

Vznik kooperácie vo väzňovej dileme

MATÚŠ HALÁS

Evolution of Cooperation in the Prisoner's Dilemma

Abstract: This text offers a review of the literature on the evolution of cooperation in the Prisoner's Dilemma. The scope of the article is limited to the two-person repeated game and with respect to the emergence of cooperation it is focused upon the mechanism of direct reciprocity. The results of mathematical analysis and those of the related agent-based models are presented side by side. The various ways of examining the success of strategies are the dominant topic in the first part of the article. The second part describes multi-agent simulations and their outcomes and argues that the three most important factors (at least from the international relations point of view) influencing prospects of cooperation are noise, the structure of interactions, and the payoff matrix.

Key words: Prisoner's Dilemma, cooperation, agent-based models, multi-agent simulations, evolutionary stability.

Väzňova dilema sa v druhej polovici 20. storočia aj vďaka úspešnému rozšíreniu teórie hier z ekonómie do mnohých ďalších (nielen) sociálnych vied stala štandardným modelom skúmania mnohých sociálnych situácií, v ktorých individuálne racionálne konanie vedie ku kolektívne suboptimálnemu výsledku. V odbore medzinárodných vzťahov dnes táto nekooperatívna hra slúži napríklad ako metafora bezpečnostnej dilemy či pretekov v zbrojení (Snyder 1971; Jervis 1982). Zároveň je to ale stále len jedna z veľkého množstva známych hier. Zdanlivo tu teda neexistuje dôvod venovať jej zvýšenú pozornosť a uprednostniť ju pred povedzme lovom na jeleňa (*Stag hunt*), zbabelcom (*Chicken*), či patom (*Deadlock*). O to viac ak práve týmto alternatívnym hrám zodpovedajú mnohé situácie v medzinárodných vzťahoch. Pokiaľ však Hobbesov popis prirodzeného stavu (1998), v ktorom absentuje centrálna autorita vynucujúca dodržiavanie dohôd, prijmem ako adekvátnu metaforu pre samotné anarchické prostredie štátov, nadobudne väzňova dilema rýchlo osobitné postavenie v porovnaní s ostatnými hrami. Ako totiž Taylor ukázal: „Hobbes predpokladá také voľby stojace pred človekom (či ‚hráčom‘) a také preferencie medzi možnými výsledkami, ako sú v hre väzňova dilema. Väzňova dilema je teda *jediná* štruktúra úžitkov (spomedzi veľkého množstva možností), ktorú *musel* mať Hobbes na mysli“ (1987: 129; dôraz v origináli). Nič nás pritom nenúti prevziať aj ním vyvedené pesimistické dôsledky daného rozpoloženia, tak ako to urobili o niekoľko storočí neskôr realisti. Plne postačí výstižný popis tohto prirodzeného stavu.

		Hráč B	
		Spolupráca	Podvod
Hráč A	Spolupráca	R, R	S, T
	Podvod	T, S	P, P

Matica výplat

Základom väzňovej dilemy je situácia, v ktorej majú dvaja aktéri na výber medzi spoluprácou (*cooperation* = *C*) a podvádzaním (*defection* = *D*), čím vzniká matica so štyrmi výplatami *R* (*reward*), *S* (*sucker*), *T* (*temptation*) a *P* (*punishment*). Aby hra spĺňala podmienky väzňovej dilemy, jej výplaty musia zoradené zostupne podľa veľkosti zodpovedať postupnosti $T > R > P > S$ a navyše by malo platiť, že $2R > T + S$. Za takejto situácie je potom pre oboch aktérov v jednorazovej hre individuálne výhodnejšie podvádzať, a to bez ohľadu na konanie protivníka. Toto individuálne racionálne konanie však vedie k Pareto suboptimálnej výplate *P*, ktorá tvorí jediný bod Nashovej rovnováhy. Jadro dilemy potom spočíva vo fakte, že existuje iná výplata *R* za vzájomnú spoluprácu, ktorá by zaistila obojmu aktérom vyšší zisk. Článok sa venuje tomu, ako túto výplatu dosiahnuť za podmienky opakovaných interakcií.

Vzhľadom na rozšírenie teórie hier a uplatniteľnosť problematiky spolupráce vo väzňovej dileme sa nemožno čudovať obrovskému množstvu publikácií na danú tému v rôznych vedných odboroch (viď prehľadové štúdie Axelrod – Dion 1988; Hoffmann 2000; Gotts – Polhill – Law 2003; Macy – Willer 2002; Fehr – Fischbacher 2003; Doebeli – Hauert 2005). Drvivá väčšina publikácií na tému kooperácia však nemá viac než tridsať rokov, keďže systematický výskum problematiky sa začal až po uverejnení článkov Roberta Axelroda (1980a, 1980b), v ktorých priblížil výsledky dvoch turnajov rôznych stratégií súperiacich v opakovanej väzňovej dileme. Dôsledkom rapídneho rastu publikácií je ale nutná redukcia tém a problémov, ktorým sa možno venovať v takejto prehľadovej štúdii. Nebudem sa preto napríklad zaoberať výsledkami rôznych psychologických laboratórnych experimentov skúmajúcich kooperatívnosť a recipročné správanie participantov, ale sústreďím sa radšej na prúd, ktorý naštartoval samotný Axelrod a ktorý pri získavaní dát využíva počítačové simulácie. Kvôli nízkej uplatniteľnosti v sfére medzinárodných vzťahov nebudú mojim primárnym záujmom ani rozličné evolučné procesy simulujúce zmenu zloženia súboru používaných stratégií pomocou rôznych pravidiel regulujúcich replikáciu aktérov.

Podobne dnes poznáme niekoľko alternatívnych mechanizmov (Nowak 2006), ktoré môžu viesť k vzniku a dlhodobej stabilizácii stavu vzájomnej spolupráce ako jednej zo štyroch možných konečných situácií vo väzňovej dileme (výplata *R*, t.j. *reward*).¹ Z nich je na prostredie štátov najlepšie aplikovateľným mechanizmus priamej reciprocity (*direct reciprocity*). Ten stojí na predpoklade opakovaných binárnych interakcií aktérov v rámci širšieho kolektívu hráčov (opakom je problém *kolektívneho jednania*, viď Olson 1971), čím sa vytvárajú podmienky pre úspech stratégií opätujúcich predchádzajúce správanie súpera. Jestvuje ale množstvo rôznych reaktívnych stratégií, ktoré môžu viesť k vzniku takejto vzájomnej spolupráce, a to za neraz odlišných podmienok. Cieľom tohto článku by malo byť poskytnúť základný prehľad toho, ako klasifikovať úspešnosť stratégií a aké okolnosti ju ovplyvňujú. Za určitých podmienok je napríklad vysoko úspešnou stratégia TFT (*oko za oko*, anglicky *tit-for-tat*), ktorá v každom kole hry opakuje predchádzajúci krok súpera. Ak však prostredie zahŕňa malé množstvo neistoty, TFT prestáva byť úspešnou pri stabilizácii spolupráce a efektívnou sa stáva stratégia odpúšťajúca isté množstvo podvádzaní bez potrestania.

V odbornej literatúre možno nájsť dva spôsoby, ako skúmať kooperatívne správanie aktérov. Na jednej strane tu je cesta deduktívnej matematickej analýzy, ktorá sa zaoberá predovšetkým kritériami úspešnosti jednotlivých stratégií pri udržiavaní vzájomnej spolupráce v rozličných prostrediach, kde dôležitú úlohu častokrát zohráva práve neistota. Medzi tieto kritériá úspešnosti patria vlastnosti ako (kolektívna) neporaziteľnosť, kolektívna stabilita, či (limitne) evolučná stabilita. Im sa budem venovať v nasledujúcej, prvej časti tohto článku. Netreba si ich pritom ale plietť s neraz úzko súvisiacimi a vyššie spomenutými evolučnými procesmi. U tých prvých ide v podstate o popis stabilného stavu nejakej skupiny, kým u tých druhých zas o popis procesu zmeny jej zloženia.

Odlišným spôsobom skúmania kooperácie je induktívna cesta multiagentových simulácií. Tá sa sústreďuje najmä na zisťovanie vplyvu rôznych charakteristík modelovaného

prostredia na rozsah vzájomnej kooperácie aktérov a na veľkosť ziskov jednotlivých stratégií. Ide pritom predovšetkým o situácie, keď pre komplexnosť parametrov nejakého modelu nie je možné využiť deduktívnu analýzu. Druhá časť článku sa tak venuje práve týmto multiagentovým simuláciám, pričom spomedzi rozličných charakteristík prostredia venujem opäť pozornosť už uvedenej neistote, ďalej štruktúre interakcií a napokon modifikácii výplat. Užitočnosť ostatných faktorov vplyvujúcich na vzájomnú spoluprácu je z pohľadu uplatniteľnosti v nejakom modeli systému medzinárodných vzťahoch otázná. Tento text by pritom mal byť pomôckou práve pri takejto potenciálnej snahe navrhnuť model interakcií medzi štátmi.

