována pozornost ve speciálně vědních kapitolách.

Poslední část (Philosophy of Science) obsahuje druhou část eseje „Introduction to Philosophy of Complex Systems: B“ (s. 841-909). Společně s první částí poskytují intelektuální rámec pro porozumění základních a filosofických otázek vyvstávajících z komplexně-systémového přístupu. Jedná se pravděpodobně o první komplexní přehled filosofických otázek vyplývajících z dopadu komplexních systémů na vědu. Hooker svou pozornost zaměřuje na důsledky kognitivního aparátu komplexních systémů pro metodologii, epistemologii a metafyziku. Změna, kterou tento aparát přináší je nevyhnutelná. Ortodoxní rámec dříve dostačující pro popis jednodušších systémů je dále neudržitelný. Věda objevila bohatství a explanační sílu v podobě komplexních systémů. Je potřeba formulovat nové paradigma pro rozvoj modelů komplexních systémů v rámci celé vědy a odpovídající novou filosofii vědy. Podle Hookera je však toto v současné době nemožné, a to díky nedostatečné

vyzrálosti dané oblasti. V této fázi svého vývoje je jádro nového vědeckého rámce více či méně implicitně zakotveno v detailní struktuře jednotlivých specifických domén. V současnosti totiž neexistuje jednotná věda o komplexitě, ale spíše *mnoho věd o komplexitě*. Pokouší se zde tedy nastínit některé obecnější i specifičtější prvky objevujícího se vědeckého paradigma a korelativní filosofie vědy pro komplexně systémový pohled na svět. Ten nám říká, že nesourodost a neslučitelnost jednotlivých vědeckých oblastí je pouze zdánlivá. Komplexně-systémová metodologie a filosofie slibují formulovat interdisciplinární studium, v což dědici obecné teorie systémů a kybernetiky patrně doufali.

Třetí esej, jejímž autorem je sám Hooker, nese název „Conceptualising Reduction, Emergence and Self-Organization in Complex Dynamical Systems“ (s. 195-222) a je taktéž zařazena do první části. Redukce představuje ontologický vztah mezi fenomény popsitelnými mnoha různými způsoby. Co spojuje např. mraky, sníh, led nebo déšť a obecně vodní molekuly v rozličných dynamických uspořádáních? Tento ontologický vztah závisí právě na dynamickém aspektu komplexních systémů, který tkví ve vzájemně interakci jednotlivých komponent vytvářejících složitou emergentní strukturu. A jestliže je tato dynamika systému vlastní, hovoříme o sebe-organizujícím systému. Standardně jsou pojmy emergence a redukce chápány kontradiktorně. Hooker zde ovšem ukazuje, že v dynamických komplexních systémech jsou důmyslně provázané a vzájemně se podporují.

Z druhé části (Biology) bych vyzdvihla esej „The Impact of the Paradigm of Complexity on the Foundational Frameworks of Biology and Cognitive Science“ (s. 311-333). Z perspektivy komplexních systémů je dnes poněkud paradoxní, že biologické a kognitivní subjekty byly po staletí úspěšně studovány pomocí redukcionistických metod zaštitěných paradigmatickým mechanistickým explanací. Ty předpokládají, že systém je redukovatelný na jednotlivé komponenty a následně studován za stejných podmínek. Tedy, že interakce těchto komponent nikterak neovlivňují strukturu a dynamiku systému jako celku. Atomistický redukcionismus je postaven na myšlence prostého zobrazení struktury a funkce a pouze na lineární agregaci lokalizovaných částí. Vlastnosti celku tak mohou být redukovány na vlastnosti částí. Mnoho vědců [např. Rashevsky, 1938; Bertalanffy, 1952; Elsasser, 1966] v oblasti biologie a kognitivních věd se však s touto naivní lineární interpretací nesmířilo. Zdůrazňovali nutnost přijetí holistické vědecké strategie k popisu živých nebo kognitivních systémů. Jejich vliv na konci minulého století byl však pouze marginální povahy.

