

///// studie / article //////////////////////////////////////


ZJEDNODUŠUJÍCÍ PŘEDPOKLADY V NEKAUZÁLNÍCH VYSVĚTLENÍCH

Abstrakt: Vědecké poznání je do značné míry zprostředkováno modely, které stojí na různých typech zjednodušujících předpokladů. Mezi nejčastěji skloňované kategorie takových předpokladů patří abstrakce a idealizace. Naším cílem zde bude poukázat na několik konceptuálních problémů, které se týkají standardního pojetí abstrakce a idealizace. Hlavní obtíž spočívá v aplikování těchto kategorií v konkrétních příkladech vědeckého modelování. Nesnáze budeme ilustrovat na několika příkladech nekauzálních vysvětlení. Všimneme si, že zásadní je (i) nejasné odlišení abstrakce a idealizace a (ii) způsob použití zjednodušujícího předpokladu abstrakce. Prověříme naši hypotézu, že kategorie nekauzálního vysvětlení je nesrozumitelná, protože není vyjasněno, jakou úlohu v nekauzálních vysvětleních hrají zjednodušující předpoklady. K prověření této hypotézy využijeme některé vybrané reprezentativní příklady nekauzálních vysvětlení. Zaměříme se jak na velmi jednoduché (toy-)příklady tak také na reálné příklady z vědecké praxe. Ve všech případech budeme analyzovat roli, jakou v nich hrají zjednodušující předpoklady a jejich užítí v (ne)souladu se standardním pojetím abstrakce a idealizace.

Klíčová slova: zjednodušující předpoklady; abstrakce; idealizace; nekauzální vysvětlení; vědecké modely

LUKÁŠ H. ZÁMEČNÍK

Katedra obecné lingvistiky
Filozofická fakulta UP
Křížkovského 14, 779 00 Olomouc
email / lukas.zamecnik@upol.cz

 0000-0002-0965-4583


Simplifying Assumptions in Noncausal Explanations



Abstract: Scientific knowledge relies heavily on models, shaped by simplifying assumptions, with common categories being abstraction and idealization. This article aims to expose conceptual challenges inherent in conventional interpretations of these concepts, particularly in their practical application to scientific modeling. The primary hurdle emerges in applying these categories to real-world instances of scientific modeling, which we illustrate with examples of non-causal explanations. Key issues revolve around (i) the ambiguous distinction between abstraction and idealization and (ii) the application of the simplifying assumption of abstraction. Our hypothesis posits that non-causal explanations face unintelligibility due to an unclear understanding of the role of simplifying assumptions in them. To test this, we analyze selected examples, ranging from (toy-)examples to real-world instances, scrutinizing the alignment with the standard notions of abstraction and idealization. Throughout, we investigate the influence of simplifying assumptions on these explanations, assessing their adherence or deviation from conventional concepts.

Keywords: simplifying assumptions; abstraction; idealization; non-causal explanation; scientific models

MARTIN ZACH

Ústav filosofie a religionistiky
Filozofická fakulta UK
nám. Jana Palacha 1/2, 116 38 Praha
Oddělení analytické filosofie
Filosofický ústav AV ČR, v. v. i.
Jilská 1, 110 00 Praha
email / zach@flu.cas.cz

 0000-0001-7181-0391

  Toto dílo podléhá licenci Creative Commons Attribution 4.0 International.

1. Úvod

Základním nástrojem přírodních, sociálních, ale mnohdy i humanitních věd jsou modely. Vědecké modely – ať už formální, materiální, nebo konceptuální – lze chápat jako určité zjednodušené systémy, jejichž účelem je poskytnout vhled do zkoumaného problému. Vědecké modely zároveň patří mezi jedno z hlavních témat současné filosofie vědy.¹ Mezi klíčové charakteristiky vědeckých modelů patří fakt, že jsou nutně založeny na určitých zjednodušujících předpokladech. Uveďme si několik příkladů. Hardy-Weinbergův model v populační genetice pracuje s nekonečně velkou populací, ve které se jedinci rozmnožují náhodně. Isingův model poskytuje vhled do magnetických fázových přechodů, přičemž magnetické stavy částic reprezentuje prostřednictvím 1-dimenzionálního řešení. Schellingův model sociální segregace reprezentuje dva typy individuí obývajících svět, který má šachovnicovou strukturu a který se řídí jednoduchými pravidly. Hotellingův model zkoumá optimální umístění prodejen a cenotvorbu, přičemž reprezentuje konzumenty jako rovnoměrně distribuované v obývaném prostoru. Nowakův model, který reprezentuje střední krypty prostřednictvím jednoduché lineární architektury, poskytuje vhled do vzniku určitých nádorů.²

Kromě jejich všudypřítomnosti je dále potřeba zmínit, že zjednodušující předpoklady nejsou jakýmsi defektem, nýbrž tím, co umožňuje plnit různé epistemické funkce včetně předpovídání a vysvětlování jevů, ale také technologické aplikace. Jak se prostřednictvím mnohdy i dramatického zjednodušení můžeme dobrat hlubokého vhledu do povahy zkoumaných jevů, je předmětem výzkumu ve filosofii vědy, která se je zaměřuje na různé epistemické funkce těchto předpokladů a snaží se je kategorizovat. Zřejmě nejrozšířenější takovou kategorizací je rozlišení mezi idealizací a abstrakcí.

V tomto článku poukážeme na dva problémy. Za prvé, že standardní vymezení abstrakce a idealizace je nanejvýš problematické a nedostačující. Za druhé, že navzdory prvnímu problému se s těmito pojmy operuje

¹ Axel Gelfert, *How to Do Science with Models* (Dordrecht: Springer, 2016); Daniela Bailer-Jones, *Scientific Models in Philosophy of Science* (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2009); Michael Weisberg, *Simulation and Similarity* (Oxford: Oxford University Press, 2013); Roman Frigg and Stephan Hartmann, „Models in Science,“ in *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, navštíveno 4. ledna 2024, <https://plato.stanford.edu/archives/sum2018/entries/models-science>; Mary S. Morgan and Margaret Morrison, eds., *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science* (Cambridge: Cambridge University Press, 1999).

² Podobně bychom mohli uvést několik příkladů materiálních modelů: například Phillips-Newlynův hydraulický model makroekonomie, větrné tunely pro testování aerodynamických vlastností, modelové organismy atd.

v různých diskusích, což má za následek, že tyto diskuse mnohdy trpí určitou zmateností a nepřispívají tak k hlubšímu pochopení vědecké praxe. Předestřenou problematiku blíže ilustrujeme na diskusi ohledně vědeckého vysvětlení a konkrétně se zaměříme na relativně nové téma, tzv. nekauzální vysvětlení.

2. Povaha a role zjednodušujících předpokladů ve vědě: abstrakce a idealizace

Filosofická reflexe zjednodušujících předpokladů doposud objasnila a kategorizovala celou řadu nástrojů, které vědci využívají. Výzkumné projekty například pracují s různými podobami aproximací.³ Podobně nacházíme ve vědě i různé prvky fikcionalizace.⁴ Mezi jednoznačně nejčastěji skloňované zjednodušující předpoklady však patří abstrakce a idealizace.⁵ Ačkoli existují sofistikované diskuse ohledně těchto pojmů,⁶ nejčastěji se ve filoso-

³ Například Margaret Morrison, „Modelling Nature: Between Physics and the Physical World,“ *Philosophia Naturalis* 35, no. 1 (1998): 65–85, rozlišuje mezi aproximativním řešením exaktních rovnic a exaktním řešením aproximativních rovnic. Zároveň rozlišuje mezi aproximacemi, které jsou důsledkem čistě matematických úvah bez ohledu na fyzikální interpretaci, a aproximacemi, které vyvstávají z fyzikálních úvah.

⁴ V literatuře najdeme několik zcela odlišných přístupů k povaze fikcí ve vědě. V kontextu našeho článku stojí za to uvést práci Alisy Bokulich, „How Scientific Models Can Explain,“ *Synthese* 180, no. 1 (2011): 33–45. Příkladem explanačních fikcí jsou podle Bokulich orbity v Bohrově modelu atomu, neboť tyto orbity ve skutečnosti neexistují. V porovnání se standardním pojetím abstrakce a idealizace, které diskutujeme níže, orbity podle Bokulich nelze uchopit jako něco, co bychom mohli do modelu vrátit (abstrakce). Podobně nelze v tomto modelu změnit jeden z parametrů, který by vedl k modernímu kvantově-mechanickému modelu, který pracuje s orbitály (idealizace). Proto mluví Bokulich o orbitách (na rozdíl od orbitalů) jako o fikcích.

⁵ V česko-slovenském prostoru lze čtenáři vřele doporučit práci Juraje Halase, která poskytuje přehled a analýzu několika hlavních koncepcí abstrakce a idealizace, viz Juraj Halas, „Abstrakcia a idealizácia vo filozofii vedy I,“ *Filozofia* 70, no. 7 (2015): 546–59; a zejména Juraj Halas, „Abstrakcia a idealizácia vo filozofii vedy II,“ *Filozofia* 70, no. 8 (2015): 633–46.