MATEMATICKÁ ANALÝZA A KRITÉRIA ÚSPEŠNOSTI

Vzhľadom na temer dokonalú absenciu výuky teórie hier a matematických metód (s výnimkou štatistiky) na vysokoškolskom stupni štúdia politických vied, no rovnako aj pre vlastnú opakovanú neschopnosť pochopiť mnohé (neskôr zjavne banálne) výpočty, hodno na úvod odporučiť aspoň niekoľko kníh slúžiacich na zoznámenie so základnými pojmami, dôkazmi a spôsobmi riešenia niektorých problémov. Jednou z najlepších dnes ešte stále zostáva *Game Theory for Political Scientists* (Morrow 1994). Ďalšími vhodnými knihami z oblasti politológie sú napríklad *Political Game Theory* (McCarty – Meirowitz 2007), či *Game Theory and Political Theory: An Introduction* (Ordeshook 1986). Napokon Varoufakis a Hargreaves Heap (2004) sa pozreli na teóriu hier z kritickejšieho uhlu pohľadu a zasadili ju do širšieho kontextu sociálnych vied.

Ako som už spomenul, v jednorazovej väzňovej dileme je jediným racionálnym riešením podvádzanie. Vďaka spätnej indukcií a spoločnému vedomiu racionality (*common knowledge of rationality*) platí to isté i pre konečný počet opakovaní. Vediac, ako dopadne posledné kolo, stáva sa podvádzanie v predposlednom kole opäť tou voľbou, ktorá maximalizuje individuálny úžitok oboch aktérov. Späťne tak dospejeme až k prvému opakovaniu ukazujúc, že podvádzanie je jediné racionálne konanie aj pri konečnom počte opakovaní. To neplatí v prípade, ak aspoň jeden aktér nemá istotu o protihráčovej racionalite. V takom prípade je kooperácia možná i v hre s konečným počtom opakovaní (Kreps et al. 1982).

Situácia je ale diametrálne odlišná, ak aktéri vopred nepoznajú počet opakovaní danej hry. V takom prípade sa výplaty z budúcich opakovaní zvyčajne násobia tzv. diskontným faktorom (w), ktorý možno chápať aj ako pravdepodobnosť výskytu ďalšieho kola interakcií, no správne by sme pod ním mali rozumieť hodnotu budúcich výplat v pomere k rovnakej veľkosti tých súčasných. Tento faktor sa pohybuje na intervale $(0, 1)$, a čím viac sa blíži k 1, tým dlhší je tzv. tieň budúcnosti (*shadow of the future*). Inými slovami, tým väčšia je dôležitosť budúcich výplat, resp. pravdepodobnosť budúcich interakcií. Pri dostatočne veľkom w potom podvádzanie prestáva byť najlepšou stratégiou jednania, a teda, ako dokázal Axelrod (1981: 309), neexistuje žiadna **neporaziteľná stratégia**. Neporaziteľnú stratégiu pritom treba chápať ako takú, v porovnaní s ktorou nemôže jestvovať lepšia odpoveď na akúkoľvek inú stratégiu, ktorú by mohol použiť protivník. Jednoduchou úpravou niekoľkých nekonečných geometrických radov tak zistíme, že v prípade ak je $w > (T - R) / (T - P)$, potom žiadna priateľská (t.j. taká, ktorá sama nikdy neinicuje podvádzanie) a ani zákerná stratégia nemôže byť neporaziteľnou. I keď sa neexistencia absolútne najlepšej stratégie javí na prvý pohľad dosť pesimisticky, treba si uvedomiť, že to v konečnom dôsledku znamená príležitosť pre kooperáciu. Na rozdiel od hry s neznámym počtom opakovaní bolo totiž v jednorazovej hre neporaziteľným konaním práve podvádzanie. Zároveň fakt neexistencie absolútne najlepšej stratégie neznamená, že nemôžu jestvovať takpovediac relatívne najlepšie stratégie. Teda také, ktoré sú najlepšie len za určitých podmienok, napríklad ak vieme presne, aké stratégie používajú ostatní aktéri v skupine.

Jedným z pokusov o formalizáciu kritéria úspešnosti, ktoré by bolo menej náročné než spomínaná neporaziteľnosť, je tzv. **kolektívna stabilita** (Axelrod 1981). Toto kritérium

stratégia splňa, pokiaľ v prípade, že ju používajú aj všetci ostatní hráči v nejakej skupine, dokáže zmarit úspech každého individuálneho útoku aktéra používajúceho nejakú inú stratégiu. Dôležitý je tu zároveň určitý analytický posun z roviny individuálnej na skupinovú, keďže úspešnosť stratégie sa už podmieňuje prostredím, v akom funguje, o čom svedčí práve prívlastok *kolektívna*. Ak teda chápeme V ako sumu celkových výplat z opakovaných interakcií, tak stratégia A je kolektívne stabilná, pokiaľ pre akúkoľvek stratégiu B s ňou súperiacu platí, že:

$$V(A|A) \geq V(B|A) \quad (1)$$

Ak frekvencia stratégie závisí od jej úspešnosti v predošlých interakciách (to je miesto pre konkrétny evolučný proces), početnosť aktérov používajúcich stratégiu A sa nebude znižovať, pretože napádajúci aktér B nemôže dosiahnuť vyššie zisky než navzájom dosahujú aktéri používajúci dominantnú stratégiu A . Zároveň musí byť zrejmé, že každá kolektívne stabilná stratégia je sama so sebou v Nashovej rovnováhe, keďže jednostranná zmena stratégie nemôže viesť k zvýšeniu dosiahnutej výplaty.

Jedným z dôležitých výsledkov Axelrodovej analýzy bolo tiež zistenie, že stratégia TFT je za určitých podmienok kolektívne stabilnou. Táto stratégia, ktorá v prvom kole spolupracuje a následne len opakuje protivníkovu konanie, vyhrala oba jeho počítačové turnaje a je stabilnou ak:

$$w \geq \max \left\{ \frac{T-R}{R-S}, \frac{T-R}{T-P} \right\} \quad (2)$$

Argument predpokladá, že pokiaľ TFT dokáže odolať neustále podvádzajúcej stratégii ALLD (*always defect*) ako aj stratégii, ktorá podvádza len v jednom kole, potom dokáže odolať každej zákernej stratégii v zmysle kolektívnej stability. Nakoľko ani žiadna priateľská stratégia nemôže získať vyššie skóre než TFT, bude „oko za oko“ tvoriť bod Nashovej rovnováhy (pre dôkaz viď Morrow 1994: 265; či Axelrod 1981: 311).

Problémom však je, že TFT nie je jedinou kolektívne stabilnou stratégiou. Je ňou napríklad aj ALLD, a to bez ohľadu na veľkosť w , pričom napríklad TFT dokáže úspešne napadnúť skupinu používajúcu ALLD stratégiu, len ak je TFT aktérov viac a ak sú ich vzájomné interakcie nejakým spôsobom štruktúrované. Inými slovami, ak navzájom interagujú s väčšou pravdepodobnosťou, než udáva ich relatívna početnosť. Vzhľadom na vzťah medzi kolektívnou stabilitou a Nashovou rovnováhou v skutočnosti niet divu, že pri splnení určitých podmienok pre w jestvuje mnoho ďalších kolektívne stabilných stratégií vrátane viacerých priateľských (Bendor – Swistak 1997: 291 a 296). Takzvaná ľudová teórema (*folk theorem*) totiž hovorí o prijateľnosti akéhokoľvek individuálne racionálneho výsledku dostatočne mnohokrát opakovanej hry ako možného Nashovho rovnovážneho bodu (viď napríklad Fudenberg – Maskin 1986). Individuálne racionálny výsledok pritom v zmysle maximalizácie úžitku predstavuje také rozdelenie ziskov, ktoré je pre aktéra Pareto efektívnejšie než výsledok dosiahnutý minimax stratégiou v rámci jednorazovej hry. Inými slovami to v krátkosti znamená, že v prostredí vážnovej dilemy je možný de facto každý výsledok lepší než vzájomné podvádzanie, pokiaľ sa pripustí dostatočné množstvo budúcich odvet, ktoré v konečnom dôsledku vymažú prípadný prospech z odklonu od stanovenej cesty.

A tak i keď Axelrod (1981) analyticky ukázal, že spolupráca môže byť za určitých podmienok stabilným výsledkom vážnovej dilemy i bez vynucovania nejakou autoritou, jeho koncept kolektívnej stability vykazoval presne opačný problém než myšlienka neporazitelnosti. Bol príliš široký. Navyše sa s ňou spájali ďalšie problémy. V prvom rade umožňovala tzv. neutrálny posun k iným stratégiám, ktoré síce získavali vo vzájomných interakciách presne rovnaké výplaty (odtiaľ *neutrálne*) ako prevládajúca stratégia (ALLC) nespĺňa nerovnicu (1), no získava totožné výplaty pri interakciách s TFT ako hráči používajúci TFT medzi sebou. Je preto schopná v takom prostredí pretrvať.

Kolektívna stabilita bola navyše často zamieňaná s evolučnou stabilitou, ktorú navrhli Maynard Smith a Price (1973: 17). Sú vskutku podobné, ale vykazujú niekoľko podstatných odlišností. Základným rozdielom je, že **evolučná stabilita** je o niečo náročnejšia² a tvorí len podmnožinou kolektívnej stability. Nie každý bod Nashovej rovnováhy je teda nutne aj evolučne stabilný. Evolučne stabilné stratégie zároveň nie sú náchylné k neutrálnemu posunu. Napríklad stratégia TFT evolučne stabilnou nie je práve kvôli možnosti neutrálneho posunu k veľkorysejším stratégiám, ktoré odpúšťajú určitý počet podvádzaní bez potrestania, a robia tak skupinu napadnuteľnou zákernými stratégiami, ktoré využívajú takýchto, v skupine prežívajúcich veľkorysých hráčov (Selten – Hammerstein 1984). Existencia neutrálneho posunu pri všetkých nepravdepodobnostných stratégiách (t.j. tých, u ktorých konkrétne rozhodnutia nenastávajú len s istou pravdepodobnosťou) ale v konečnom dôsledku značí nemožnosť existencie evolučnej stability u tohto typu pravidiel (Bendor – Swistak 1995: 3598).