Nicméně především díky skvělým pokrokům na poli molekulární biologie a neurověd [např. Morange, 2003; Bechtel, 2006; 2007] si vědci začali být silně vědomi faktu, že komponenty interagují v komplexní síti vztahů. Tento posun byl také důsledkem vývoje věd o komplexitě, především aplikací nových přístupů (např. deterministického chaosu, teorie bifurkace, sebe-organizace) a počítačových simulací [Waldrop, 1992; Lewin, 1992; Kauffman, 1993; Gell-Mann, 1994].

V části třetí (Ecology) si naši pozornost zaslouží esej „Complex Ecological Systems“ (s. 421-439). Soustředí se na vliv nelineární dynamiky na oblast ekologie. Ekologové se nezajímají pouze o populace jako takové, ale také o jejich vzájemné interakce, tedy o společenstva. Ekologický výzkum však po dlouhou dobu ovládala představa tzv. přírodní

rovnováhy (*balance of natura*), dle které se ekologické systémy obvykle udržují ve stabilní rovnováze. Po určitých disturbancích vnějšího charakteru se navrátí zpět do původního rovnovážného stavu. Postupně dostala tato metafora technický pojem tzv. „ekologické stability“ (*ecological stability*). Užívá se v populační ekologii, ekologii společenstev a ekologii ekosystémů. Představa, že se příroda nachází v permanentní rovnováze, byla ovšem zdiskreditována s příchodem teorie chaosu. Z tohoto důvodu je zde zásadní faktor dynamického chování spočívající v kompetici a kooperaci živočichů v rámci populace. Tuto oblast začal v rámci populační biologie rozvíjet v sedmdesátých letech biolog Robert May, od něhož pochází první pokus o aplikaci nelineární dynamiky v oblasti ekologie [1973; 1974; 1975; 1976; May and Oster, 1976]. Pomocí velmi jednoduchého modelu dokázal, že ekologický systém vykazuje v čase chaotické chování. A to za podmínek vysoké sensitivní závislosti na počátečních podmínkách a aperiodičnosti. Z těchto důvodů systémy vykazují nestabilní chování a v důsledku nemožnost dlouhodobé predikce.¹

Pokud je naším cílem porozumět chování ekologických systémů, je nutné věnovat pozornost nelineárnímu nestabilnímu a aperiodickému chování. Teoretičtí ekologové až do této doby předpokládali, že ekologické systémy vykazují přírodní rovnováhu a mohou být studovány prostřednictvím lineární dynamiky. S užitím nástrojů jako jsou bifurkační diagramy, Ljapunovovy exponenty, atraktory apod. můžeme porozumět chování, které bylo až doposud zanedbáváno. Jestliže je populacím vlastní vnitřní chaotická dynamika, jak vyjadřují deterministické rovnice, radikálně to mění tradiční debaty.²

Čtvrtá část (Engineering) zahrnuje esej s názvem „Behavior and Cognition as a Complex Adaptive System: Insights from Robotic Experiments“ (s. 443-463). Autor, Stefano Nolfi, se na počátku odvolává na poslední výzkumy v kognitivních vědách, robotice, biologii, neurovědách nebo filosofii, dle kterých inteligence spočívá v cyklickém vztahu mezi mozkem jedince, jeho tělem a životním prostředím. Sám se zaměřuje na robotický výzkum se zvláštním ohledem na experimenty, na základě kterých roboti autonomně rozvíjejí své vlastnosti prostřednictvím interakcí s vnějším prostředím skrze adaptivní proces. Behaviorální a kognitivní vlastnosti rozvinuté roboty jsou následně charakterizovány jako komplexní adaptivní systémy. Komplexní povaha těchto systémů leží ve vzájemné interakci kontrolního systému robota, těla robota a vnějšího prostředí (popř. pouze těla robota a vnějšího prostředí). Behaviorální a kognitivní vlastnosti vytvářejí organizaci o mnoha úrovních a jejich interakce na určité úrovni této organizace emerguje vlastnosti vyšší úrovně, které mají vliv na vlastnosti úrovně nižší. Behaviorální a kognitivní vlastnosti jsou důsledkem interakcí tří (popř. dvou) fundamentálních prvků a nemohou být zkoumány tehdy, pokud tyto prvky budou ve vzájemné izolaci. Odtud plyne komplexní povaha behaviorálních a kognitivních vlastností. Ty přináší důležité důsledky pro vědecké inženýrství (tzn. zlepšení naší schopnosti konstruovat užitečné stroje – např. možnost vývoje stále nových a potřebných funkcionalit) a modelování (tzn. pro porozumění biologickým organismům – např. lepší porozumění obecným mechanismům, jež stojí v základu lidské či zvířecí inteligence). Metody konstrukce efektivních robotických