⁶ Např. Peter Godfrey-Smith, „Abstractions, Idealizations, and Evolutionary Biology,“ in *Mapping the Future of Biology*, eds. Anouk Barberousse, Michel Morange, and Thomas Pradeu (Dordrecht: Springer, 2009), 47–56; Martin R. Jones, „Idealization and Abstraction: A Framework,“ in *Idealization XII: Correcting the Model*, eds. Martin R. Jones and Nancy Cartwright (Amsterdam: Rodopi, 2005), 173–217; Arnon Levy, „Idealization and Abstraction: Refining the Distinction,“ *Synthese* 198, no. 24 (2021): 5855–72; Uskali Mäki, „On the Method of Isolation in Economics,“ in *Idealization IV: Intelligibility in Science*, ed. Craig Dilworth (Amsterdam: Rodopi, 1992), 319–54; Demetris Portides, „Idealization and Abstraction in Scientific Modeling,“ *Synthese* 198, no. 24 (2021): 5873–95; Angela Potochnik, *Idealization and the Aims of Science* (Chicago: University of Chicago Press, 2017).

fických diskusích pracuje s určitým „standardním pojetím“. Podle standardního vymezení lze idealizaci charakterizovat jakožto (úmyslné) zkreslení, misreprezentaci či nepravdu. V souhrnu se tedy idealizací myslí zkreslená a nepřesná reprezentace studovaného systému. Za abstrakci se pak považuje proces, při kterém se z reprezentace vynechává určitý (irelevantní) „prvek“.⁷

Právě předestřené a tolik oblíbené standardní pojetí však podle nás čelí alespoň třem zásadním problémům. Za prvé, pokud jde o idealizaci, standardní pojetí je příliš shovívavé. Za druhé, pokud jde o abstrakci, standardní pojetí chybně popisuje některé klíčové aspekty praxe modelování. A za třetí, při aplikaci standardního pojetí na skutečné případy vědeckého uvažování je obtížné, ne-li nemožné, zřetelně oddělit abstrakci od idealizace. Níže si každý problém blíže rozebereme.

2.1 Idealizace jako zkreslení, misreprezentace a nepravda?

První problém se týká vymezení idealizace jakožto zkreslení, misreprezentace či nepravdy. Tyto charakteristiky totiž nejsou nutně specifické pro idealizaci. Abychom například nějaké zkreslení mohli považovat za idealizaci, musí být splněny ještě nějaké dodatečné podmínky, které ovšem standardní pojetí nenabízí. K ilustraci této úvahy lze odkázat na Martina Jonese⁸ a jeho příklad s flogistonem. Ačkoli reprezentace kusu dřeva jako předmětu, který obsahuje flogiston, je určitým zkreslením, nejde o idealizaci. Intuitivně bychom se mohli pokusit problém vyřešit prostřednictvím propojení konceptu idealizace s aproximací pravdy, i když, jak Jones poznamenává, tento krok vede k řadě dalších problémů. Například přisouzení konkrétní hodnoty proměnné v modelu, která se nepatrně odchyľuje od „skutečné“ hodnoty, ať už je jakákoli, by znamenala její aproximaci. Málokdo by však pak tvrdil, že takové přepisování je aktem idealizace. Možná, navrhuje Jones, by stačilo správně nastavit základní ontologii, abychom dosáhli nějaké úrovně přibližné pravdy. Protože se ukázalo, že flogiston neexistuje, reprezentování

⁷ Viz Frigg and Hartmann, „Models in Science“; Arnon Levy and William Bechtel, „Abstraction and the Organization of Mechanisms,“ *Philosophy of Science* 80, no. 2 (2013): 241–61; Alan C. Love and Marco J. Nathan, „The Idealization of Causation in Mechanistic Explanation,“ *Philosophy of Science* 82, no. 5 (2015): 761–74; Marta Halina, „Mechanistic Explanation and Its Limits,“ in *The Routledge Handbook of Mechanisms and Mechanical Philosophy*, eds. Stuart Glennan and Phyllis Illari (New York: Routledge, 2018), 213–24; M. Chirimuuta, „Minimal Models and Canonical Neural Computations: The Distinctness of Computational Explanation in Neuroscience,“ *Synthese* 191, no. 2 (2014): 127–53; Worth Boone and Gualtiero Piccinini, „Mechanistic Abstraction,“ *Philosophy of Science* 83, no. 5 (2016): 686–97.

⁸ Jones, „Idealization and Abstraction: A Framework,“ 186.

kusu dřeva může být velmi dobře posouzeno jako případ zkreslení, misreprezentace či nepravdy, nikoli však idealizace. Tyto charakteristiky tedy nejsou samy o sobě dostatečnými znaky pro vymezení pojmu idealizace. Standardní charakterizace idealizace k tématu říká příliš málo a zůstává příliš vágní na to, aby mohla ve filosofické argumentaci skutečně zásadně figurovat. Pro účely adekvátní filosofické argumentace je nutné vypracovat robustní a precizní charakteristiku, kterou standardní vymezení nenabízí.⁹

2.2 Povaha abstrakce ve vědeckém modelování

Druhý problém se týká abstrakce. Připomeňme si, že podle standardního pojetí spočívá abstrakce v postupném odstraňování prvků z modelu. Jinými slovy jde o proces, při kterém z naší reprezentace odstraňujeme prvky cílového systému, dokud nedospějeme k podmnožině vlastností, které definují model. Například Nancy Cartwright uvádí, že abstrakce „není záležitostí změny nějakých konkrétních rysů nebo vlastností, ale spíše odečítání“¹⁰ a že „abstrakce ve vědě funguje odečítáním všech těch faktorů, které jsou pouze lokálně relevantní pro daný jev.“¹¹ Tento výklad je často motivován sugestivními příklady: například při modelování pohybu míče zapisováním pohybových rovnic se barva od popisu odečítá, protože je považována za irelevantní pro daný úkol.¹² Podobně Julie Jebeile uvádí, že „nemá smysl specifikovat fázi Měsíce pro popis pohybu tělesa nebo přítomnosti kyslíku nebo průměrné teploty pro popis trajektorie planet“ a že „popis, jakmile je zbaven méně relevantních detailů, obsahuje všechny relevantní reprezentací aspekty.“¹³

Úskalí tohoto standardního přístupu se rozkryje v okamžiku, kdy do úvahy zahrneme různé procesy budování modelů a vědeckého poznání. Jak nedávno ukázal Demetris Portides,¹⁴ proces odstraňování – odečítání

⁹ Sám Jones předkládá propracovanější pohled na idealizaci založený na široce přijímané intuici, že idealizace přeci jen nějak souvisí se zkreslením, misreprezencí a nepravdou. Kritický rozbor jeho přístupu však není předmětem tohoto článku. Zde nám jde pouze o poukaz na to, že standardní koncepce je nedostatečná.

¹⁰ Nancy Cartwright, *Nature's Capacities and Their Measurement* (Oxford: Oxford University Press, 1989), 187.

¹¹ *Ibid.*, 224.

¹² *Ibid.*, 187.

¹³ Julie Jebeile, „Idealizations in Empirical Modeling,“ in *Mathematics as a Tool: Tracing New Roles of Mathematics in the Sciences*, eds. Johannes Lenhard and Martin Carrier (Dordrecht: Springer, 2017), 216.

¹⁴ Portides, „Idealization and Abstraction in Scientific Modeling.“

– prvků předpokládá, že modelář předem ví, zda modelovaný systém ve skutečnosti má nebo nemá dané vlastnosti. Ačkoli abstrakce odečítáním prvků skutečně popisuje případy, ve kterých se nashromáždilo dostatečné množství znalostí, tj. kde vědci znají mnohé rysy studovaného systému, velká část vědecké praxe postupuje poněkud odlišně: čas a úsilí investuje do objevování vlastností studovaného systému a do určování míry jejich relevance pro daný výzkumný úkol.¹⁵ Velká část praxe budování modelů tedy nespočívá v odečítání známých vlastností, ale v první řadě v objevování vlastností. Proto pokládáme za chybná taková pojetí abstrakce, která abstrakci ztotožňují s procesem odečítání vlastností cílového systému. Naopak se hlásíme k Portidesově argumentu, že pro obecné pojetí abstrakce je vhodnější uvažovat o vynechávání prvků nikoli jako o odečítání, nýbrž jako „extrahování“, tedy selektivní zaměření na určité faktory. Taková koncepce v sobě zahrnuje i případy, kdy skutečně abstrahujeme prostřednictvím odečítání vlastností.

2.3 Abstrakce a idealizace tváří v tvář vědecké praxi

Třetí a poslední zde diskutovaný problém spočívá v tom, že ačkoli máme k dispozici obecnou standardní charakteristiku abstrakce a idealizace, v okamžiku, kdy se prostřednictvím těchto pojmů pokusíme rozškatulkovat jednotlivé zjednodušující předpoklady v konkrétní vědecké praxi, často se dostaneme do úzkých. Při bližším pohledu totiž narazíme na to, že není zřejmé, zda daný zjednodušující předpoklad odpovídá spíše abstrakci nebo idealizaci.¹⁶ Nejlépe si problém ilustrujeme na příkladu. Během procesu genové exprese dochází k translaci, kdy se ribozom pohybuje tam a zpět podél mRNA, přičemž se průběžně navazuje a opět odděluje a mění svou konformaci. Standardní zobrazení tohoto procesu ovšem reprezentuje translaci jako deterministickou sekvenci kroků. Společně s Arnonem Levym¹⁷ se proto můžeme přirozeně ptát, zda tato reprezentace je v rozporu s realitou (idealizace), nebo pouze zvýrazňuje určité funkční stavy a odhlíží od komplexity (abstrakce).¹⁸

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Levy, „Idealization and Abstraction“; Martin Zach, „Revisiting Abstraction and Idealization: How Not to Criticize Mechanistic Explanation in Molecular Biology,“ *European Journal for Philosophy of Science* 12, no. 1 (2022): 1–20.

¹⁷ Levy, „Idealization and Abstraction.“

¹⁸ Podobné úvahy v kontextu molekulární biologie rozvádí i Zach, „Revisiting Abstraction and Idealization.“

Doposud se naše analýza standardního vymezení zjednodušujících předpokladů zabírala samotnou problematikou toho, nakolik je toto vymezení konceptuálně udržitelné v oné standardní podobě.¹⁹ Často se však stává, že pojmy typu abstrakce a idealizace v jejich standardním – a tedy nedostačujícím – vymezení se využívají v dalších debatách v různých oblastech filosofie vědy. Pokud se ovšem vystaví argumentace na nedostatečně vymezených základech, celá argumentační struktura je snadno napadnutelná. Naším cílem proto bude osvětlit nastíněný problém prostřednictvím oblasti filosofie vědy, která se zabývá analýzou vědeckého vysvětlení. Protože v oblasti kauzálního vysvětlení již existují práce, které tento klíčový problém analyzovaly,²⁰ zaměříme se zde na relativně nové pole filosofie vědeckého vysvětlení, a sice na tzv. nekauzální vysvětlení.