To isté sa snažili ukázať i Boyd s Lorberbaumom (1987), no ich definícia evolučnej stability bola opäť o niečo iná než tá pôvodná. Podľa nich by bola stratégia stabilnou len vtedy, ak by aj v prípade prítomnosti neutrálneho posunu platilo, že suma výplat brániacej sa stratégii pri interakciách s akoukoľvek treťou stratégiou je aspoň taká veľká ako suma výplat neutrálneho posunu a danej tretej stratégie. Pri závislosti frekvencie stratégií od ich úspechu by tak nedochádzalo k zmene relatívnych početností. Ako sa však ukázalo (Bendor – Swistak 1995: 3597), Boydove a Lorberbaumove chápanie evolučnej stability de facto znamená **kolektívnu neporaziteľnosť**.³ Ich hlavným výsledkom následne bolo, že neexistuje nepravdepodobnostná stratégia spĺňajúca dané podmienky, pokiaľ platí:

$$w > \min \left[\frac{P - S}{R - S}, \frac{T - R}{T - P} \right] \quad (3)$$

Dôkaz absencie takejto neporaziteľnosti potom Farrell a Ware (1989) spoločne s Lorberbaumom (1994) rozšírili aj na všetky pravdepodobnostné stratégie.

Neexistencia kolektívnej neporaziteľnosti je tu vlastne len rozšírením Axelrodovho tvrdenia o absencii najlepšej stratégie, pretože: „Ak dve stratégie [A a B] interagujú jedna s druhou rovnakým spôsobom ako sami so sebou [t.j. neutrálny posun], ich relatívna zdatnosť závisí od ich interakcií s ostatnými stratégiami [C]. Keďže žiadna nemôže byť najlepšou stratégiou voči akejkoľvek inej novej tretej stratégii [neexistencia individuálnej neporaziteľnosti], žiadna nepravdepodobnostná stratégia nedokáže odolať útokom všetkých kombinácií stratégií [B, C]“ (Boyd – Lorberbaum 1987: 59). V praxi to znamená, že tak kolektív používajúci stratégiu TFT, ako aj ten používajúci pravidlo ALLD, je napadnuteľný koordinovaným útokom stratégií TF2T a STFT,⁴ a to i bez akokoľvek štruktúrovaných interakcií (Boyd – Lorberbaum 1987: 59). Na rozdiel od verzie Maynard Smitha a Pricea je tu samozrejme predpokladom súčasné napadnutie dvoma rôznymi stratégiami, keďže ale STFT je neutrálnym posunom voči ALLD a TF2T zas voči TFT, takýto scenár sa stáva vysoko reálnym vďaka schopnosti neutrálneho posunu takpovediac čakať na vhodnú príležitosť.

Celú problematiku rôznych podôb stability veľmi dobre zhrnuli už niekoľkokrát spomínaní Bendor a Swistak (1995, 1997). Odlíšili stratégie, ktoré sú striktné (*strongly*) evolučne stabilné, od tých, čo sú stabilné len voľne (*weakly*). Prvé z nich zodpovedajú stabilite, ako ju definovali Maynard Smith a Price (1973), a vedú postupne k vytlačeniu konkurenta z kolektívu. Tým druhým postačuje, ak sa frekvencia konkurenta nezvyšuje (ide o zmenu znamienka nerovnosti v poslednom výraze v 2. poznámke z „väčšieho“ na „väčší alebo rovný“). Logicky je potom stabilita podľa Boyda a Lorberbauma (1987) vlastne voľne evolučne stabilnou stratégiou pri akomkoľvek evolučnom procese (Bendor – Swistak 1995: 3598).

Ak ale teda neexistuje ani striktné, ani voľne evolučne stabilná stratégia, aký význam má potom vôbec takýto koncept? V skutočnosti voľne stabilné stratégie jestvujú a je ich

mnoho, no sú stabilné len pri určitých evolučných procesoch, a nie pri všetkých ako vyžadovali Boyd s Lorberbaumom. Napríklad pri najpoužívanejšom evolučnom mechanizme, ktorým je pravidlo proporčnej zdatnosti (*proportional fitness rule*), keď sa frekvencia stratégií mení v závislosti od pomeru ich ziskov k priemerným ziskom v skupine (Taylor – Jonker 1978; viď tiež Hofbauer – Sigmund 1998: 67ff), sú všetky „priateľské a trestajúce stratégie najrobustnejšími voľne evolučne stabilnými stratégiami“ (Bendor – Swistak 1995: 3600). Ich relatívna frekvencia nutná pre stabilizáciu stratégie v skupine proti útokom inej stratégie (t.j. robustnosť) sa blíži k 0.5 spolu s w blížiacim sa k 1. No a keďže stratégia TFT je aj trestajúcou aj priateľskou, vyššie uvedené platí takisto pre ňu.

Poukázali sme tak na určitú komparatívnu výhodu priateľských a zároveň trestajúcich stratégií, ku ktorým patrí i TFT. Pri hodnotení týchto stratégií však treba brať do úvahy, aké kritérium úspešnosti používame. Kým (kolektívna) neporaziteľnosť bola príliš náročnou podmienkou na splnenie, kolektívna stabilita bola zas naopak konceptom príliš širokým. Zdalo sa, že priveľká reštriktivnosť je prítomná i v prípade evolučnej stability, no istá jej forma v spojení s pravidlom proporčnej zdatnosti sa ukázala byť schodnou cestou. Deduktívna matematická analýza tak dokázala na celú skupinu stratégií úspešne zovšeobecniť to, čo Axelrod, ako neskôr ukážem, induktívne zistil vo vzťahu k TFT: „Plne kooperatívny rovnovážny stav je skutočne evolučne zvýhodnený. Pozitíva tohto efektívneho riešenia však prichádzajú za cenu trvalej vyprovokovateľnosti“ (Bendor – Swistak 1997: 301). Mimo to tu ale ešte zostala otázka pravidla proporčnej zdatnosti a jeho uplatniteľnosti na interakcie medzi štátmi.

Prítomnosť evolučných mechanizmov ako spôsobu zmeny súboru používaných stratégií, a to hoc i v podobe pravidla proporčnej zdatnosti, je totiž v medzinárodných vzťahoch značne diskutabilná. Ak by sme sa aj na takýto nejaký mechanizmus dívali ako na metaforu imitácie, či učenia, ktoré sú však obvykle formalizované odlišným spôsobom, aj tak by sme museli čeliť námietke, že v medzinárodných vzťahoch učenie príliš nefunguje. Dalo by sa hovoriť o socializácii, a tým možno aj o preberaní určitých stratégií, to sa ale deje v omnoho štruktúrovanejšom prostredí (geografická blízkosť štátov; rozloženie spôsobilostí a pod.), než predpokladajú spomenuté výsledky stojace na pravidle proporčnej zdatnosti. Na vyriešenie tohto problému samotná matematická analýza nepostačuje. Otvára to ale ideálny priestor pre simulácie založené na agentovo orientovaných modeloch.

Neistota a veľkorysosť

Slabinou hore uvedených analýz je tiež úplná absencia čo i len minimálneho výskytu systémovej neistoty (doslovný preklad anglického výrazu *noise* by bol asi *šum*). Tá sa zvyčajne prejavuje, formalizuje a chápe ako sklon k chybovosti, a to tak, že aktér s malou pravdepodobnosťou súperovo podvádzanie interpretuje ako spoluprácu, prípadne sám spolupracuje namiesto zamýšľaného podvádzania (alebo naopak v oboch prípadoch). Tieto prejavy neistoty, tak v podobe mylnej interpretácie súperovho konania, ako aj v podobe nedokonalého vykonania vlastného rozhodnutia, sú bežné medzi ľuďmi i v medzinárodných vzťahoch. Bez ich pomoci by bolo len ťažko možné plne vysvetliť dianie v prvé dni po útoku Nemecka na Sovietsky zväz, zostrelenie kórejského civilného lietadla nad Sachalinom, dôvody pre začatie vojny v Iraku, priebeh bitky o Dunkerque, či incident v Tonkinskom zálive.

U niektorých stratégií, akou je napríklad TFT, sú pritom dôsledky oboch prejavov neistoty v princípe rovnaké. Jej prítomnosť vedie dvoch interagujúcich hráčov používajúcich túto stratégiu k odklonu od vzájomnej spolupráce. Pokiaľ je hra dostatočne dlhá, dvaja TFT aktéri skončia s priemernou sumou výplat na kolo rovnou $(T + R + P + S)/4$, a to bez ohľadu na veľkosť šumu (Molander 1985: 612). Z pohľadu kooperácie je zaujímavé, že daná priemerná výplata je aj priemernou výplatou dvoch aktérov, ktorí volia medzi spoluprácou a podvádzaním čisto náhodne. Spôsobom prekonania chýb plynúcich zo systémovej neistoty je napríklad veľkorysosť (*generosity*), t.j. odpúšťanie podvodu bez

jeho potrestania. To však vedie k zneužívateľnosti zákernými stratégiami. Tento elementárny výmenný obchod medzi spoluprácou a zneužívateľnosťou (Axelrod – Dion 1988) analyzoval Bendor (1993) pri spoločnom predpoklade oboch druhov chýb a dospel k záveru, že menšia než absolútna zneužívateľnosť je možná, len ak sa zmierime s menšou než bezpodmienečnou kooperáciou. Hráči, ktorí nechcú byť využitelní, totiž musia byť do určitej miery vyprovokovateľní (musia opätovať podvádžanie). Takíto aktéri sú ale zároveň náchylní k vyprovokovateľnosti aj konaním spôsobeným neistotou, čo má za následok zníženie výplat. No neistota nemusí mať zďaleka len negatívne dôsledky. Môže na kooperáciu vplývať tiež pozitívne (Bendor – Kramer – Swistak 1996: 334–335; Bendor 1993).