¹ Mayův ekologický model popsáný nelineárními diferenciálními rovnice – viz s. 429-429.

² Tento fakt dokazuje tzv. Lotka-Volterra model popisující nejjednodušší model interakcí predátor-kořist.

artefaktů jsou závislé na rozpoznání užitečných emergentních vlastností. Při modelování biologických systémů to znamená zobrazit jejich behaviorální a kognitivní vlastnosti jako dynamický proces vyvíjející se v čase, během kterého organismus interaguje se svým prostředím.

Obecně řečeno, porozumění komplexně-systémové povaze behaviorálních a kognitivních schopností nám umožní lépe definovat centrální pojmy při studiu přirozené i umělé inteligence.

Pátá část (Climatology) obsahuje esej „The Complex Dynamics of the Climate System: Constraints on our Knowledge, Policy Implications and The Necessity of Systems Thinking“ (s. 467-505). Autoři zde upozorňují na přínos systémových konceptů, principů a metod pro porozumění klimatickému systému a dynamice jeho změn. Meteorologie také poskytla první impuls pro výzkum chaosu, který vedl ke studiu komplexity, na základě zkoumání predikovatelnosti počasí Edwardem Lorenzem v roce 1961. Emergentní vlastnosti nebo nelinearity klimatickému systému vlastní byly po dlouhou dobu přehlíženy. Dnes ovšem stále více vědců aplikuje nástroje komplexní analýzy na klimatický systém a klimatologie dosáhla parametrů komplexní vědy.

Klimatický systém se sestává z vnořených a vzájemně propojených subsystémů (atmosférický, oceánský, terestrický a kryosféra) z nichž každý je sám o sobě komplexním systémem. V této *komplexně-systémové struktuře* fungují na různých úrovních stabilizující a destabilizující *zpětné vazby*, *tranzientní (přechodné) odpovědi* systému na změny, *emergentní jevy*, *nelinearita* systému může vést k *mnohonásobným rovnovážným stavům* a v neposlední řadě velmi důležitým faktorem komplexního systému je *historie systému (path dependence, hysteresis)*. Jedná se o fakt, že systém má jistou paměť. Stav systému tak nezávisí pouze na jeho dynamice a vstupu, ale také na stavech předchozích. Cesta systému v čase (jeho historie) má vliv na jeho další vývoj nezávisle na nově působících stimulech. Systém vykazuje hysterezi, jestliže se po odstranění stimulu navrátí zpět ke svým počátečním podmínkám. V tomto ohledu se systém chová ireverzibilně.

Komplexita je fundamentální vlastnost všech systémů a je tedy klíčová i pro pochopení klimatického systému. Je tedy nevyhnutelné modelovat tyto problémy prizmatem systémového myšlení.

V části šesté (Economics) jsem vybrala jako úvod do komplexního přístupu v ekonomii esej „Economics Systems“ (s. 509-530). Autor, John Foster, zde argumentuje ve prospěch ekonomických systémů nahlížených jako komplexních a adaptivních, tedy jako sítí strukturálně uspořádaných a propojených elementů, které jsou energeticky řízené a tedy ve své podstatě disipativní. Do devadesátých let 20. století byl však tento způsob myšlení ekonomii zcela cizí. Ekonomové Fridrich August von Hayek (1967, *The Theory of Complex Phenomena*) a Nicholas Georgescu-Roegen (1971, *The Entropy Law and the Economic Process*) sice intuitivně cítili, že ekonomové se musejí vyrovnat se skutečností, že mají co do činění s komplexními adaptivními systémy, ale jejich práce měla pouze malou souvislost s pracemi o komplexních systémech v přírodních vědách. Tzv. „heterodoxní ekonomie“ pracuje s konceptem ekonomie, který dnes můžeme nazvat jako koncept komplexních