3. Nekauzální vysvětlení ve vědě

Často se má za to, že abychom vysvětlili nějaký jev, musíme uvést příčiny, které k danému jevu vedly. Nejinak je tomu mezi filosofy vědy, kteří se dlouho zabývali primárně kauzálními vysvětleními. Kauzální vztah byl navíc považován za záruku řešení většiny problémů tradičního deduktivně-nomologického modelu vysvětlení,²¹ především tím, že kauzální nexus za-

¹⁹ Slušelo by se dodat, že pokusy o pojmové zpřesnění mnohdy nejsou nijak samoučelné, ani čistě deskriptivní, nýbrž mají za cíl napomoci rozklíčovat různé metodologické debaty, které vědci mezi sebou vedou a které se například týkají realističnosti či vhodnosti použití různých zjednodušujících předpokladů v daných kontextech. V kontextu debaty v ekonomii viz třeba Mäki, „On the Method of Isolation in Economics.“; v souvislosti s teoretickým modelováním v epidemiologii viz Mariusz Maziarz and Martin Zach, „Assessing the Quality of Evidence from Epidemiological Agent-Based Models for the COVID-19 Pandemic,“ *History and Philosophy of the Life Sciences* 43, no. 1 (2021): 10.

²⁰ Zach, „Revisiting Abstraction and Idealization.“

²¹ Některé koncepty ve filosofii vědy zažívají periodické proměny popularity. Jedním z nich je i koncept kauzality ve vazbě na modely vědecké explanace. Z původní exkomunikace v D-N modelu, viz Carl G. Hempel and Paul Oppenheim, „Studies in the Logic of Explanation,“ *Philosophy of Science* 15, no. 2 (1948): 135–75, se kauzální vysvětlení dostalo do pozice řešitele protipříkladů (slavné Salmonovy protipříklady k D-N modelu, souhrnně Wesley Salmon, *Causality and Explanation* (Oxford: Oxford University Press, 1998)), aby se později objevila skepse ohledně univerzálnosti kauzálního vysvětlení (výrazně v unifikacionistickém Kitcherově a Friedmanově přístupu, viz Philip Kitcher, „Explanatory Unification,“ *Philosophy of Science* 48, no. 4 (1981): 507–31; Michael Friedman, „Explanation and Scientific Understanding,“ *The Journal of Philosophy* 71, no. 1 (1974): 5–19), vystřídaná kontrafaktuální variantou, v níž se kauzální explanace ocitla opět na piedestalu, viz James Woodward, *Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation* (Oxford: Oxford University Press, 2003), aby se v současnosti dospělo k opětovné umírněné skepsi v souvislosti s konceptualizací nekauzální

jištoval požadovanou explanační asymetrii mezi explanans a explanadum. V moderní podobě filosoficko-vědného mainstreamu „nového mechanicismu“, stojí kauzální explance také na centrálním místě.²²

Relativně nedávno se ovšem ukázalo, že ve vědě figurují případy, kdy je vysvětlení poskytováno navzdory tomu, že nevyjadřuje kauzální vztahy přítomné ve zkoumaném jevu. Cílem přitom není pojímat tato nekauzální vysvětlení jako anomálie,²³ i když pro důsledné kauzální redukcionisty musí být nakonec nekauzální příklady kauzálně odvysvětleny.²⁴ Zdůrazněme proto ještě jednou: filosofové vědy jsou ochotní vzdát se univerzálního explanačního modelu především proto, že respektují pluralitu vědecké praxe a mapují, jak vědci sami skrze své modely opřené o zjednodušující předpoklady vysvětlují jevy, a na tomto základě formulují explicitní doporučení, jak co nejvěrněji kategorizovat explanační praxi.

Nekauzální vysvětlení jsou obvykle vymezena negativně, tj. absencí kauzálního nexu (nakonec tak činí i většina klíčových autorů²⁵). Do kategorie nekauzálních explanačí spadají velmi rozmanité příklady a dosud neexistuje jednotná klasifikace.²⁶ Motivace filosofů vědy jsou při analýze

ních vysvětlení, viz Marc Lange, *Because Without Cause: Non-Causal Explanations in Science and Mathematics* (Oxford: Oxford University Press, 2017); Alexander Reutlinger and Juha Saatsi, eds., *Explanation Beyond Causation* (Oxford: Oxford University Press, 2018).

²² Peter Machamer, Lindley Darden, and Carl F. Craver, „Thinking about Mechanisms,“ *Philosophy of Science* 67, no. 1 (2000): 1–25.

²³ Nakonec se jim věnoval už Carl G. Hempel, *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science* (New York: The Free Press, 1965), v nové perspektivě nahlíží Hempelovy příklady např. Dalibor Makovník, „Non-Causal Explanation: Hempel’s Legacy and Its Modern Versions,“ *Filozofia* 76, no. 10 (2021): 752–65; Dalibor Makovník, „Hempelove štandardné príklady na nekauzálnu explanáciu vo svetle Skowowej teórie kauzálnej explanácie,“ *Filozofia* 77, no. 5 (2022): 311–2.

²⁴ Např. Bradford Skow, „Are There Non-Causal Explanations (of Particular Events)?,“ *The British Journal for the Philosophy of Science* 65, no. 3 (2014): 445–67.

²⁵ Alexander Reutlinger, „Extending the Counterfactual Theory of Explanation,“ in *Explanation Beyond Causation*, eds. Alexander Reutlinger and Juha Saatsi (Oxford: Oxford University Press, 2018), 74–95; Alisa Bokulich, „Searching for Non-Causal Explanations in a Sea of Causes,“ in *Explanation Beyond Causation*, eds. Alexander Reutlinger and Juha Saatsi (Oxford: Oxford University Press, 2018), 141–63.

²⁶ Mezi nejčastěji uváděné příklady patří topologické modely používané v biologii a neurovědách, viz Philippe Huneman, „Topological Explanations and Robustness in Biological Sciences,“ *Synthese* 177, no. 2 (2010): 213–45; Daniel Kostić, „Mechanistic and Topological Explanations: An Introduction,“ *Synthese* 195, no. 1 (2018): 1–10; Daniel Kostić, „General Theory of Topological Explanations and Explanatory Asymmetry,“ *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 375, no. 1796 (2020); modely teorie grafů, viz Lina Jansson and Juha Saatsi, „Explanatory Abstractions,“ *The British Journal for the Philosophy of Science* 70, no. 3

svébytných nekauzálních vysvětlení různé; dovolíme si je rozdělit zjednodušeně do dvou skupin: (1) někteří filosofové vědy se snaží příklady využít k obhajobě vlastních filosofických pozic, např. o úloze metafyziky ve vědě nebo o reálnosti matematických entit,²⁷ (2) jiní naopak sledují, jak jsou vědecká vysvětlení ve vědecké realitě vytvářena a používána.²⁸ Naše motivace, ačkoliv souzní se skupinou (2) v jejím příklonu k vědecké realitě, vymezuje samostatnou skupinu (3). Naše hypotéza totiž tvrdí, že kategorie nekauzálního vysvětlení je nejasná, protože není vyjasněno, jakou úlohu v nich hrají zjednodušující předpoklady. Abychom mohli tuto hypotézu prověřit, musíme nejprve ukázat některé vybrané reprezentativní příklady nekauzálních vysvětlení. Zaměříme se nejprve (1) na velmi jednoduché (toy)-příklady: *problém s jahodami*²⁹ a *problém mostů v Královci*³⁰. Poté (2) na příklady, které mají reálný vědecký základ: *problém periodických cikád*³¹ a *problém samoorganizace vzorů v písku*.³²

3.1 Nerozdělné jahody

Problém s jahodami zviditelněný Marcem Langem můžeme chápat jako *pars pro toto* nejen „distinktivně matematických vysvětlení“, ale nakonec i nekauzálních vysvětlení obecně. Vysvětlení jsou distinktivně matematická v takových případech, kdy nějaký matematický fakt exkluzivně vysvětluje nějaký ne-matematický fakt.³³ V našem „jahodovém problému“ je tomu právě

(2019): 817–44; Marc Lange, „Asymmetry as a Challenge to Counterfactual Accounts of Non-Causal Explanation“, *Synthese* 198, no. 4 (2021): 3893–918; Reutlinger, „Extending the Counterfactual Theory of Explanation“; optimalizační modely v evoluční biologii a ekonomii, viz Collin C. Rice, „Moving Beyond Causes: Optimality Models and Scientific Explanation“, *Noûs* 49, no. 3 (2015): 589–615; modely využívající formalismus renormalizačních grup ve fyzice, viz Robert W. Batterman and Collin C. Rice, „Minimal Model Explanations“, *Philosophy of Science* 81, no. 3 (2014): 349–76. Rozpracovanější podobu kategorizace nalézáme např. v Reutlinger and Saatsi, *Explan. Beyond Causation*.

²⁷ Např. Lange, *Because Without Cause*; Alan Baker, „Are There Genuine Mathematical Explanations of Physical Phenomena?“, *Mind* 114, no. 454 (2005): 223–38.

²⁸ Např. Bokulich, „Searching for Non-Causal Explanations“; Kostić, „Mechanistic and Topological Explanations: An Introduction“; Kostić, „General Theory of Topological Explanations.“

²⁹ Lange, *Because Without Causes*.

³⁰ Christopher Pincock, „A Role for Mathematics in the Physical Sciences“, *Noûs* 41, no. 2 (2007): 253–75.