Vieme, že neutrálny posun znemožňuje evolučnú stabilitu v podobe, v akej bola pôvodne definovaná, a tak Selten (1983) prišiel pri skúmaní rozšírenej formy hier s konceptom tzv. trasúcej sa ruky (*trembling hand*), keď podobne ako v realite existuje aspoň minimálna šanca, že aktér omylom uplatní akékoľvek v danej chvíli dostupné konanie. S určitou malou pravdepodobnosťou tak môže nastať akýkoľvek koncový stav hry, čo umožňuje odlišovať správanie prípadných neutrálnych posunov (viď Selten 1983, najmä s. 300 a 312). Nepriamo z toho plynie existencia evolučnej stability. Na analýzu hier s možnosťou chýb preto vytvoril tzv. **limitnú evolučne stabilnú stratégiu**, ktorá je limitou série klasických evolučne stabilných stratégií v hrách, pre ktoré platí, že pravdepodobnosť chyby sa v sérii týchto hier postupne znižuje k 0 (Selten 1983: 271 a 303). Táto limitná stabilita predstavuje „zovšeobecnenie konceptu evolučne stabilnej stratégie na rozšírenú formu symetrických hier s dvoma aktérmi“ (Selten 1983: 271).

To, že evolučná stabilita je vďaka chybám vo vykonávaní rozhodnutí vskutku možná, preukázal i Boyd (1989), čím svojim spôsobom potvrdil možný pozitívny dopad neistoty. Dôkaz je jednoduchý a spočíva na fakte, že ak je stratégia jedinou možnou najlepšou odpoveďou pri interakcii so sebou samou v prostredí s neistotou (a teda neexistuje neutrálny posun), tak potom je i evolučne stabilnou za podmienky, že relatívne početnosti útočiacich stratégií sú dostatočne malé. Boyd tiež ukázal niektoré príklady evolučnej stability v takomto chybovom prostredí. Boli nimi bezpodmienečné podvádžanie a istá verzia Axelrodovho víťaza (CTFT podľa *contrite-TFT*; pravidlo navrhol Sugden 2004: 116–117). Hráč používajúci CTFT stratégiu dokáže na základe posúdenia svojho rozpoloženia (ľútosť, spokojnosť, alebo vyprovokovanosť) opraviť vlastné chyby v implementácii rozhodnutí, čím prekonáva neistotu a ďalej kooperuje so svojim dvojníkom. CTFT však nedokáže napraviť vlastnú chybu v interpretácii.

Iní (Boerlijst – Nowak – Sigmund 1997) zas ukázali, že evolučne stabilnou môže byť v neistom prostredí s chybami vo vykonávaní rozhodnutí aj tzv. Pavlovova stratégia, tiež známa pod skratkou WSLs (viď tiež Fudenberg – Maskin 1990; Kraines – Kraines 1989). Tá spolupracuje po vzájomnej kooperácii alebo vzájomnom podvádzaní a podvádza v ostatných prípadoch. Mení tak svoje konanie na spôsob Pavlovovho reflexu vždy po negatívnom podnete (nízka výplata), a po pozitívnom naopak pokračuje v aktuálnom konaní. Pri interakciách s iným WSLs hráčom dokáže práve vďaka svojej reflexívnosti prekonať oba prejavy neistoty. V prostredí s malým množstvom chýb vo vykonávaní rozhodnutia spĺňa WSLs podmienku evolučnej stability, ak platí:

$$w > \frac{T - R}{R - P} \quad (4)$$

V takomto prostredí s istou pravdepodobnosťou nastáva každý zo štyroch možných stavov (CC, CD, DC a DD). Ak môže súper používať inú než Pavlovovu stratégiu a začínajúci vďaka neistote v ktoromkoľvek zo spomenutých stavov pri interakciách s WSLs hráčom len prerobiť, potom je WSLs evolučne stabilná. Vďaka, že prvý (brániaci sa) aktér použije WSLs, musí napádajúci hráč voľiť medzi dvoma alternatívami (C alebo D). S výnimkou stavov CC a DD, keď WSLs predpisuje kooperovať, nemôže alternatívne konanie získať toľko ako Pavlov. Pre stav CC i DD pritom platí, že konanie podľa WSLs je výhodnejšie, ak platí (4).

Bendor (1987) zas skúmal dopad neistoty na väžňovu dilemu so spojitou úrovňou kooperácie namiesto dvoch diskretných alternatív podvádzania a spolupráce. Záverom bolo, že dvaja interagujúci hráči používajúci TFT stratégiu dosahujú väčšiu či prinajlepšom rovnakú variabilitu úrovne spolupráce než akákoľvek iná dvojica prijímajúca rozhodnutia na základe nielen posledného kola ako v prípade TFT, ale na základe priemernej úrovne kooperácie z viacerých kôl. Takéto priemerovanie síce pri kooperatívnom charaktere interakcií umožňuje na rozdiel od TFT tolerovať určité množstvo podvádzania, no v prípade nekooperatívneho charakteru interakcií dochádza k pomalšiemu opätovaniu prípadnej spolupráce. V prostredí s neistotou sa tak hráči používajúci väžený priemer s dlhšou pamäťou dokážu úspešne šíriť v kolektíve používajúcom TFT stratégiu, no pri samotnom zavedení spolupráce v nepriateľskom prostredí musia spoliehať na TFT hráčov. Pravdepodobným konečným stavom je tak kolektív aktérov s rôznymi dĺžkami pamäte používanými pri vytváraní priemeru ziskov. Tí s dlhšou pamäťou by mali predchádzať nepriaznivým účinkom neistoty, kým tí s kratšou pamäťou zabráňujú úspešným útokom zákerných stratégií (Bendor 1987: 542). Vo vzťahu k štátom sa tu ako príklad môže hodiť rozdielny prah tolerancie voči podvádzaniu pri porovnaní zahraničnej politiky mnohých európskych krajín a USA.

Ako by malo už vyplývať aj z vyššie uvedeného, „*presná úroveň odpúšťania* [veľkorysosti], *ktorá je optimálnou, závisí od prostredia*“ (Axelrod 1990: 120). Stratégie prehliadajúce určité percento podvodov v prostredí s neistotou často lepšie udržiavajú kooperatívny charakter interakcií. Otázne je, do akej miery je odpúšťanie ešte efektívnym riešením, a kedy je už hrozba zneužitia veľkorysosti priveľká. Na túto otázku skúsil odpovedať Molander (1985). Formalizoval neistotu ako chybovosť vo vykonaní rozhodnutia a hľadal takú úroveň veľkorysosti TFT aktéra (tiež GTFT podľa slova *generous*), pri ktorej by druhý, podvádzajúci aktér nemohol získať väčšiu priemernú výplatu, než je výplata dvoch vzájomne kooperujúcich aktérov. Využívajúc pri výpočtoch Markovov reťazec a zisťovanie priebehu kvadratickej funkcie, dospejeme k tomu, že stratégia GTFT môže odolať napadnutiu, ak pre jej rozsah veľkorysosti q platí:

$$q < \min \left(\frac{R - P}{T - P}, \frac{2R - T - S}{R - S} \right) \quad (5)$$

Ako však Molander sám poznamenal, veľkosť prijateľnej úrovne veľkorysosti klesá v závislosti i od toho, ako si aktéri cenia budúce zisky v porovnaní s tými aktuálnymi. Molander totiž predpokladal ich rovnakú úroveň bez ohľadu na čas.

Podobný predpoklad nulového diskontovania uplatnili i Pelc a Pelc (2009). Ich článok patrí medzi výnimky nielen tým, že po dlhšej dobe nadviazal na tradíciu matematickej analýzy pri riešení problémov priamej reciprocity, ale aj tým, že kvôli absencii diskontného faktora používa limity namiesto geometrických radov. Článok však prináša pomenej naozaj originálnych poznatkov. Aby celá debata o stabilite nebola ukrátená na komplikovanosti, nazývajú robustnosťou to, čo je v podstate opäť len verzia Axelrodovej neporaziteľnosti. Stratégia A je robustnou, ak pre akékoľvek B platí:

$$V(A|C) \geq V(B|C) \text{ pre všetky } C \quad (6)$$

alebo

$$V(A|C) > V(B|C) \text{ pre niektoré } C$$

Kým prvý výraz predstavuje de facto Axelrodovu definíciu neporaziteľnej stratégie A, zaujme tiež fakt, že druhý výraz je vlastne istá forma podmienky pre neexistenciu neporaziteľnej stratégie B, avšak s dôležitým dodatkom o jedinej stratégii A platnej pre všetky B ašpirujúce na neporaziteľnosť. Vzhľadom na vyššie vysvetlený Axelrodov argument týkajúci sa tohto kritéria úspešnosti, ako aj vzhľadom na problematiku neutrálneho posunu, nie je potom až takým prekvapivým zistenie, že v prípade, ak kolektív obsahuje viac než dva rôzne druhy stratégií a z každej aspoň po dvoch exemplároch, robustnosť nie je

možná (teda aspoň u nepravdepodobnostných pravidiel). Autori ale pozornosť primárne venujú tým kolektívom, kde sa vyskytujú maximálne dva druhy stratégií, pričom upúšťajú od zohľadňovania ich frekvencií. Za takýchto podmienok je však (6) transformovateľná do verzie, ktorá v krátkosti hovorí, že pravidlo A je robustné v prípade, ak spĺňa podmienku voľnej evolučnej stability, alebo ak druhá stratégia nie je kolektívne stabilná (nezohľadňovanie frekvencií stále platí).