adaptivních ekonomických systémů. Tato heterodoxní ekonomie však té klasické nemohla konkurovat, protože představoval pouze fragmentovaný soubor kritik bez analytické jednotnosti. Klasická ekonomie totiž pracuje s metodou matematické analýzy, která může být prováděna pouze tehdy, jestliže struktura zůstává fixní, tzn., že zde není emergence nebo strukturální transformace. Takový přístup se ale nedokáže vypořádat s evolucí ekonomie. Aby bylo dosaženo stavu equilibria, jsou systémy chápány jako uzavřené, statické a lineární. Ekonomie však představuje evoluci neustále se proměňující sítě struktur. Dnes jsme schopni pomocí počítačích modelů simulovat chování interagujících, navzájem propojených agentů a zkoumat výsledné trajektorie ekonomických proměnných, abychom zjistili, zda korespondují s tím, co pozorujeme v realitě. Tak teoretické poznání vyvstává prostřednictvím algoritmického procesu. Současná teorie komplexních adaptivních systémů je dnes schopna tento konzistentní analytický rámec poskytnout.

Tendence považovat člověka a jeho inteligenci za součást uvažování o ekonomických systémech tak stojí proti tendenci následovat metody přírodních věd, kdy míra exaktnosti ekonomie je přímo úměrná obsažnosti matematické logiky. Lidské motivace a zájmy do matematických vzorců nevtěsnáme.

V části sedmé (Anthropology) autoři, J. S. Lansing a S. S. Downey, ve své eseji „Complexity and Anthropology“ (s. 569-601) argumentují, že uvnitř antropologie se historicky vyvinuly dva odlišné přístupy – humanitní a přírodovědný. Myšlenky komplexity tedy aplikují na antropologické otázky rozdělené do oblasti humanitních a přírodních věd.

Zhruba před padesáti lety v humanistickém přístupu k sociokulturní antropologii dominuje strukturalismus v díle Clauda Lévi-Strausse, který se snažil aplikovat strukturální lingvistiku Ferdinanda de Saussure na antropologii. Sama moderní lingvistika byla po celou dobu své existence inspirací pro strukturální výzkumy společnosti a kultury. Je zde typická snaha odhalit pod rozmanitostí empirické zkušenosti univerzální struktury lidské aktivity. Soustředí se na strukturu systému a vztahy mezi jeho prvky, přičemž předpokládá prvotnost vztahů nikoli prvků. Prvek získává význam až tím, že vstupuje do opozičního vztahu s jiným prvkem. Lévi-Strauss vychází z tzv. „teorie binárních protikladů“, podle které je hledání významu pomocí protikladů typickým rysem lidského myšlení. Strukturalizace světa umožňuje člověku pochopit realitu.

Antropologické otázky z pohledu přírodních věd jsou spjaty s evoluční dynamikou. Vznik sociální a kulturní antropologie souvisí s evolucionistickým hnutím druhé poloviny 19. století v jistém smyslu představující završení osvícenské koncepce pokroku. Důležitým inspiračním zdrojem pro rozvoj evolucionismu byla aplikace přírodovědných poznatků na sociokulturní jevy. V tomto ohledu se tedy jednalo o teorii biologické evoluce spjatou se jménem Charlese Darwina.