³¹ Baker, „Mathematical Explanations of Physical Phenomena.“

³² Bokulich, „Searching for Non-Causal Explanations.“

³³ Lange, *Because Without Cause*.

tak: Důvodem, proč nemůže maminka rozdělit 23 jahod mezi své 3 děti (bez krájení jahod či dětí), je skutečnost, že 23 není beze zbytku dělitelné 3.³⁴ V tomto případě tedy matematický fakt (23 není dělitelné 3) exkluzivně – tj. bez čehokoliv dalšího – vysvětluje „fyzikální“ fakt, který se týká fyzických jahod (a dětí!). Ponechejme zatím pochyby stranou (vrátíme se k nim v kapitole 4). Nejedná se o reálnou vědeckou explanaci, ale o „toy-model“, který má ilustrovat klíčovou vlastnost distinktivně-matematického vysvětlení, které se podle Langeho vyskytuje i ve skutečných případech vědeckých explanací.

3.2 *Neulerovské mosty*

Příklad *Mostů v Královci* je složitějším toy-modelem, protože využívá poznatků z teorie grafů. Jedná se v zásadě o novou interpretaci klasického Eulerova problému: Lze uskutečnit v Královci (v 1. polovině 18. století) takovou procházku, která povede přes všechny části města propojené mosty tak, aby byl každý most použit právě jednou? Odpověď opřená o Eulerův teorém, byla v případě historického Královce negativní (viz obr.1A). Fyzickou konfiguraci mostů si totiž můžeme reprezentovat pomocí grafu, který nespĺňuje podmínky pro uskutečnění eulerovské procházky (viz obr. 1B).³⁵

Opět jsme v situaci, že nějakou fyzickou skutečnost – nemožnost uskutečnění pohybu po skutečném městě – vysvětlujeme nekauzálně pomocí matematického (grafově-teoretického) teorému. Podstatné je zmínit, že pro Christophera Pincocka,³⁶ který toy-model mostů zavádí, svědčil model o epistemické nenahraditelnosti matematiky – nikoliv přímo o tom, že by matematický fakt sám o sobě měl výhradní explanační sílu.³⁷ Pincock tedy může argumentovat současně pro epistemickou nenahraditelnost i metafyzickou zbytnost matematiky. To u Langeho, který Pincockův příklad „mostů“ přebírá, není možné – Lange totiž nezkoumá způsob užití zjednodušujících předpokladů, ale především klasifikuje jejich modální sílu.³⁸

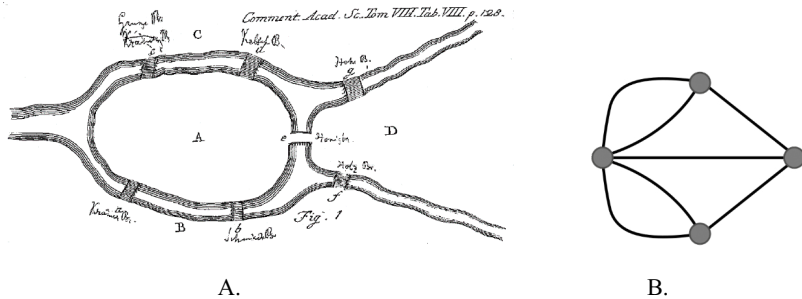
³⁴ Ibid., 6.

³⁵ Eulerův teorém stanovuje, že uzavřená eulerovská procházka v grafu může být uskutečněna pouze za předpokladu, že všechny vrcholy grafu mají sudou valenci. Otevřená procházka je možná za předpokladu, že právě dva vrcholy mají lichou valenci.

³⁶ Pincock, „A Role for Mathematics in the Physical Sciences.“

³⁷ V tom je to podobné i přístupu Margaret Morrison, *Reconstructing Reality: Models, Mathematics, and Simulations* (Oxford: Oxford University Press, 2015).

³⁸ Viz Lange, *Because Without Cause*; Marc Lange, „Because Without Cause: Scientific Explanations by Constraint,“ in *Explanation Beyond Causation*, eds. Alexander Reutlinger and Juha Saatsi (Oxford: Oxford University Press, 2018), 15–38; Lange, „Asymmetry as a Challenge.“



Obr. 1: Mosty v Královci. (A) historický náčrtek, (B) schematické zobrazení v rámci matematické teorie grafů (zdroj: Wikimedia Commons).

3.3 Prvočíselné cikády

Překročíme-li toy-příklady, nalezneme i příklady nekauzálních vysvětlení použitých samotnými vědci. Jedno z nich – případ *periodických cikád* – se podařilo rekonstruovat Alanu Bakerovi.³⁹ Aniž bychom zacházeli do přílišných detailů,⁴⁰ cílem je vysvětlit, proč mají jisté severoamerické cikády (*Magicicada*) životní cyklus o délce 17 let, když by mohly mít jakýkoliv z intervalu (14–18 let) daného omezeními daného ekosystému. Odpovědi se nám v tomto případě dostane z oblasti teorie čísel – skrze teorém, podle kterého prvočíselné periody minimalizují průnik ve srovnání s neprvočíselnými periodami.⁴¹ Tento teorém zde ovšem nepůsobí samostatně (na rozdíl od toy-příkladů uvedených výše), aby mohlo být vysvětlení použito, je potřeba použít i biologický „zákon“, který stanoví, že disponování periodou životního cyklu, která minimalizuje průnik s periodami životních cyklů jiných druhů – především predátorů – je evolučně výhodné.⁴²

Příklad periodických cikád nám ukazuje, že jsou nekauzální vysvětlení součástí reálných vědeckých výsledků. Jiná věc ovšem je, jak těchto zjištění využívají samotní filosofové. Například Baker vědeckého pří-

³⁹ Baker, „Mathematical Explanations of Physical Phenomena.“

⁴⁰ Viz Jin Yoshimura, „The Evolutionary Origins of Periodical Cicadas During Ice Ages,“ *The American Naturalist* 149, no. 1 (1997): 112–24; Eric Goles, Oliver Schulz, and Mario Markus, „Prime Number Selection of Cycles in a Predator-Prey Model,“ *Complexity* 6, no. 4 (2001): 33–38; viz Baker, „Mathematical Explanations of Physical Phenomena.“

⁴¹ Baker, „Mathematical Explanations of Physical Phenomena,“ 233.

⁴² *Ibid.*, 233.

kladu nekauzálního vysvětlení využívá jako argumentu pro platonismus s ohledem na existenci matematických objektů.⁴³ Pro Langeho je cílem uspořádat jednotlivá vysvětlení do hierarchie, která zachycuje narůstající míru nutnosti pravd, o která se vysvětlení opírají.⁴⁴ Jak vysvítá, hlavní motivací je pro Langeho obhajoba určité vize úlohy matematiky a metafyziky ve vztahu k nižším úrovním reality. Pečlivě vybrané kazuistiky se organizují nikoliv podle nějaké, v zásadě pragmatické, volby konkrétních výzkumníků, ale podle neméně pečlivého rámce, který filosof předkládá jako obhajovanou pravdu.

3.4 Samoorganizované duny

Výrazně odlišný přístup nacházíme u Alisy Bokulich⁴⁵ na příkladu vzniku *samo-organizovaných vzorů v písku* (duny na poušti, ale i na dně moře). Bokulich ukazuje, že matematické modely použité pro studium samoorganizovaných struktur⁴⁶ nereprezentují kauzální proces či mechanismus vzniku těchto struktur.⁴⁷

Tvrdím, že vysvětlení dynamiky defektů je nekauzální. Není tomu tak proto, že by šlo o idealizovanou reprezentaci, která vynechává mnoho detailů, ani proto, že by šlo o charakterizaci jevu v termínech vysoce matematického modelu. Je to spíše proto, že matematika není reprezentací konceptuálního modelu o příslušných kauzálních procesech působících v tomto systému.⁴⁸

Toto vysvětlení opřené o model dynamiky defektů totiž staví na pseudontologii tvořené (a) rozestupy vln (spacing) a (b) vlnovými defekty (například rozvětvení vlny, nebo ukončení vlny (viz obr. 2). Matematický model, který používali Werner a Kocurek pak rozestupy vln a počet defektů pojímá jako dynamické proměnné. A umožňuje vypočítat rychlosti propagace vln a defektů (které se pohybují rychleji), postupného vymizení defektů a také výslechnou hodnotu rozestupů vln. To vše bez identifikace kauzálních procesů.⁴⁹

⁴³ Ibid., 236.

⁴⁴ Např. Lange, *Because Without Cause*, 81; Lange, „Because Without Cause,“ 26.

⁴⁵ Bokulich, „Searching for Non-Causal Explanations.“

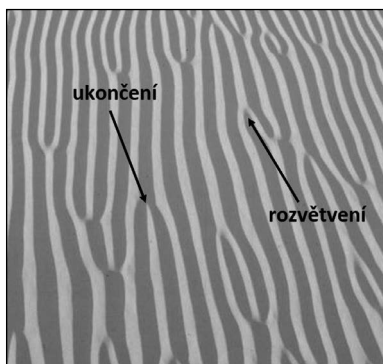
⁴⁶ B. T. Werner and G. Kocurek, „Bedform Spacing from Defect Dynamics,“ *Geology* 27, no. 8 (1999): 727–30; viz Bokulich, „Searching for Non-Causal Explanations.“

⁴⁷ Bokulich, „Searching for Non-Causal Explanations,“ 149.

⁴⁸ Ibid., 159.