Pridaná hodnota ďalšej takejto komplikácie celej debaty okolo stability stratégií je otázna. Predošlé koncepty síce boli podmienené frekvenciou stratégií v skupine, malo to však svoju funkciu, keďže žiadna verzia stability neporovnávala výplaty dvoch stratégií získané pri interakciách s rovnakým pravidlom (mám na mysli vzťah $V(A|A)$ a $V(B|B)$). Pelc a Pelc upúšťajú od zohľadňovania relatívnych početností jednotlivých pravidiel, nenahradzujú to ale spomenutým porovnaním výplat dvoch homogénnych párov. Ich koncept robustnosti, na ktorom daný článok stojí, preto vzbudzuje určité pochybnosti. Poslúži nám však aspoň ich rozlíšenie medzi analytickými a na simuláciách založenými prístupmi k skúmaniu väzbovej dilemy (Pelc – Pelc 2009: 775–776). Keďže prehľad tých prvých sme v podstate uzavreli, presuňme teraz pozornosť k tým druhým, ktoré dopĺňajú výsledky formálnej analýzy tam, kde komplikovanosť interakcií a množstvo náhodných premených nedovoľuje uplatniť silu matematiky.

VÝSLEDKY MULTIAGENTOVÝCH SIMULÁCIÍ

Tento článok nie je vhodné miesto na podrobný rozbor multiagentových simulácií komplexných systémov ako metodologického prístupu (nielen) v sociálnych vedách. Pokus o to by sa vzhľadom na rozdiel medzi dostupným a potrebným priestorom musel nutne obmedziť na frázy, ktoré nedokážu sprostredkovať uchopenie problému. Skúsím preto tento prístup priblížiť na niekoľkých príkladoch.

Agentovo orientované modely (viď Tesfatsion – Judd 2006 eds.; Axelrod 2003; Epstein 1999; Cederman 2005) a z nich plynúce simulácie sa zameriavajú na skúmanie fungovania tzv. komplexných systémov (viď Simon 1996; Jervis 1997; ale tiež Kavalski 2007) a v samom základe fungujú na bottom-up princípe. Konanie agentov (vtáky, ľudia, autá, gény, štáty) v nich pritom ale často vedie k vzniku nejakého špecifického emergentného fenoménu (*emergent phenomenon*), ako je dopravná zápcha, segregácia, či mier, a to na úrovni samotného celku/systému (krdľ, spoločnosť, doprava, populácia jedincov, medzinárodný systém). Pokiaľ je nejaký na agentoch stojaci model komplexného systému realistický, veľké množstvo jeho agentov rozhodujúcich sa samostatne podľa často jedinečných pravidiel a okolností robí spolu s celou paletou náhodných premenných deduktívne vyvodenie výsledkov modelu prakticky nemožným (odtiaľ prívlastok *komplexný*).

Z pohľadu kauzálnych vysvetlení zas púta pozornosť častá existencia tzv. cyklov spätých väzieb (*feedback loops*), ktoré v modeloch komplexných systémov reprezentujú ovplyvňovanie systému a agentov navzájom. Takéto modely tak svojim spôsobom umožňujú simulovať vznik a fungovanie vzájomne konštitutívnych vzťahov častí a celku, čo je pre kvantitatívnu metodologickú rodinu, kam metóda multiagentových simulácií spadá, dosť nezvyčajné. Počítačové multiagentové simulácie tu potom slúžia ako metóda získavania potrebných dát, keď klasické experimenty či iné metódy neprichádzajú do úvahy. Tieto simulácie pritom nemožno spájať s nejakým špecifickým teoretickým prístupom. Pravdou však je, že napríklad metodologický individualizmus klasickej teórie hier, na ktorej základoch mnohé agentovo orientované modely stoja, umožnil efektívne uplatnenie multiagentových simulácií pri skúmaní komplexných systémov, a preto ich mnohí s teóriou hier často identifikujú.

Dobrou ilustráciou uplatnenia multiagentových simulácií je prípad z 80. rokov minulého storočia, keď bolo veľkým problémom naprogramovať dostatočne realisticky vznik krdľa, pohyb vtákov v ňom a následne pohyb a tvar samotného krdľa. Klasické modely pristupujúce k tejto úlohe skrz top-down prístup modelujúci vlastnosti, ktoré vykazoval

systém ako celok (vtáčie krdle), neboli vyhovujúce. Prelom dosiahol až Craig Reynolds (1987) pomocou troch jednoduchých pravidiel správania vtákov samotných, z interakcií ktorých postupne vzniká krdel so špecifickým pohybom a zmenou tvaru. Jedným z troch pravidiel riadiacich pohyb Reynoldsových vtákov bola pritom ich snaha zostať v krdli (presnejšie úsilie zostať v blízkosti iných vtákov), čo stelesňuje vyššie spomínaný vzťah častí a celku.

Iným príkladom môže byť prírodný výber (napríklad vo forme pravidla proporčnej zdatnosti), a teda šírenie génov na základe toho, ako zvyšujú zdatnosť svojim nositeľom v interakciách s inými jedincami s inými génmi. Takýto mechanizmus vedie často k zmene zloženia populácie a toto nové zloženie zas spätne ovplyvňuje úspech jednotlivých génov, pretože ten závisí od toho, na akých súperov natrafi v populácii jeho nositeľ. Za určitých podmienok tak môže nastať situácia, že niektoré stratégie/gény – schumpeterovsky povedané – vymznú vďaka svojmu úspechu. Z pohľadu uplatnenia teórie hier tu potom rovnako ako v predchádzajúcej časti možno dobre vidieť prechod od jej klasickej verzie hľadajúcej rovnovážne body na úrovni jednotlivých aktérov smerom k evolučnej teórii hier skúmajúcej vývoj a stabilitu celých kolektívov/populácií.

Penúka sa samozrejme mnoho ďalších oblastí, v ktorých sa žiada uplatniť na agentoch stojace modely a s nimi súvisiace multiagentové simulácie. Môže to byť správanie ľudí, napríklad v divadle pri potlesku, pri vytváraní kooperujúcich skupín a sociálnych sietí, či pri vzniku fenoménov, ako je trebárs segregácia (Schelling 1978). Rovnako možno úspešne modelovať vznik dopravnej zápch na základe správania sa jednotlivých agentov (automobilov). V neposlednom rade je príkladom komplexného systému pozostávajúceho z veľkého množstva nezávislých navzájom interagujúcich aktérov i medzinárodný systém štátov. Tu možno vytvárať modely a simulácie teritoriálneho súperenia (viď dlhú tradíciu, ktorú založili Bremer – Mihalka 1977), demokratického mieru (Cederman 2001), či občianskych vojen a etnického násillia (Epstein 2002; Bhavnani – Miodownik 2009). V tejto časti textu nás ale budú najviac zaujímať práve tie na agentoch založené modely, ktoré sa zaoberajú možným vznikom spolupráce vo väzňovej dileme prostredníctvom priamej reciprocity.

Tou udalosťou, ktorá spustila neskoršiu lavínu ďalších simulácií a naštartovala výskumný program zaoberajúci sa spoluprácou aktérov vo väzňovej dileme, boli výsledky dvoch počítačových turnajov usporiadaných Robertom Axelrodom. V oboch prípadoch išlo o round-robin turnaje, v ktorých hráči interagujú systémom každý s každým. Axelrod do svojho modelu opakovanej väzňovej dilemy navyše pridal interakcie všetkých stratégií s vlastnou kópiou, pričom aktéri boli schopní pamätať si celú históriu svojich predchádzajúcich interakcií. V prvom turnaji (Axelrod 1980a) medzi sebou súťažilo 14 stratégií plus pravidlo spolupracujúce, resp. podvádzajúce na základe náhodne generovanej premennej. Každá dvojica stratégií sa stretla presne 200-krát. Prekvapujúco, víťazstvo si odniesla najjednoduchšia zo súťažiacich stratégií (TFT), ktorú do turnaja navrhol Anatol Rapoport (viď Rapoport – Chammah 1965: 207). Zaujímavým bol tiež fakt, že spomedzi 15 rôznych stratégií sa na prvých ôsmich priečkach umiestnili všetky priateľské stratégie, nepustiac tak medzi seba ani jedno zákerné pravidlo. Ďalšou dôležitou vlastnosťou bola schopnosť odpúšťať. Kým trebárs stratégia GRIM nie je schopná súperovi odpustiť jediné podvádzanie, a ak sa také vyskytne, už navždy podvádzá, TFT odpúšťa hneď po súperovej prvej kooperácii a opätuje ju v ďalšom kole.