Současná antropologie se dnes zabývá simulováním umělých společností (*artificial societies*) založených na chování agentů (*agent-based computation models*) vyznačujících se lokálními interakcemi a zpětnovazebnými smyčkami (např. tzv. „Daisyworld“ Jamese Lovelocka). To umožňuje studovat vývoj systému v čase, což vedlo ke zvýšenému zájmu antropologů o studium komplexních systémů. Poslední oblastí zájmu jsou pojmy jako

odolnost (*robustness*) a pružnost (*resilience*). Pojem odolnosti systému přichází z oblasti fyziky a inženýrství a vyjadřuje schopnost systému odolat vnějším nebo vnitřním perturbacím. Naopak pojem pružnosti systému pochází z ekologie a týká se vlastností adaptivních cyklů. Oba přístupy vedou k závěru o vzájemné závislosti odolnosti (či pružnosti) systému a jeho schopnosti vyvíjet se. Antropologie dnes oplývá pojmy jako struktury, topologie, síť a adaptivní dynamika.

Fyzik Philip Warren Anderson ve svém článku *More is different* [Anderson, 1972], vedoucím ke studiu komplexních systémů, odkazuje na jeden ze tří Marxových dialektických zákonů – zákon přechodu kvantity v kvalitu a naopak. Podle Andersona vzájemnou interakcí prvků systému na nižších úrovních se objevují emergentní vlastnosti na úrovních vyšších. Tento fenomén je společný komplexním studiím v antropologii jak z pohledu humanitních, tak z pohledu přírodních věd.

V osmé kapitole (Psychology) je zajímavá esej „Living in the Pink: Intentionality, Wellbeing, and Complexity“ (s. 629-672). V jedné z částí, se autoři věnují základním stavebním kamenům komplexity vzhledem k lidskému mozku, tělu a chování. Patří sem omezení (*constraints*), fázové přechody (*phase transitions*), vzájemná závislost (*interdependence*) a sebe-organizace (*self-organization*) – pojmy vyjadřující koordinaci mezi prvky systému.

Pojem koordinace má zásadní význam vzhledem k poznávání a chování. Jedná se o složitý soulad mysli, těla a prostředí. Přesto až na výjimku koordinace motorické nebyla prominentním tématem kognitivní vědy. Koordinace mozku a těla může mít za následek emergentní základ behaviorálních a kognitivních funkcí. Chování je tedy také komplexní adaptivní systém a pomocí nových metod výzkumu nelinearity, která je tak v chování obsažena, existuje příslib nového porozumění behaviorálním projevům.

Devátá kapitola (Medicine) zahrnuje esej „Chinese Medicine and Complex Systems Dynamics“ (s. 675-719). Obecně řečeno čínská medicína chápe lidský organismus jako dynamický systém, ke kterému je nutno přistupovat komplexně a tím je dosaženo požadované rovnováhy a harmonie. Je tedy zřejmé, že komplexní systémový přístup je nepostradatelný v našem přístupu k této východní medicíně.

Západní a čínská lékařská praxe vychází z protichůdných filosofických koncepcí. Západní filosofická tradice upřednostňuje pojem věčné pravdy. Z tohoto pohledu jsou nejvýznamnější formou poznání věci nepodléhající změně. Učení Eleatské školy nepřipouští změnu, podle eleautů nic nevzniká ani nezániká, v opačném případě by nově vznikající muselo povstat z ničeho a to není, podle tohoto učení, možné. V Platónově Ústavě byl tento přístup jasně formulován. Podle Platóna musím mít každá věda svůj předmět, který je věčný a neměnný. Západní filosofie uchovávala toto Platónovo dědictví po dlouhou dobu. Respektive až do počátku 20. století kdy se objevuje teorie komplexních systémů, jejímž prostřednictvím nejlépe pochopíme čínské lékařské umění, pro něž je ontologicky primární pojem *změny* nikoli státnosti.

Taoismus, z něhož čínská medicína vychází, interpretuje realitu jako systém komplexně interagujících procesů. Svět je inteligibilním kontinuem. Kniha *I-ťing* (*Čínská kniha proměn*)

pracuje s principem komplementarity duálních aspektů (např. změny a státnosti). Svět je kosmos nikoli chaos a má hierarchickou strukturu. Čínské myšlení nikdy nemělo redukcionistické tendence. Starověká čínská věda a zejména čínská medicína se vždy snažily zachytit vzory v jejich komplexitě. Západ se svým konceptuálním myšlením nehledá sjednocení protikladů, ale naopak je vidí v neustálém konfliktu.