⁴⁹ „Kdybyste sledovali průběh tohoto procesu, viděli byste, jak se defekty (přerušený konec ‚zakončení‘ hřebenové linie) šíří směrem k hřebenové linii před ní, setkávají se s touto hřebenovou

Navíc je možné tyto modely použít i v případě zcela jiného kauzálního původu daných vzorů (příkladem jsou vzory v písku v moři, oproti dunám na souši). To nás upozorňuje na důležitý rys přístupu Bokulich, a to, že existence kauzálního vysvětlení⁵⁰ jevu nedevalvuje nekauzální vysvětlení téhož jevu.⁵¹ Kauzální a nekauzální vysvětlení tak mohou existovat bok po boku, k dispozici vědcům, s ohledem na kontext výzkumu. Nakonec mohou být nekauzální vysvětlení velmi častá – jako komplement vysvětlení kauzálních.⁵²



Obr. 2: Vzory v písku (zdroj fotografie: Wikimedia Commons).⁵³

linií a vytvářejí spojnicí (Y-spojku), načež se větvička Y-spojky odlomí a začne se šířit směrem k hřebenové linii před ní; poté opět vytvoří další Y-spojku a proces se opakuje. Celkově to vypadá, jako by jeden defekt procházel postupnými vlnami, jak se rychleji šíří po větru.“ Ibid., 156. Poslední věta pěkně ilustruje emergentní povahu defektů – pohybují se po vlnách jako kluzáky v Conwayově Game of Life: k emergenci v buněčných automatech viz Vladimír Havlík, *Hierarchická emergentní ontologie a univerzální princip emergence* (Praha: Filosofía, 2021).

⁵⁰ Takto vysvětlují vzory v písku např. Robert S. Anderson, „A Theoretical Model for Aeolian Impact Ripples,” *Sedimentology* 34, no. 5 (1987): 943–56; viz Bokulich, „Searching for Non-Causal Explanations.“

⁵¹ Bokulich, „Searching for Non-Causal Explanations,” 160.

⁵² Daniel Kostić vytvořil specifický model topologického (nekauzálního) vysvětlení na míru určitému omezenému počtu empirických případů vědeckých explanací (pro potřeby neurovědy a ekologie, viz Kostić, „Mechanistic and Topological Explanations: An Introduction“; Kostić, „General Theory of Topological Explanations“). Omezení, která na sebe Kostić klade, jsou sice také konceptuální povahy (například potřeba vyhovět kontrafaktuálnímu pojetí vysvětlení), ale především jsou vázána na samotnou povahu zkoumaných kauzistik (proto například citlivě rozlišuje lokální a globální variantu topologického vysvětlení).

⁵³ Autor fotografie: Eugen Karl Kempf, *Wind Ripples Occurring in Southwest Afghanistan (Sistan)*, 1969. Publikováno pod licenci CC BY-SA 3.0.

4. Nekauzální vysvětlení a zjednodušující předpoklady

Zjednodušující předpoklady (viz kapitola 2) vstupují také do nekauzálních vysvětlení. Úkolem této kapitoly je prozkoumat, jakými typickými způsoby se to děje. Opřeme se o námi představené (viz kapitola 3) i některé další příklady nekauzálních vysvětlení. Všimneme si, že zásadní je (1) nejasné odlišení abstrakce a idealizace a (2) způsob použití zjednodušujícího předpokladu abstrakce.

4.1 Jahody v pevném a kapalném skupenství

Začneme toy-příkladem *problému s jahodami*. Viděli jsme, že matematický fakt (nedělitelnost beze zbytku) má vysvětlovat fyzikální fakt (maminka nemůže bez krájení rozdělit 23 jahod mezi své 3 děti). Můžeme si jednoduše všimnout, jak v tomto toy-modelu účinkují – v tomto případě zamlčené – zjednodušující předpoklady bez toho, aniž by je autor sám kategorizoval. Lange odhlíží od toho, že fyzikální tělesa mohou být i kapalná nebo plynná (nakonec maminka mohla vyřešit problém s jahodami jednoduše tak, že z 23 jahod mohla v mixéru připravit jahodový koktejl, který pak mohla rozlít do 3 skleniček).⁵⁴

Domníváme se, že pro funkčnost toy-modelu *jahodového problému* je použití zjednodušujících předpokladů klíčové. Vlastně se ukazuje, že distinktivně matematické vysvětlení můžeme uplatnit jen při vhodně zvolené abstrakci či idealizaci. Pro kapalná a plynná tělesa by postrádalo vypovídací hodnotu, možná poodkrytí abstrakce či idealizace v modelu přímo zpochybňuje výlučnost matematického vysvětlení (ve skutečnosti musí být vždy podpořeno nějakým dalším ne-matematickým faktem). Zároveň příklad ukazuje, jak je odlišení abstrakcí a idealizací samo o sobě komplikované – idealizuje Lange tělesa jako pevná, nebo tím abstrahuje od jejich fyzických vlastností natolik, že může zkonstruovat distinktivně matematické vysvětlení?

4.2 Příliš obecné vlastnosti mostů?

Dalším příkladem jsou *mosty v Královci*, kde má matematický teorém (Eulerův teorém) samostatně vysvětlovat, že konkrétní konfiguraci mostů není možné přejít zadaným způsobem (není možné realizovat eulerovskou procházku vzhledem k nevhodné valenci vrcholů grafu, který fyzikální

⁵⁴ Děkujeme za inspiraci Ericu Weberovi, který na problém tuhé-kapalně v Langově příkladu poukázal, 2019 Ghent.

situaci reprezentuje). Na tomto příkladu lze demonstrovat problematičnost způsobu použití abstrakce. Řada autorů se domnívá, že „abstraktnost“ je vlastnost, která je vlastní nekauzálnímu vysvětlení, nikoli kauzálnímu.⁵⁵ Podle této úvahy je nekauzální vysvětlení charakteristické tím, že „abstrahuje od“ či „vynechává“ všechny nebo většinu „mikrofyzikálních“ detailů; jinými slovy nekauzální vysvětlení má více mikrofyzikálních realizátorů. Zde můžeme rozvést několik obtíží.

(i) Aby se lépe vyjasnila role abstrakce, bylo by v rámci standardního pojetí potřeba rozlišit mezi horizontální a vertikální abstrakcí. Horizontální abstrakcí myslíme takový proces, kdy v našem vysvětlení chování systému odhlížíme od potenciálně velké množiny faktorů, které v daném kontextu nepovažujeme za relevantní pro vysvětlení. Vertikální abstrakcí pak myslíme takový proces, při kterém využijeme nějaký obecnější model či strukturu.⁵⁶ Mluví-li se tedy o vlastnosti „abstraktnosti“ v nekauzálních vysvětleních, má se zřejmě na mysli především vertikální abstrakce.⁵⁷

⁵⁵ Např. Christopher Pincock, „Abstract Explanations in Science,“ *The British Journal for the Philosophy of Science* 66, no. 4 (2015): 857–82.

⁵⁶ Vertikální a horizontální abstrakci (respektive „izolaci“) popsal a precizoval Mäki, „On the Method of Isolation in Economics.“ Abychom lépe vysvětlili tyto pojmy, uveďme si Mäkiho příklady. Uvažujme křivku poptávky a předpokládejme, že závisí pouze na ceně produktu: $q_1 = f(p_1)$. K takové rovnici jsme dospěli horizontální abstrakcí, při které jsme odhlídli od ceny komplementů a substitutů: $q_1 = f(p_1, p_2, \dots, p_n)$, kde p_2, \dots, p_n vyjadřují ceny komplementů a substitutů. Vertikální abstrakce pak vyjadřuje jinou míru abstrakce: rovnice „ $q = f(p)$ “ je abstraktnější než rovnice „ $q = a + bp$ “, která je abstraktnější než rovnice „ $q = 8.5 - 0.85p$ “, kde parametry a a b byly empiricky změřeny pro konkrétní trh.

⁵⁷ Oba typy abstrakce přitom podle některých vedou k abstraktním entitám. Pokud jde o vertikální abstrakci, například mluví o abstraktních entitách, viz Pincock, „Abstract Explanations in Science.“ Abstrakce jako proces odečítání rysů má generovat abstraktní objekty, viz Ronald N. Giere, *Explaining Science* (University of Chicago Press, 1988); Stuart Glennan, *The New Mechanical Philosophy* (Oxford: Oxford University Press, 2017); Uskali Mäki, „MISSing the World. Models as Isolations and Credible Surrogate Systems,“ *Erkenntnis* 70, no. 1 (2009): 29–43; Stathis Psillos, „Living with the Abstract: Realism and Models,“ *Synthese* 180, no. 1 (2011): 3–17; Paul Teller, „Twilight of the Perfect Model Model,“ *Erkenntnis* 55, no. 3 (2001): 393–415. Standardní pohled by tedy mohl být interpretován tak, že se zabývá otázkou ontologie, pro kterou je pravděpodobně dobře vybaven (ale argumenty proti modelům jako abstraktním objektům, viz Roman Frigg and James Nguyen, „Models and Representation,“ in *Springer Handbook of Model-Based Science*, eds. Lorenzo Magnani and Tommaso Bertolotti (Dordrecht: Springer, 2017), 49–102; Martin Thomson-Jones, „Missing Systems and the Face Value Practice,“ *Synthese* 172, no. 2 (2010): 283–99; Adam Toon, *Models as Make-Believe* (London: Palgrave Macmillan, 2012)). Avšak jiní autoři výslovně varují před vytvářením souvislosti mezi abstrakcí používanou ve službách vytváření vědeckých reprezentací a abstraktními objekty, viz např. Nicholas Jones, „Strategies of Explanatory Abstraction in Molecular

(ii) „Abstraktnost“ není výlučně charakteristická pro nekauzální vysvětlení: Kauzální vědecká vysvětlení totiž mnohdy jsou abstraktní, ať už v horizontálním či vertikálním smyslu, a abstrahování od mikrofyzikálních detailů tedy není výsadou nekauzálního vysvětlení.⁵⁸

(iii) S „abstraktností“ coby výlučnou charakteristikou nekauzálních vysvětlení nesouhlasí i Lina Jansson a Juha Saatsi.⁵⁹ Jansson a Saatsi polemizují s Langem, který hájí distinktivně-matematickou povahu vysvětlení – vyjádřenou na toy-modelu „mostů v Královci“ – přičemž nabízejí několik různých výkladů abstrakce. (1) abstrakce jako nezávislost na aktuální struktuře entit, (2) abstrakce jako nezávislost na aktuálních zákonech a (3) abstrakce jako stupeň zobecnitelnosti tvrzení v explanans.⁶⁰ Jen poslední typ pokládají za explanační, (1) a (2) totiž neposkytují informace o závislosti explanans a explananda, zatímco (3) může být spojena s Woodwardovým kontrafaktuálním pojetím vysvětlení.⁶¹

Příklad nekauzálního vysvětlení „mostů v Královci“ vztahují Jansson a Saatsi k abstrakci třetího typu.⁶² Stupeň zobecnitelnosti zde vystupuje takto: je možné prostě tvrdit, že (i) „musí existovat sudý počet mostů“, nicméně toto vysvětlení je málo obecné, na rozdíl od (ii) Eulerova plně grafově-teoretického vysvětlení, které zahrnuje všechny případy, například pro libovolný počet vrcholů a hran grafu. Jansson a Saatsimu se také daří zpochybnit výlučnost distinktivně matematického vysvětlení: abstrakce typu (3) nikdy nevystupují v explanans samostatně, a proto lze použít Woodwardovo⁶³ kontrafaktuální pojetí vysvětlení – stále existuje možnost zasahovat do (neabstraktních) podmínek v explanans.