Axelrod (1980a) ale tiež identifikoval tri ďalšie stratégie, ktoré by turnaj vyhrali v prípade, že by ich niekto navrhol. Jednou z nich bola veľkorysejšia verzia TFT, ktorá by opätovovala podvádzanie len po dvoch takýchto po sebe nasledujúcich krokoch súpera. Zaujímavú sekundárnu analýzu výsledkov prvého turnaja zas urobil Behr (1981). Zameral sa pritom na víťazstvo definované ako počet stratégií, v interakciách s ktorými dosiahol daný aktér vyššiu sumu výplat než súper. Do istej miery tu možno nájsť súvislosť s budúcou debatou o relatívnych a absolútnych ziskoch. Kým Axelrodovi išlo o maximalizáciu

celkových výplat bez ohľadu na súperovu zdatnosť, Behr hľadal schopnosť dosiahnuť vyšší zisk než oponent. Z logiky vážňovej dilemy potom musí platiť, že nakoľko „*maximalizácia ziskov vyžaduje maximalizáciu kooperácie, a dosiahnutie víťazstva [nad partnerom] zas vyžaduje aspoň nejakú ochotu podvádzať, zdá sa nemožným, aby bolo akékoľvek pravidlo konania plne úspešné v oboch ohľadoch*“ (Behr 1981: 299).

Druhý počítačový turnaj (Axelrod 1980b) dopadol veľmi podobne, a to napriek tomu, že autori nových stratégií boli s výsledkami prvého turnaja a ich analýzou oboznámení. Zúčastnilo sa ho napokon 62 stratégií (vrátane možných alternatívnych víťazných stratégií z prvého kola) plus pravidlo náhodne voliace medzi spoluprácou a podvádzaním. Na rozdiel od prvého turnaja účastníci nevedeli presný počet opakovaní vážňovej dilemy, opäť ale zvíťazila stratégia TFT. Popri priateľskosti a odpúšťaní sa ukázala byť dôležitou i tretia vlastnosť, a to vyprovokovateľnosť. TFT spĺňala všetky tieto požiadavky. Nikdy sama nezačala podvádzať, bola vždy pripravená znovu spolupracovať a bola i ľahko vyprovokovateľná k odvetе hoc len jediným súperovým podvádzaním. Aby Axelrod preveril robustnosť výsledkov, navrhol šesť alternatívnych turnajov s rôznym zastúpením hlavných skupín stratégií. V piatich z nich stratégia TFT zvíťazila, v šiestom skončila druhá. Veľmi podobne to dopadlo aj v prípade, keď sa menila početnosť zastúpenia stratégií v jednotlivých na seba nadväzujúcich turnajoch (generáciách) v závislosti od ich predošlej úspešnosti v akumulovaní výplat. TFT tak poukázala na úspešnosť toho, čo kedysi Trivers (1971) nazval recipročným altruizmom, a to napriek faktu, že nikdy nedokázala získať viac než jej súper v čo i len jednej zo sérií binárnych interakcií (tiež ale nikdy neprehrala o viac než $T - S$).

Dva Axelrodove turnaje potvrdili možnosť vzniku spolupráce medzi egoistickými aktérmi vo vážňovej dileme aj bez akejkoľvek vynucujúcej autority. Zároveň však zostalo mnoho nevyriešených problémov s potenciálne veľkým dopadom na výsledky ďalších simulácií (viď Axelrod 1990: 124nn, 145nn, 182–183). Axelrodove turnaje napríklad vylučovali neistotu, počítali s deterministicky určenými interakciami (každý s každým) a mali fixné výplaty. Mnoho z týchto problémov sa snažila prebádať na Axelroda nadväzujúca literatúra, riadiaca sa tiež odporúčaním klásť väčší dôraz práve na nedeterministické procesy (May 1987). Podobne ako neistota spomínaná v prvej časti i štruktúra interakcií, ktorá určuje, kto s kým vlastne interaguje, môže mať viacero podôb. Môže ísť napríklad o priestorovú štruktúru, keď do kontaktu prichádzajú len susediaci hráči, alebo o rozličné podoby sietí vzťahov interagujúcich aktérov, ktoré sa môžu v priebehu simulácie meniť. Dôležitú pozíciu medzi určujúcimi faktormi výsledkov simulácií má i súbor stratégií, s akými model pracuje. Presnejšie, akú pamäť majú k dispozícii, či sú zahrnuté i pravdepodobnostné stratégie, prípadne či sa model zameriava iba na niekoľko špecifických stratégií a ich fungovanie. S tým zas úzko súvisí ďalšia skupina modifikácií, ktorá sa zameriava na zmenu základnej podoby vážňovej dilemy. K jednoduchšej voľbe medzi spoluprácou a podvádzaním tak môže pribudnúť ďalšia alternatíva (napríklad odstúpenie od hry), prípadne možno z binárnej voľby spraviť spojitú (odstupňovaná spolupráca), či dokonca sa možno pokúsiť meniť výplaty samotné. Na všetky tieto problémy a faktory vplývajúce na výsledky simulácií by som chcel teraz upriamiť pozornosť.

Neistota ako chyba v interpretácii a implementácii

Dopady neistoty dominovali ako téma modelov opakovanej vážňovej dilemy koncu 80. a začiatku 90. rokov minulého storočia. Bendor, Kramer a Stout (1991) usporiadali podobný round-robin turnaj stratégií ako predtým Axelrod, no s odlišným spôsobom formalizácie výplat. Umožnili hráčom zmenu rozsahu kooperácie v rámci určitého intervalu (na spôsob veľkosti investície do partnerovej prosperity), a čo je najpodstatnejšie, pridali určitú mieru neistoty v uplatnení rozhodnutia. V zhode s tým, čo predpovedala teoretická analýza neistoty, výsledky ukázali, že TFT stratégia si v takomto prostredí vedie omnoho horšie. Zvíťazila naopak veľkorysejšia stratégia, ktorá vracala viac spolupráce, než dostávala

od partnerov. Konštatácia, že „*veľkorysosť tlmí* [v prostredí s určitou mierou neistoty] *výskyt a dopad neúmyselných odviat, ktoré časom hrozia rozvinutím*“ (Bendor – Kramer – Stout 1991: 706), tak vo všeobecnosti potvrdila predchádzajúce závery (Molander 1985; Bendor 1987).

Čo do priaznivých podmienok vzniku kooperácie (nízka miera neistoty, početné opakovania, priaznivá matica výplat) dosiahol výsledky v súlade s teoretickou analýzou i Muellevrov (1987) model. Počítal so zmenou relatívnych početností stratégií podľa pravidla proporčnej zdatnosti a s mnohými rozličnými kombináciami matic výplat, úrovni chybovosti pri vykonávaní rozhodnutí a počtu opakovaní binárnych interakcií. Model obsahoval dva druhy nepodmienených stratégií (ALLC, ALLD) spolu s jednou podmienenou spolupracujúcou stratégiou, u ktorej sa zisťovala optimálna úroveň odpúšťania a vyprovokovateľnosti pre vznik a udržanie spolupráce. Výsledky ukázali, že v nehostinnom prostredí (ALLD hráči) najľahšie nadviaže spoluprácu neodpúšťajúca stratégia GRIM. V ďalšom vývoji ho dokážu nahradiť veľkorysejšie pravidlá, ktoré sú schopné udržať spoluprácu, prekonať neistotu a zároveň zabrániť návratu zákerných aktérov. Na dôležitosti tu ale získava schopnosť rozlíšiť bezpodmienečne spolupracujúcich aktérov, ktorí síce poľahky prekonávajú neistotu, no ohrozujú spoluprácu svojou využiteľnosťou zo strany ALLD stratégií.

Opakovanú väžňovu dilemu skúmali i Nowak so Sigmundom. Ich model (1992) zahŕňal 100 vzájomne interagujúcich stratégií pamätajúcich si len súperov posledný krok a kooperujúcich s určitou pravdepodobnosťou (od 0 po 1) po každom z nich. Umožnené boli oba prejavy neistoty, k zmene zloženia kolektívu dochádzalo prostredníctvom pravidla proporčnej zdatnosti a budúce zisky sa nijak nediskontovali ($w = 1$). Ako predpokladala teoretická analýza, prvotný vývoj v simuláciách ukazoval na úspešnosť podvádžajúcich stratégií a ALLD, no zakrátko došlo k naštartovaniu spolupráce vďaka TFT stratégii, prípadne inej jej veľmi podobnej, a to vo chvíli, keď zákerné stratégie neboli kvôli eliminácii naivne spolupracujúcich pravidiel viac schopné dosahovať vysoké zisky. Túto stratégiu TFT plniacu úlohu katalyzátora kooperácie neskôr ale v kolektíve vystriedala veľkorysejšia alternatíva, odpúšťajúca určité množstvo podvádžania (GTFT), a tým brániaca rozvinutiu negatívnych účinkov neistoty. Model neskôr rozšírili o stratégie, ktoré berú do úvahy pri rozhodovaní i svoj vlastný posledný krok (Nowak – Sigmund 1993). Tentoraz však simulácie ukázali na prednosti Pavlovovej stratégie (WSLS), ktorá dokáže opraviť vlastné chyby, no neostýcha sa využiť nepodmienenú kooperatívnosť súpera, ak je tá odhalená vďaka neistote. GTFT je síce schopná prekonať jej negatívne následky, nevie ale zabrániť posunu práve smerom k nepodmienej spolupráci, ktorá je následne využiteľná zákernými stratégiami. WSLS prípadne jej modifikácia to dokáže, a za istých podmienok je dokonca schopná odolať i útoku ALLD stratégie, s ktorou jednostranne spolupracuje každé druhé kolo (Nowak – Sigmund 1993: 58).