Současný medicínský výzkum by měl uznat legitimitu čínské medicíny a následným přijetím komplexního systémového přístupu vznikne nový výzkumný program lidského zdraví i nemoci.

Část desátá (Military Science) obsahuje esej „Military Applications of Complex Systems“ (s. 723-780), jejíž autor, Alex J. Ryan, odkazuje na knihu *Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority* [Alberts *et al.*, 1999], která se stala nejcitovanější knihou posledních dvou desetiletí v oblasti vojenské taktiky. Podle autorů jsou současné vojenské operace charakteristické vysokou mírou komplexnosti. Prostřednictvím globalizace, šíření informací a rozvoje komunikačních technologií roste vzájemná interkonektivita událostí i aktérů.

Národní laboratoř v Los Alamos byla první bezpečnostní organizací, která přijala komplexní systémový přístup a měla na jeho dalším vývoji zásadní vliv, a to ze dvou následujících důvodů. V roce 1980 zde bylo založeno Centrum pro nelineární studia (*Center for Nonlinear Studies*) a geograficky laboratoř měla blízko k institutu Santa Fe v Novém Mexiku založeném roku 1984 jako centrum pro výzkum komplexních systémů. V jeho teoretické divizi Dyon Farmer roku 1988 založil Spolek pro komplexní systémy studia (*Complex Systems Group*), který se soustředil na jejich aplikace na fyzikální výzkum zbraní, modelování materiálů a správu zásob nukleárních zbraní.

Další aplikaci komplexních systémů na vojenský průmysl představuje simulace bojů na celulárních automatech, jejichž jednoduchá a komputačně efektivní pravidla interakcí mohou napodobovat komplexní povahu boje.

V roce 1992 Alan D. Beyerchen ve svém článku „Clausewitz, Nonlinearity and the Unpredictability of War“ popsal, patrně poprvé, aplikaci nelineární dynamiky na interpretaci teorie války. Podle Beyerchena Clausewitz chápal válku jako vysoce energeticky náročný fenomén zahrnující soupeřící a interagující faktory a chaotický mix řádu a nepredikovatelnosti. Nalezl spojení mezi interpretací války Clausewitzem a klíčovými pojmy z nelineární dynamiky jakými jsou zpětná vazba, nestabilita, entropie a chaos. Beyerchen dochází ke dvěma závěrům. Za první, porozumění komplexním systémům může být předpokladem pro porozumění Clausewitzovi a za druhé, nelineární dynamika nám může pomoci stanovit základní limity predikovatelnosti války.

Komplexní systémový přístup zásadně ovlivnil způsob, kterým západní armády operují v mimořádně komplexním a nebezpečném prostředí.

Část jedenáctá (Public Policy/Management) obsahuje dvě eseje, jejichž základní myšlenky zde nastíním. Eсей „Complexity and Management“ (s. 783-808) vychází ze základních principů změny a sebe-organizace, tak jak je koncipuje věda o komplexitě.

Management (ve smyslu řízení struktur a systémů) z pohledu komplexity předpokládá, že koevoluce organizace a prostředí má za následek restrukturalizaci organizace v čase.

Namísto toho, aby byl management založen na souboru maximálně účinných operací k produkování zboží nebo služeb na určitém trhu, komplexita zdůrazňuje skutečnost otevřenosti systému a změn v nabídce a poptávce a neustálé objevování se nových myšlenek, technologií a konkurentů. Pro organizace je rozhodující její schopnost se měnit, adaptovat a učit.

Naše sociální a ekonomické systémy jsou výsledkem pragmatické evoluce nikoli teoretických principů. To, co komplexita přináší do oblasti managementu je fakt, že úspěšná evoluce vyžaduje výzkum vnitřní heterogenity a otevřenosti. A úspěšný management se musí chovat jako evoluce. V opačném případě nebudou organizace v krátkodobém výhledu profitovat, ale ve výhledu dlouhodobém budou pouze přežívat.