Obdobně je možné přistoupit také k Bakerově příkladu *periodických cikád*. I zde totiž matematický teorém nepůsobí izolovaně, ale explanační sílu čerpá ze společného výskytu dalších biologických „zákonů“ v explanans. I zde spočívá explanační potenciál abstrakce ve stupni zobecnitelnosti tvrzení v explanans, jak uvádějí Jansson a Saatsi. Vidíme tak také, že toy-modely nekauzálních explanací mohou být relevantní pro reálné vědecké příklady.

Systems Biology,“ *Philosophy of Science* 85, no. 5 (2018): 955–68; Arnon Levy, „Three Kinds of New Mechanism,“ *Biology & Philosophy* 28, no. 1 (2013): 99–114.

⁵⁸ Alexander Reutlinger and Holly Andersen, „Abstract versus Causal Explanations?,“ *International Studies in the Philosophy of Science* 30, no. 2 (2016): 129–46.

⁵⁹ Jansson and Saatsi, „Explanatory Abstractions.“

⁶⁰ *Ibid.*, 821–22.

⁶¹ *Ibid.*, 824.

⁶² *Ibid.*, 841.

⁶³ Woodward, *Making Things Happen*.

Navzdory pozitivnímu přínosu konceptuální analýzy přítomné u Jansson a Saatsiho – daří se jim zpochybnit koncepci distinktivně matematického vysvětlení a jejich aplikace kontrafaktuálního pojetí vysvětlení zachovává asymetrii mezi explanans a explanandum⁶⁴ – musíme opět vyjádřit pochybnosti k vymezení zjednodušujícího předpokladu abstrakce. Opravdu totiž stačí vymežit abstrakci skrze míru zobecnitelnosti tvrzení v explanans? Kromě toho, že to není v souladu se standardním pojetím (což by ale samo o sobě nemuselo být chybou), můžeme naleznout explicitní argumenty proti tomuto postupu.

Arnon Levy argumentuje tak, že zobecnitelnost je záležitostí rozsahu – množství entit, jichž se model týká, zatímco abstraktnost je věcí detailu – čili toho, jak moc model danou entitu vystihuje.⁶⁵ A především v souvislosti s vědeckými explanacemi vidí zásadní rozdíl v jejich uplatnění v kauzálních případech (Woodward se opírá o zobecnitelnost a Strevens o abstraktnost).⁶⁶ A to je velmi důležité, protože „míra obecnosti“ je jedním z klíčových prvků ve Woodwardově modelu vysvětlení. Nemůže se pak ukázat, že řešení symetrie nekauzálního vysvětlení je u Jansson a Saatsiho vlastně jen zdánlivé? Funguje prostě proto, že abstrakci identifikuje s mírou zobecnitelnosti? Vidíme, že opět vyvstávají konceptuální obtíže dané nejasným vymezením zjednodušujícího předpokladu abstrakce.

4.3 Zcela imaginární měření teploty

Nad rámec příkladů uvedených v kapitole 3 připojujeme další případ nekauzální explanace – *problém stejných teplot na rovníku*. Jedná se původně o příklad Marka Colyvana.⁶⁷ Problém spočívá v tom, že na základě platnosti matematického Bursuk-Ullamova teorému platí, že v daném okamžiku vždy

⁶⁴ Podrobnější rozbor textu Jansson and Saatsi, „Explanatory Abstractions.“ – především s ohledem na problém symetrie nekauzálních vysvětlení – a také polemiku s Langem, naleznou čtenáři v textu Lukáš Zámečník, „Towards a Universal Account of Asymmetry in Non-Causal Explanations,“ *Filozofia* 76, no. 6 (2021): 407–22.

⁶⁵ Levy, „Idealization and Abstraction,“ 5868.

⁶⁶ A na příkladu mnohonásobné realizovatelnosti vlastností (v neurovědě) ukazuje, jak mohou abstraktnost a zobecnitelnost koincidovat, viz Levy, 15–16.

⁶⁷ Mark Colyvan, „Can the Eleatic Principle Be Justified?,“ *Canadian Journal of Philosophy* 28, no. 3 (1998): 321–22; Mark Colyvan, *The Indispensability of Mathematics* (New York: Oxford University Press, 2001), 49–50; Mark Colyvan, „Mathematical Recreation versus Mathematical Knowledge,“ in *Mathematical Knowledge*, eds. Mary Leng, Alexander Pasneau, and Michael Potter (Oxford: Oxford University Press, 2007), 120; odkazy dle Lange, *Because Without Cause*, 7.

existují (alespoň) dvě místa na rovníku, která jsou přesnými antipody (se středem v jádru Země) a která mají stejnou teplotu. Ačkoliv se jedná o použití netriviální matematiky, lze důvod objasnit vcelku jednoduše. Klíčové pro příklad je, aby se teplota po obvodu rovníku měnila spojitě. Představme si nyní dva antipody na rovníku, jejichž teplota se liší a představme si, že úsečkou tvořenou antipody budeme otáčet (osa otáčení je umístěna v centru Země). Rozdíl teplot obou bodů má určitou nenulovou hodnotu. Pak vzhledem k tomu, že po půlotáčce se polohy počátečních bodů vymění, jedna teplota poklesne a druhá vzroste, musel v průběhu půlotáčky nastat alespoň jednou případ, kdy rozdíl teplot antipodů poklesl na nulu – a to odpovídá kýženě hledané dvojici stejných protilehlých teplot.

Tento příklad je specifický, protože se nejedná čistě o toy-model, ani o reálný vědecký příklad explanace. Toy-model filosofů to není, protože jak Lange sám připomíná, můžeme jej nalézt v různých „Úvodech“ do diferenciálního počtu.⁶⁸ Jedná se tedy o příklad používanými samotnými matematiky (na doklad Bursuk-Ullamova teorému). Reálný vědecký – ve smyslu např. meteorologické explanace – příklad to být ale nemůže, protože nikdo požadavek na vysvětlení nevznáší – v zásadě, jak upozorňuje Pincock⁶⁹ i Lange⁷⁰ se jedná spíše o predikci. Ovšem o velmi zvláštní predikci, protože zcela jistě neexistuje pozorování (ani v principu), které by tuto predikci mohlo potvrdit.

Všimněme si opět, jak v příkladu fungují zjednodušující předpoklady – domníváme se, že jádro problému nevyjasněnosti distinkce abstrakcí a idealizací může být dobře ilustrováno právě zde. Zajímavá otázka souvisí se způsobem užití B-U teorému. Příklad s rovníkem se (podle Langeho) objevuje v učebnicích matematické analýzy jako příklad důsledku platnosti B-U teorému o spojitosti funkcí. Příklad je tak vlastně demonstrací matematického tvrzení (podobně bychom mohli případ s jahodami chápat jako demonstraci matematického tvrzení o dělení se zbytkem). Při vědecké explanaci ale vždy používáme matematických tvrzení za nějakým účelem a v danou chvíli je potřeba rozhodnout, proč si například průběh teploty představovat jako spojitou funkci. A standardní pojetí abstrakce a idealizace nám není schopno říct, zda se při této představě upínáme k matematickému aparátu jako k abstrakci nebo jako k idealizaci situace.

⁶⁸ Lange, *Because Without Cause*, 7, pozn. 4 odkazuje na Davida Brannana, *A First Course in Mathematical Analysis* (Cambridge: Cambridge University Press, 2006), 145–46.

⁶⁹ Pincock, „A Role for Mathematics in the Physical Sciences.“

⁷⁰ Lange, *Because Without Cause*.

Jistě, teplotu jako spojitou funkci potřebujeme například k tomu, abychom mohli řešit diferenciální rovnice. Na druhou stranu existují funkce bez derivace a v některých příkladech je lepší abstrakci/idealizaci sáhnout právě po takových funkcích bez derivace (teorie dynamických systémů⁷¹). Čili konkrétní výzkumná situace rozhoduje o tom, jakou matematickou abstrakci/idealizaci zvolit. Například, jak už víme z teorie dynamických systémů od 60. let 20. století, v některých případech používáme v meteorologii modely (jako je Lorenzův atraktor, bifurkace v logistickém zobrazení), které rezignují na analytické řešení diferenciálních rovnic. Jsou to modely chaotických dynamik systému. Ani zde pak není jasné, jak přísně vzato odlišit idealizaci a abstrakci. Idealizujeme s ohledem na použití čisté podoby fraktálů? Nebo se naopak jedná o abstrakci od celé řady konkrétních vlastností dynamického systému?⁷²

4.4 Idealizovaný nebo abstrahovaný písek?

Vraťme se ještě k příkladu *samoorganizovaných vzorů v písku*. Zajímavé na něm je právě to, jak Bokulich nakládá se zjednodušujícími předpoklady. V zásadě lze říci, že se jejich problematičnost snaží ukázat jako iluzorní. Ve výše citované pasáži (kapitola 3.4) Bokulich explicitně říká, že nekauzálnost nespočívá v tom, že se jedná o „idealizovanou reprezentaci, která vynechává mnoho detailů,“ ani v tom, „že by šlo o charakterizaci jevu v termínech vysoce matematického modelu.“ Má jít prostě o to, že zvolený matematický model „není reprezentací konceptuálního modelu o příslušných kauzálních procesech.“

Na první pohled příjemné řešení, na kterém si nejvíce ceníme schopnosti ukázat, jak mohou kauzální a nekauzální módy vysvětlení koexistovat paralelně vedle sebe, má ovšem s ohledem na zjednodušující předpoklady bohužel opět vady na kráse. Jak totiž rozumět onomu „není reprezentací“? Máme tomu rozumět tak, že se jedná o specifickou abstrakci? Podle toho, co sama na jiném místě uvádí asi ano: jedná se „o abstrakci napříč velmi odlišnými kauzálními mechanismy [...]“⁷³

Navíc, jak jsme již viděli, zmiňuje idealizaci v souvislosti s vynecháváním detailů. Na základní rovině se zde tak komplikuje odlišení obou základních kategorií zjednodušujících předpokladů. Vidíme, že ani sympatická,

⁷¹ Viz Peter Smith, *Explaining Chaos* (Cambridge: Cambridge University Press, 1998).