Predchádzajúce výsledky modelovania neistého prostredia sa snažili nejakým spôsobom zjednotiť a porovnať Wu s Axelrodom v polovici 90. rokov. Chceli určiť, ktorá z navrhovaných alternatív TFT stratégie je najúčinnnejšia pri prekonávaní chyby vo vykonávaní vlastného rozhodnutia. Zamerali sa pritom na účinky veľkorysosti (GTFT), ľútosti (CTFT) a reflexívnosti (WSLS). V podmienkach zhodných s Axelrodovým druhým turnajom použili rôzne úrovne neistoty a tiež pravidlo proporčnej zdatnosti, aby zistili (Wu – Axelrod 1995), že najperspektívnejším riešením je ľútosť (CTFT). Tak veľkorysosť, ako aj ľútosť sa ukázali byť na rozdiel od WSLS úspešnými v prostredí pôvodných 63 Axelrodových stratégií. Ak následne došlo k uplatneniu mechanizmu zmeny zastúpenia v kolektíve podľa dosiahnutých ziskov, čo znamená postupné vylučovanie pravidiel, ktoré sa nedokázali efektívne prispôbiť neistote, potom CTFT prekonala aj GTFT čo do jej frekvencie v kolektíve. V rámci skupiny, ktorá obsahuje len stratégie úspešne prekonávajúce chyby v implementácii, totiž GTFT stratégia ponúkala príliš mnoho zneužiteľnej veľkorysosti. Opravovala vlastné i protivníkovy chyby, kým CTFT tak robila len u tých svojich.

V prostredí s pamäťou hráčov neobmedzenou iba na posledné kolo stratégie WSLS neuspela, čo však z časti možno vysvetliť i tým, že sa jednalo o prostredie len s chybami v implementácii, ale nie v interpretácii. Vlastné chyby v interpretácii súperovho predchádzajúceho konania CTFT stratégie na rozdiel od tej WSLS nedokáže napraviť (pre analýzu a simulácie týkajúce sa týchto dvoch pravidiel viď tiež Boerlijst – Nowak – Sigmund 1997).

Ukazuje sa tak dôležitosť nie len toho, aké stratégie spolu interagujú (akú majú pamäť), ale i toho, aký prejav neistoty je v modeli zakomponovaný. V konečnom dôsledku simulácie potvrdili očakávania matematickej analýzy ohľadne účinkov rôznych druhov chýb, ako i dôležitosť veľkorysosti pre udržanie kooperácie. Tým najvýznamnejším zistením je zrejme to, že rôzne stratégie plnia častokrát rôznu funkciu. Niektoré dokážu kooperáciu spustiť i v nepriaznivých podmienkach, iné prekonávajú dôsledky systémovej neistoty a ďalšie zas nahrádzujú zneužitelnú veľkorysosť. Neraz pritom dochádza k ich cyklickému striedaniu či dopĺňaniu v rámci koexistencie.

Štruktúra interakcií

Štruktúra interakcií je popri neistote druhým významným faktorom ovplyvňujúcim vznik a rozvoj spolupráce medzi aktérmi (viď Cohen – Riolo – Axelrod 2001). V krátkosti tu ide o to, kto s kým a ako často interaguje. V mnohých situáciách je totiž predpoklad, že všetci interagujú so všetkými a rovnako často, nereálny. Omnoho častejší je prípad stabilných interakcií len s určitou skupinou iných aktérov (zvieratá na svojom teritóriu; ľudia v okolí bydliska; štáty na rovnakom kontinente). Nemusí pritom ísť nutne o priestorové vymedzenie interakcií. Mnohokrát stačí sociálny status (študenti), genetická príbuznosť (rodina), či spoločná história (Commonwealth). Najjednoduchší spôsob modelovania priestorovej štruktúry interakcií vo väzbovej dileme pritom predstavili Nowak a May (1992). Každá bunka bežnej štvorcovej mriežky mohla zaujať len jeden z dvoch stavov (spolupráca, alebo podvádzanie) a tento stav sa následne aktualizoval po každom kole prevzatím stavu toho najúspešnejšieho zo susedov. Išlo tak vlastne o jednorazovú hru bez chýb, kde by malo prevládať podvádzanie. V závislosti od výšky výplaty za jednostrannú kooperáciu však bolo možné dosiahnuť rôzne výsledky a medzi nimi i stav dynamickej koexistencie spolupracujúcich a podvádzajúcich aktérov. Priestorová štruktúra interakcií tak za určitých podmienok umožnila pretrvanie kooperácie i v prostredí podobnom jednorazovej hre.

Bol to však Axelrod, ktorý svoj druhý turnaj neskôr previedol aj do toroidného priestoru, kde hráči interagovali v tzv. neumannovskom okolí so štyrmi najbližšími susedmi na uzavretej štvorcovej mriežke (1990: 158–167). Po každej generácii aktér preberal najúspešnejšiu stratégiu spomedzi svojich susedov, ak samozrejme nebol najúspešnejší on sám. K takejto aktualizácii pravidiel konania, ktorú možno vysvetliť aj ako imitáciu úspešného správania, pritom dochádzalo naraz u všetkých aktérov. Výsledkom simulácie bolo spolupracujúce prostredie, kde si TFT hráči síce viedli pomerne dobre, no najväčšiu frekvenciu dosiahla istá komplikovaná stratégia, ktorá sa umiestnila len zhruba v polovici štartového poľa pri round-robin interakciách. Model podobný tomu Axelrodovmu vytvorili aj Lindgren a Nordahl (1994). Počítali však s hráčmi schopnými pamätať si maximálne tri posledné kolá a pridali tiež chyby vo vykonávaní rozhodnutí. Nakoľko stratégie formalizovali do podoby kódu v dvojkovej sústave (séria bitov), umožnilo im to počítať aj s určitou chybou pri kopírovaní lepšej susedovej stratégie (nepresná imitácia/učenie). Ich závery ukázali na veľmi širokú paletu možných výsledkov v závislosti od parametrov.

Iný model s chybami vo vykonávaní rozhodnutí a možným nesprávnym imitovaním v podobe malej pravdepodobnosti zvolenia si akejkolvek inej stratégie namiesto tej úspešnej navrhli Brauchli, Killingback a Doebeli (1999). Hráči používajúci pravdepodobnostné stratégie s pamäťou nepresahujúcou jedno kolo interagovali v tzv. úplnom okolí (osem susedov) a po každej generácii preberali stratégiu najúspešnejšieho suseda. Podľa ich zistení

bola spolupráca, veľkorysosť (GTFT) a reflexívnosť (Pavlov) rozšírenejšia a úspešnejšia v hre s priestorovo štruktúrovanými interakciami než v podobných modeloch bez tejto vlastnosti (viď Nowak – Sigmund 1992, 1993). Vo všeobecnosti je tak podľa nich vývoj „v priestorovo štruktúrovaných kolektívoch omnoho menej chaotický“ (Brauchli – Killingback – Doebeli 1999: 412). Model Nowaka a Sigmunda (1992), ktorý počítal s reaktívnymi stratégiami reagujúcimi len na súperov posledný krok v chybovom prostredí, replikoval v priestorovej úprave aj Grim (1995) a podobne ako Brauchli, Killingback a Doebeli dospel k vyššej úrovni stabilnej veľkorysosti než v neštruktúrovanom prostredí interakcií každého s každým.

Štvorcová mriežka nie je jediný spôsob, ako modelovať priestorovú štruktúrovanosť interakcií. Medzi príklady priestoru, v ktorom sú aktéri umiestnení po obvode kruhu, patria mnohé práce Ilana Eshela a jeho kolegov. V jednom z modelov (Eshel et al. 2000) skúmali možnosti spolupráce v prostredí s dvoma typmi hráčov (altruisti a egoisti) a synchronným, ako aj asynchronným aktualizovaním ich stavu podľa úspešnosti susedov. Počítali pritom i s náhodnou zmenou stratégie a prípadmi, keď sa okolie interakcií, t.j. počet susedov napravo a naľavo, s ktorými hráč interagoval, líšilo od veľkosti okolia, v ktorom dochádzalo k učeniu/imitácii. Kruhovým usporiadaním aktérov a učením sa zaoberal i Hoffmann (1999). Pracoval s tzv. konečnými automatmi (*finite automata*) s dvoma vlastnými stavmi (C a D) a jednokolovou pamäťou, formalizujúc ich pritom do podoby série bitov. Snažil sa zároveň oddeliť vplyv okolia, v rámci ktorého aktér na základe pravdepodobnostného mechanizmu uplatňoval učenie, od vplyvu okolia interakcií. Zistil, že za rozvoj spolupráce je pri ním stanovených podmienkach zodpovedné skôr lokálne ukotvenie učenia než samotných interakcií aktérov (Hoffmann 1999: 66).