Esej „Complex Systems Dynamics and Sustainability: Conception, Method and Policy“ (s. 809-838) se soustředí na strategii udržitelného chování z pohledu komplexní systémové dynamiky. Jde o ochranu hodnotných procesů probíhajících v interakci člověka a životního prostředí. Dřívější formální přístup k „environmentálnímu managementu“ byl založen na modelu příčina-účinek, který se ve zpětném pohledu jeví jako poměrně omezený, ačkoli dříve považovaný v ekologii za úspěšný. Tyto modely jsou však lineární jednosměrné kauzace blízké rovnovážnému stavu, homogenní a deterministické. Oproti tomu existuje neoddiskutovatelná všudypřítomnost komplexního dynamického chování v přírodních i lidských systémech, které jsou charakteristické propojeností heterogenních komponent v nelineárních interakcích.

Management strategie udržitelnosti se tak stává podmíněným zpětnými vazbami, opouští deterministické přístavy a vplouvá do vod nejistoty a nevědomosti. A dále: Závislost systému na jeho historii nás vede ke klíčovému pojmu strategie udržitelnosti – tzv. „backcasting“³. Perspektiva komplexní systémové dynamiky, oproti méně sofistikované mechanistické perspektivě, odhaluje velmi malou kontrolovatelnost našeho životního prostředí. Proto by odvážný přístup „backcastingu“ měl být doplněn obezřetností, opatrností a pokorou.

Ve své kritické reflexi se zaměřím na esej C. A. Hookera „Introduction to Philosophy of Complex Systems: A“ (s. 3-90), respektive na ideu vědy jako komplexního systému. Hooker píše: „Každá z následujících komplexně-systémových myšlenek je prozatím v počátcích. První, autonomie, je již dostatečně dobře prozkoumána, abychom chápali její význam, ale její domény, biologie a biosociologie/robotika ještě prozatím skutečně nepocítily její dopad. Druhá, kulturní dynamika, byla stěží identifikována a nedostalo se jí trvalého výzkumu. Třetí,

³ Jedná se o způsob strategického plánování, kdy si představíme stav systému v budoucnosti a prostřednictvím všech participujících principů se pohybujeme zpět do přítomnosti. Tzv. „backcasting z pohledu principů udržitelnosti“ začal v osmdesátých letech ve Švédsku rozvíjet Dr. Karl-Henrik Robèrt, který v roce 1989 založil organizaci The Natural Step. Tyto principy vycházejí z předpokladu, že naše planeta je udržitelný systém. Robèrt stanovil čtyři systémové podmínky, které mohou být přeformulovány do čtyř základních principů udržitelného rozvoje. Dostupné z WWW: < <http://www.naturalstep.org/backcasting> >.

vědecká dynamika, má řadu uznávaných modelů nabízejících rozličná vysvětlení tohoto přístupu, ale jsou to pouze předběžné modely vedoucí k mnohem vyspělejším.“⁴

Pozornost zaměřím právě na tuto poslední ideu – věda jako komplexní systém. Přestože jde o myšlenku novou, souvisí s jedním ze základních atributů lidského života – s vědomím. Tato myšlenka říká: „Dívejme se na vědu jako na dynamický kognitivní systém“.

Po více než tři století se vědecké paradigma a filosofie vědy vyjadřovaly v termínech, determinismu, jednoduchých kauzálních zákonů a analýzy na vzájemně izolované fundamentální částice. Tento ortodoxní vědecký rámec však v 19. století čelil výzvám relativistické a především kvantové mechaniky. V šedesátých letech 20. století, po objevu chaosu, již nelinearita, objevena Poincarém, nemohla být nadále ignorována. Osmdesátá léta 20. století dovedla vědu ke komplexitě.