⁷² Smith, *Explaining Chaos*; Stephen Kellert, *In the Wake of Chaos: Unpredictable Order in Dynamical Systems* (Chicago: Chicago University Press, 1993).

⁷³ Bokulich, „Searching for Non-Causal Explanations,“ 148.

o konkrétní kazuistiku opřená konceptuální analýza nemůže být dostatečně přesvědčivá, jestliže nedokáže systematicky nakládat se zjednodušujícími předpoklady. Nakonec se tak Bokulich přihlásí k určitému pojetí abstrakce (tj. odhlížení od celé třídy různých kauzálních detailů), na kterém může založit definici nekauzálního vysvětlení.

5. Závěr

V tomto článku jsme argumentovali, že rozdíl ve zjednodušujících předpokladech (abstrakce versus idealizace) není jasný a standardní pojetí není postačující. Nedostatečnost standardního pojetí je dána přinejmenším třemi důvody: (i) idealizace nemůže být identifikována se zkreslením, misreprezentací a nepravdou; (ii) abstrakce nevystupuje ve vědeckých modelech jako „pouhé“ odečítání vlastností zkoumaného systému; (iii) v reálné vědecké praxi nejsou idealizace a abstrakce odlišovány skrze kategorie standardního pojetí. Třetí bod jsme demonstrovali tematikou nekauzálních vysvětlení.

Nekauzální vysvětlení jsou nejčastěji vymezována čistě skrze jejich odhlížení (!) od kauzálních vztahů a procesů ve zkoumaných systémech. Ve filosofii vědy je motivace konceptualizovat nekauzální vysvětlení různá: (i) někteří filosofové příklady nekauzálních vysvětlení využívají k obhajobě vlastních představ o povaze matematiky nebo o nezpochybnitelné roli matematiky a případně i metafyziky ve vědeckých vysvětleních; (ii) další skupina filosofů vědy naopak raději sleduje reálné vytváření a používání vědeckých explanací samotnými vědci, kteří často vysvětlují nekauzálně; (iii) naší motivací bylo ukázat, že je kategorie nekauzálního vysvětlení nejasná, protože zůstává nevyjasněná role zjednodušujících předpokladů, o které se filosofové při vymezení nekauzálních vysvětlení opírají.

Na jednotlivých příkladech nekauzálních vysvětlení jsme ukázali, že trpí: (i) nejasným odlišením abstrakce a idealizace; a (ii) nejasným způsobem použití zjednodušujícího předpokladu abstrakce. První nedostatek (i) jsme ilustrovali na *problému s jahodami* (4.1) a na *problému stejných teplot na rovníku* (4.3) (částečně také na případě *samoorganizace vzorů v písku* (4.4)). V případě jahod není jasné, zda je Langeho distinktivně matematické vysvětlení založeno na idealizaci nebo abstrakci jahod jako diskrétně počítatelných entit. V případě rovníku obdobně nenacházíme jasné indicie k tomu, zda představa „spojitě se měnící teploty“ představuje idealizaci zkoumaného systému nebo abstrakci od jeho nepodstatných vlastností.

Druhý nedostatek (ii) jsme ukázali na *problému mostů v Královci* i na *problému periodických cikád* (4.2) a také na případě *samoorganizace*

vzorů v písku (4.4). Žádný návrh explikace role abstrakcí v nekauzálních vysvětleních nebyl přesvědčivý, protože k němu bylo možné najít důležitý protipříklad (týká se mostů i cikád); respektive protože sám přináší konfuzi do odlišování zjednodušujících předpokladů (vzory v písku). Jansson a Saatsiho řešení směřuje zobecnitelnost a abstraktnost, což je nepřijatelné, pokud spolu s Levym spojujeme zobecnitelnost s otázkou rozsahu a abstraktnost s otázkou detailu vysvětlení. V případě Bokulich nacházíme dokonce samotné směřování idealizací a abstrakcí, a proto, když vymezuje nekauzální vysvětlení jako taková, která abstrahují od různých kauzálních mechanismů, nevíme, co se touto abstrakcí vlastně myslí.

Domníváme se, že jsme přesvědčivě ukázali, jak zásadní úlohu hrají zjednodušující předpoklady při konceptualizaci nekauzálních vysvětlení. Konceptuální nejasnosti standardního pojetí idealizace a abstrakce se ukazují jako velmi závažné ve chvíli, kdy si uvědomíme, že řada autorů staví modely nekauzálních explanací na tekutých píscích zjednodušujících předpokladů. Náš článek se snaží vrátit abstraktní úvahy některých filosofů a filosofek k podstatným vlastnostem vědeckých modelů, na které tyto filosofky a filosofové zapomněli. Po jejich zohlednění lze očekávat porozumění specifickým a velmi pestrým způsobům, jak vědci vysvětlují, když se neodvolávají na kauzalitu.

Bibliografie:

- Anderson, Robert S. "A Theoretical Model for Aeolian Impact Ripples." *Sedimentology* 34, no. 5 (1987): 943–56. <https://doi.org/10.1111/J.1365-3091.1987.TB00814.X>.
- Bailer-Jones, Daniela. *Scientific Models in Philosophy of Science*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2009.
- Baker, Alan. "Are There Genuine Mathematical Explanations of Physical Phenomena?" *Mind* 114, no. 454 (2005): 223–38. <https://doi.org/10.1093/MIND/FZI223>.
- Batterman, Robert W., and Collin C. Rice. "Minimal Model Explanations." *Philosophy of Science* 81, no. 3 (2014): 349–76. <https://doi.org/10.1086/676677>.
- Bokulich, Alisa. "How Scientific Models Can Explain." *Synthese* 180, no. 1 (2011): 33–45. <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9565-1>.

Bokulich, Alisa. "Searching for Non-Causal Explanations in a Sea of Causes." In *Explanation Beyond Causation*, edited by Alexander Reutlinger and Juha Saatsi, 141–63. Oxford: Oxford University Press, 2018.

Boone, Worth, and Gualtiero Piccinini. "Mechanistic Abstraction." *Philosophy of Science* 83, no. 5 (2016): 686–97. <https://doi.org/10.1086/687855>.

Brannan, David. *A First Course in Mathematical Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

Cartwright, Nancy. *Nature's Capacities and Their Measurement*. Oxford: Oxford University Press, 1989.

Chirumuuta, M. "Minimal Models and Canonical Neural Computations: The Distinctness of Computational Explanation in Neuroscience." *Synthese* 191, no. 2 (2014): 127–53. <https://doi.org/10.1007/s11229-013-0369-y>.

Colyvan, Mark. "Can the Eleatic Principle Be Justified?" *Canadian Journal of Philosophy* 28, no. 3 (1998): 313–35. <https://doi.org/10.1080/00455091.1998.10715975>.

Colyvan, Mark. "Mathematical Recreation versus Mathematical Knowledge." In *Mathematical Knowledge*, edited by Mary Leng, Alexander Pasneau, and Michael Potter, 109–22. Oxford: Oxford University Press, 2007.

Colyvan, Mark. *The Indispensability of Mathematics*. New York: Oxford University Press, 2001.

Friedman, Michael. "Explanation and Scientific Understanding." *The Journal of Philosophy* 71, no. 1 (1974): 5–19. <https://doi.org/10.2307/2024924>.

Frigg, Roman, and Stephan Hartmann. "Models in Science." In *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University, 1997–. Article published June 25, 2012. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2018/entries/models-science/>.

Frigg, Roman, and James Nguyen. "Models and Representation." In *Springer Handbook of Model-Based Science*, edited by Lorenzo Magnani and Tommaso Bertolotti, 49–102. Dordrecht: Springer, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30526-4_3.

Gelfert, Axel. *How to Do Science with Models*. SpringerBriefs in Philosophy. Dordrecht: Springer, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27954-1>.

Giere, Ronald N. *Explaining Science*. University of Chicago Press, 1988. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226292038.001.0001>.

Glennan, Stuart. *The New Mechanical Philosophy*. Oxford: Oxford University Press, 2017.

Godfrey-Smith, Peter. "Abstractions, Idealizations, and Evolutionary Biology." In *Mapping the Future of Biology*, edited by Anouk Barberousse, Michel Morange, and Thomas Pradeu, 47–56. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9636-5_4.

Goles, Eric, Oliver Schulz, and Mario Markus. "Prime Number Selection of Cycles in a Predator-Prey Model." *Complexity* 6, no. 4 (2001): 33–38. <https://doi.org/10.1002/CPLX.1040>.

Halas, Juraj. "Abstrakcia a idealizácia vo filozofii vedy I." *Filozofia* 70, no. 7 (2015): 546–59.

Halas, Juraj. "Abstrakcia a idealizácia vo filozofii vedy II." *Filozofia* 70, no. 8 (2015): 633–46.

Halina, Marta. "Mechanistic Explanation and Its Limits." In *The Routledge Handbook of Mechanisms and Mechanical Philosophy*, edited by Stuart Glennan and Phyllis Illari, 213–24. New York: Routledge, 2018. <https://doi.org/10.4324/9781315731544-16>.

Havlík, Vladimír. *Hierarchická emergentní ontologie a univerzální princip emergence*. Praha: Filosofia, 2021.

Hempel, Carl G. *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*. New York: The Free Press, 1965.

Hempel, Carl G., and Paul Oppenheim. "Studies in the Logic of Explanation." *Philosophy of Science* 15, no. 2 (1948): 135–75. <https://doi.org/10.2307/185169>.

Huneman, Philippe. "Topological Explanations and Robustness in Biological Sciences." *Synthese* 177, no. 2 (2010): 213–45. <https://doi.org/10.1007/S11229-010-9842-Z/METRICS>.

Jansson, Lina, and Juha Saatsi. "Explanatory Abstractions." *The British Journal for the Philosophy of Science* 70, no. 3 (2019): 817–44. <https://doi.org/10.1093/BJPS/AXX016>.

Jebeile, Julie. "Idealizations in Empirical Modeling." In *Mathematics as a Tool: Tracing New Roles of Mathematics in the Sciences*, edited by Johannes Lenhard and Martin Carrier, 213–32. Dordrecht: Springer, 2017.

Jones, Martin R. “Idealization and Abstraction: A Framework.” In *Idealization XII: Correcting the Model*, edited by Martin R. Jones and Nancy Cartwright, 173–217. Amsterdam: Rodopi, 2005.

Jones, Nicholas. “Strategies of Explanatory Abstraction in Molecular Systems Biology.” *Philosophy of Science* 85, no. 5 (2018): 955–68. <https://doi.org/10.1086/699742>.

Kellert, Stephen. *In the Wake of Chaos: Unpredictable Order in Dynamical Systems*. Chicago: Chicago University Press, 1993.

Kempf, Eugen Karl. *Wind Ripples Occurring in Southwest Afghanistan (Sistan)*. 1969. Publikováno pod licencí CC BY-SA 3.0. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1969_Afghanistan_\(Sistan\)_wind_ripples.tiff](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1969_Afghanistan_(Sistan)_wind_ripples.tiff).

Kitcher, Philip. “Explanatory Unification.” *Philosophy of Science* 48, no. 4 (1981): 507–31. <https://doi.org/10.1086/289019>.

Kostić, Daniel. “General Theory of Topological Explanations and Explanatory Asymmetry.” *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 375, no. 1796 (2020). <https://doi.org/10.1098/RSTB.2019.0321>.

Kostić, Daniel. “Mechanistic and Topological Explanations: An Introduction.” *Synthese* 195, no. 1 (2018): 1–10. <https://doi.org/10.1007/S11229-016-1257-Z/METRICS>.

Lange, Marc. “Asymmetry as a Challenge to Counterfactual Accounts of Non-Causal Explanation.” *Synthese* 198, no. 4 (2021): 3893–3918. <https://doi.org/10.1007/S11229-019-02317-3/FIGURES/2>.

Lange, Marc. *Because Without Cause: Non-Causal Explanations in Science and Mathematics*. Oxford: Oxford University Press, 2017.

Lange, Marc. “Because Without Cause: Scientific Explanations by Constraint.” In *Explanation Beyond Causation*, edited by Alexander Reutlinger and Juha Saatsi, 15–38. Oxford: Oxford University Press, 2018.

Levy, Arnon. “Idealization and Abstraction: Refining the Distinction.” *Synthese* 198, no. 24 (2021): 5855–72. <https://doi.org/10.1007/S11229-018-1721-Z/METRICS>.

Levy, Arnon. “Three Kinds of New Mechanism.” *Biology & Philosophy* 28, no. 1 (2013): 99–114. <https://doi.org/10.1007/s10539-012-9337-z>.

Levy, Arnon, and William Bechtel. “Abstraction and the Organization of Mechanisms.” *Philosophy of Science* 80, no. 2 (2013): 241–61. <https://doi.org/10.1086/670300>.

Love, Alan C., and Marco J. Nathan. "The Idealization of Causation in Mechanistic Explanation." *Philosophy of Science* 82, no. 5 (2015): 761–74.
<https://doi.org/10.1086/683263>.

Machamer, Peter, Lindley Darden, and Carl F. Craver. "Thinking about Mechanisms." *Philosophy of Science* 67, no. 1 (2000): 1–25.
<https://doi.org/10.1086/392759>.

Mäki, Uskali. "MISSing the World. Models as Isolations and Credible Surrogate Systems." *Erkenntnis* 70, no. 1 (2009): 29–43.
<https://doi.org/10.1007/s10670-008-9135-9>.

Mäki, Uskali. "On the Method of Isolation in Economics." In *Idealization IV: Intelligibility in Science*, edited by Craig Dilworth, 319–54. Amsterdam: Rodopi, 1992.

Makovník, Dalibor. "Hempelove štandardné príklady na nekauzálnu explanáciu vo svetle Skowowej teórie kauzálnnej explanácie." *Filozofia* 77, no. 5 (2022): 311–24.
<https://doi.org/10.31577/FILOZOFIA.2022.77.5.1>.

Makovník, Dalibor. "Non-Causal Explanation: Hempel's Legacy and Its Modern Versions." *Filozofia* 76, no. 10 (2021): 752–65.
<https://doi.org/10.31577/FILOZOFIA.2021.76.10.2>.

Maziarz, Mariusz, and Martin Zach. "Assessing the Quality of Evidence from Epidemiological Agent-Based Models for the COVID-19 Pandemic." *History and Philosophy of the Life Sciences* 43, no. 1 (2021): 10.
<https://doi.org/10.1007/s40656-020-00357-4>.

Morgan, Mary S., and Margaret Morrison, eds. *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

Morrison, Margaret. "Modelling Nature: Between Physics and the Physical World." *Philosophia Naturalis* 35, no. 1 (1998): 65–85.

Morrison, Margaret. *Reconstructing Reality: Models, Mathematics, and Simulations*. Oxford: Oxford University Press, 2015.

Pincock, Christopher. "A Role for Mathematics in the Physical Sciences." *Noûs* 41, no. 2 (2007): 253–75. <https://doi.org/10.1111/J.1468-0068.2007.00646.X>.

Pincock, Christopher. "Abstract Explanations in Science." *The British Journal for the Philosophy of Science* 66, no. 4 (2015): 857–82.
<https://doi.org/10.1093/BJPS/AXU016>.

Portides, Demetris. "Idealization and Abstraction in Scientific Modeling." *Synthese* 198, no. 24 (2021): 5873–95. <https://doi.org/10.1007/S11229-018-01919-7>/METRICS.

Potochnik, Angela. *Idealization and the Aims of Science*. Chicago: University of Chicago Press, 2017.

Psillos, Stathis. "Living with the Abstract: Realism and Models." *Synthese* 180, no. 1 (2011): 3–17. <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9563-3>.

Reutlinger, Alexander. "Extending the Counterfactual Theory of Explanation." In *Explanation Beyond Causation*, edited by Alexander Reutlinger and Juha Saatsi, 74–95. Oxford: Oxford University Press, 2018.

Reutlinger, Alexander, and Holly Andersen. "Abstract versus Causal Explanations?" *International Studies in the Philosophy of Science* 30, no. 2 (2016): 129–46. <https://doi.org/10.1080/02698595.2016.1265867>.

Reutlinger, Alexander, and Juha Saatsi, eds. *Explanation Beyond Causation*. Oxford: Oxford University Press, 2018.

Rice, Collin C. "Moving Beyond Causes: Optimality Models and Scientific Explanation." *Noûs* 49, no. 3 (2015): 589–615. <https://doi.org/10.1111/nous.12042>.

Salmon, Wesley. *Causality and Explanation*. Oxford: Oxford University Press, 1998.

Skow, Bradford. "Are There Non-Causal Explanations (of Particular Events)?" *The British Journal for the Philosophy of Science* 65, no. 3 (2014): 445–67. <https://doi.org/10.1093/BJPS/AXS047>.

Smith, Peter. *Explaining Chaos*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

Teller, Paul. "Twilight of the Perfect Model Model." *Erkenntnis* 55, no. 3 (2001): 393–415. <https://doi.org/10.2307/20013097>.

Thomson-Jones, Martin. "Missing Systems and the Face Value Practice." *Synthese* 172, no. 2 (2010): 283–99. <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9507-y>.

Toon, Adam. *Models as Make-Believe*. London: Palgrave Macmillan, 2012. <https://doi.org/10.1057/9781137292230>.

Weisberg, Michael. *Simulation and Similarity*. Oxford: Oxford University Press, 2013. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199933662.001.0001>.

Werner, B. T., and G. Kocurek. "Bedform Spacing from Defect Dynamics." *Geology* 27, no. 8 (1999): 727–30. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1999\)027<0727:BSFDD>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027<0727:BSFDD>2.3.CO;2).

Woodward, James. *Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

Yoshimura, Jin. "The Evolutionary Origins of Periodical Cicadas During Ice Ages." *The American Naturalist* 149, no. 1 (1997): 112–24. <https://doi.org/10.1086/285981>.

Zach, Martin. "Revisiting Abstraction and Idealization: How Not to Criticize Mechanistic Explanation in Molecular Biology." *European Journal for Philosophy of Science* 12, no. 1 (2022): 1–20. <https://doi.org/10.1007/S13194-022-00453-1>.

Zámečník, Lukáš. "Towards a Universal Account of Asymmetry in Non-Causal." *Filozofia* 76, no. 6 (2021): 407–22. <https://doi.org/10.31577/FILOZOFIA.2021.76.6.2>.