Centrální roli v oblasti vědy dnes zaujímají technologie. Věda a technika se navzájem ovlivňují. Tato koevoluce je esencí vědy a dokazuje její otevřenou dynamiku. Věda ve svém vývoji mění své instrumentální „tělo“ prostřednictvím transformací teoretických a experimentálních metod a epistemologického evaluativního procesu. Také probíhá silná pozitivní zpětná vazba mezi vědou a sociálním a kulturním prostředím skrze podporu aplikované vědy a tato vazba také probíhá mezi vědou a nové vznikajícími institucemi. Skrze technologie věda mění sociální a životní prostředí. Věda transformuje strategické procesy, které ovlivňují dynamiku jejího prostředí. Prostřednictvím tzv. „vědy o vědě“ transformuje svůj vlastní institucionální model a sociální vztahy. Tato důkladná a sofistikovaná transformativní schopnost je kruciólní pro porozumění vědě jako stále více autonomnímu, dynamickému kognitivnímu systému.⁵

Tento přístup je však zcela cizí tradiční epistemologii vědy. Ta představuje formálně logický koncept založený na metodě indukce a dedukce, abstraktní, formálně (logicky) strukturovaný a atemporální konstrukt. Ve světle komplexně systémového přístupu se tak jeví jako nepřátelský vůči snaze přistupovat k vědě jako k dynamickému kognitivnímu systému.⁶ V současnosti i přes velmi úspěšné celulární automaty užívané v sociálních vědách, je dynamické modelování složité struktury vědy zatím v začátcích. Oproti ostatním oblastem zde existují pouze modely zjednodušené. Inspirace pro jejich tvorbu přichází ze souvisejících oblastí jako je kybernetika, evoluční a emergentní modely simulující chování agentů.⁷

Vnímání vědy jako dynamického systému naznačuje již Thomas Kuhn ve své knize *Struktura vědeckých revolucí*. Ale podle Hookera a Herfela je příliš hrubý, protože historické změny probíhající uvnitř vědy jsou mnohem složitější a také rozmanitější.⁸

Vědecká teorie má výchozí a rozhodující postavení ve vědeckém poznání. Představuje hlavní formu naší kognitivní reprezentace skutečnosti. Vědeckou teorii chápeme jako systém

⁴ Hooker, C. A. (ed.) *Handbook of The Philosophy of Science. Philosophy of Complex Systems*. Amsterdam; London: North Holland (Elsevier), 2011, s. 41.

⁵ Tamtéž s. 54.

⁶ Tamtéž, s. 54-55.

⁷ Tamtéž, s. 56.

⁸ Herfel, W. E. – Hooker, C. A. *From Formal Machine to Social Colony: Toward a Complex Dynamical Philosophy of Science. Synthese Library*. 1999, vol. 281, s. 7.

pojmu a tvrzení. Zachycuje tedy celek nějaké skutečnosti a umožňuje vysvětlit její projevy. Úkolem vědy je pravdivě vypovídat o „realitě“. Vždy je ovšem problémem najít mezi teoriemi a realitou jistý most. Tato přemostňující funkce náleží *metodám*. Metody plní zprostředkující funkci mezi rovinou reality a vědomím. Plní proto v každé vědě centrální funkci.

Normativní základ vědy, normy jako takové, vznikají z praxe a zpětně ji ovlivňují. Metody se vyvinuly z nelineární interakce mezi teoriemi a daty. Neexistuje zde tedy dichotomie mezi normativitou a dynamikou. V tomto duchu je potřeba nahradit tradiční formalistickou koncepcí rozumu efektivním přístupem re-/sebe-organizace, který je možné aplikovat na jednotlivé vědce i vědu jako takovou. Je zde obsažena normativní úloha rozumu i dynamika vědy.⁹

Hooker předkládá naturalistickou koncepci chápání vědy. Odhaluje její komplexní dynamickou povahu. Proto bychom měli vědecké teorie a metody chápat jako dynamické nástroje, se všemi predikovatelnými konsekvencemi. Věda není Golem, který je stvořen v jistém okamžiku, vložením šému ožije a vyjmutím šému nehybně ustrne. Věda je živý organismus, mající svou minulost („path dependence“), přítomnost („non-equilibrium“) i budoucnost („uncertainty“).

⁹ Tamtéž, s. 16-17.