Posledným typom štruktúry, pre ktorú sa však viac hodí prívlastok sociálna než priestorová, a ktorú by som tu chcel spomenúť, sú tzv. siete malého sveta (*small-world networks*; viď Watts – Strogatz 1998) a im príbuzné bezškálové siete (*scale-free networks*; viď Barabási – Albert 1999). Ich podstatou je relatívne malá priemerná vzdialenosť medzi akýmikoľvek dvoma aktérmi a zároveň vyššia vzájomná prepojenosť hráčov (*clustering*), než je typické pre náhodne distribuované siete. Round-robin turnaj sa napríklad vyznačuje najmenšou možnou priemernou vzdialenosťou hráčov a dokonalým prepojením všetkých aktérov, kde každý pozná každého a všetci interagujú rovnako často. Spomínaná priestorová štruktúrovanosť na štvorcovej mriežke má síce v prípade úplného okolia určitú lokálnu prepojenosť, no priemerná vzdialenosť medzi aktérmi narastá priamo úmerne s veľkosťou mriežky. Ani jedna z týchto štruktúr nezodpovedá dobre realite medzinárodných vzťahov. Dnes napríklad jestvujú rôzne skupiny štátov, ktorých členovia spolu interagujú intenzívnejšie než s ostatným svetom (vysoká prepojenosť partnerov nejakého aktéra navzájom), ale ani jedna z takýchto skupín nie je izolovaná od vonkajšieho sveta (malá vzdialenosť medzi akýmikoľvek hráčmi). Navyše niektoré štáty interagujú s omnoho väčším množstvom aktérov než iné.

Štruktúrovanosť interakcií na spôsob bezškálových sietí, prípadne sietí malého sveta je pritom v súvislosti s väžňovou dilemou ešte vždy novým a najmenej prebádaným prostredím. Masuda a Aihara (2003) prevzali prístup Nowaka a Maya (1992) a pracovali len s hráčmi s nulovou pamäťou (ALLD a ALLC). Sieť malého sveta sa ukázala ako optimálna štruktúra pre šírenie spolupráce v prípade takej matice výplat, ktorá maximalizovala práve vplyv štruktúrovanosti interakcií na vznik kooperácie. Podobne priaznivý dopad na spoluprácu aktérov, a to dokonca bez ohľadu na výšku pokušenia podvádzať, majú podľa výsledkov nedávneho výskumu aj bezškálové siete, ktoré „vedú k bezprecedentným hodnotám rovnovážnych frekvencií kooperujúcich hráčov, takže spolupráca sa stáva nielen konkurencieschopnou, ale neraz i dominantnou črtou“ (Santos – Pacheco 2005: 4; viď tiež Santos – Pacheco 2006). Môže za to práve decentralizovaný charakter takýchto heterogénnych sietí, schopný vyrovnáť sa so stratou nejakého uzlu (*node*) bez ohrozenia/obmedzenia fungovania celej siete.

Modifikácie výplat

Kým teda výsledky mnohých simulácií formalizujúcich neistotu do jej dvoch rôznych prejavov často poukazovali na jej negatívny dopad vo vzťahu k úrovni kooperácie, ako i na dôležitosť odpúšťania, štruktúrované prostredie zdá sa naopak spolupráci aktérov prospievať. Tretím, no rovnako dôležitým faktorom ovplyvňujúcim vznik a stabilizáciu spolupráce je ale tiež samotná podoba matice väzňovej dilemy. Jednu zo základných možností, ako ju meniť, predstavuje nahradenie jednoduchej opozície spolupráca/podvádzanie spojitou voľbou výšky investície, ktorá prináša určité zisky partnerovi a isté náklady investujúcemu hráčovi. Killingback a Doebeli (2002) poukázali na postupný nárast úrovne investícií v prostredí so stratégiami, u ktorých sa výška aktuálnej investície odvíjala od výplat v poslednom kole (inými slovami od poslednej vlastnej, ako i súperovej investície). Ifti, Killingback a Doebeli (2004) zas, nadväzujúc na skorší priestorový model pracujúci s rôznou výškou investícií (Killingback – Doebeli – Knowlton 1999), skúmali vplyv rôznych veľkostí okolia interakcií a okolia, z ktorého sa hráči učili, používajúc pritom asynchrónnu aktualizáciu aktérov. Zistili, že väčšie okolie vedie k nižším investíciám rovnako ako v prípade veľkého rozdielu medzi okolím učenia a okolím interakcií. Ich výsledky tak potvrdzujú „hypotézu, že vytváranie lokálnych skupín interakcií [clustering] je kľúčovým mechanizmom vedúcim najskôr k vzniku a následne k udržaniu spolupráce“ (Ifti – Killingback – Doebeli 2004: 104).

Spojítej, no alternujúcej väzňovej dileme, kde sa hráči nerozhodujú súčasne, ale striedavo (viď tiež Nowak – Sigmund 1994), venovali pozornosť Roberts so Sherrattom (1998). Predstavili tzv. RTS stratégiu (*raise-the-stakes*), ktorá zvyšuje investovanú sumu len v prípade, ak protihráčova investícia dosiahla rovnakú úroveň, t.j. ak došlo k reciprocite. Táto stratégia sa ukázala byť veľmi úspešná pri šírení a vzniku kooperácie v prostredí spojitkej matice výplat. Alternujúcimi ťahmi v rámci spojitkej väzňovej dilemy sa zaoberali aj Wahl a Nowak (1999). Pracovali so stratégiami závislými na partnerovom poslednom kroku, pričom pridali možnosť chýb v interpretácii. Rovnako ako v klasickej forme väzňovej dilemy i tu (Wahl – Nowak 1999: 335) sa ukázala istá vývojová logika smerom od zákernejších stratégií k tým kooperatívnym, medzi ktorými časom prevládli veľkorysejšie alternatívy, vedúce späť k možnosti úspešného útoku podvádzajúcich pravidiel (možnou je i stabilná koexistencia takýchto skupín stratégií). Úroveň úvodnej investície podľa nich pri vzniku spolupráce taktiež zohráva zásadnú úlohu. Chyby vo vykonaní rozhodnutí zas pre spojitú väzňovu dilemu formalizovali Le a Boyd (2007), pričom rovnako dospeli k nestabilnej spolupráci, resp. viacerým možným konečným stavom v závislosti od nastavenia parametrov.

Rozšírenie súboru alternatívnych rozhodnutí mimo dvoch pôvodných (resp. ich odstupňovania) je iným spôsobom modifikácie matice výplat. Robert Schuessler (1989) navrhol zavedenie možnosti vystúpiť z hry (*exit option*), čím ju spravil takpovediac dobrovoľnou. Schuessler prišiel s úspešným pravidlom CONCO, ktoré uplatňovalo podmienenú spoluprácu, až kým partner prvýkrát nepodvádzal, čo viedlo k ukončeniu opakovaní zo strany CONCO hráča. Malá pravdepodobnosť ukončenia interakcií bola pridaná ako forma neistoty a v skupine aktérov dochádzalo tiež k imitácii úspešných stratégií podobným spôsobom ako pri pravidle proporčnej zdatnosti. Jedným z dôležitých záverov bolo, že „samotná schopnosť opakovať a ukončiť interakcie môže stačiť na to, aby učinila kooperatívne správanie efektívnym“ (Schuessler 1989: 747). Vyššiu úroveň spolupráce v modeli s možnosťou vystúpenia, round-robin interakciami bez neistoty a pamätaním si protivníkovho konania potvrdili Batali s Kitcherom (1995). Jednoduchá stratégia ukončenia interakcií po prvom podvádzaní spoluhráča sa však stáva menej úspešnou v prípade, ak do modelu zakomponujeme aj tzv. náklady alternatívnej príležitosti (*opportunity costs*), tak ako to urobili napríklad Hayashi s Yamagishim (1998), ktorí zároveň umožnili nielen ukončenie interakcií s určitým partnerom, ale istým spôsobom aj aktívny výber nového.

Možných je samozrejme niekoľko ďalších modifikácií väzňovej dilemy. Freat (1994) napríklad menil výplatu vzájomnej spolupráce, aby zistil, aké stratégie sú úspešné v rôznych podmienkach alternujúcej väzňovej dilemy pri uplatnení pravidla proporčnej zdatnosti a určitej šanci, že zopár aktérov čas od času prijme náhodne vybranú stratégiu. Výsledkom bolo poznanie, že pri pamäti obsahujúcej len partnerov posledný krok bolo pri vysokom R úspešné pravidlo GTFT, avšak pri strednej a nízkej hodnote R to bola stratégia ALLD. Naopak, ak sa pamäť rozšírila na výsledky posledného kola ako také, slávila úspech stratégia FBF (*firm-but-fair*), ktorá sa správala ako TFT s tým rozdielom, že mala výraznú tendenciu spolupracovať po vzájomnom podvádzaní. Iný spôsob zmeny matice spolu so zmenou stratégie zas použil Billard (1996). Maticu väzňovej dilemy zmenil tak, že jej výplaty reprezentovali rôzne pravdepodobnosti dosiahnutia fixnej odmeny, resp. trestu. Výplata za jednostranné podvádzanie predstavovala istotu odmeny, zatiaľ čo výplata za vzájomnú spoluprácu dávala 25% šancu na trest. Pravdepodobnosť spolupráce hráča sa následne odvíjala od toho, či došlo k vyplateniu odmeny, alebo uloženiu trestu. Z pohľadu medzinárodných vzťahov hodno ešte hádam spomenúť prácu Buscha a Reinhardta (1993), ktorí skúmali spoluprácu aktérov pri výplatách formalizovaných v zhode s pôvodnou debatou o relatívnych a absolútnych ziskoch, berúc pritom do úvahy rôzne hodnoty koeficientu citlivosti k relatívnym ziskom. Použijúc stratégie z druhého Axelrodovho turnaja dokázali úspešnosť spolupráce, a to pri rozličných intenzitách záujmu o relatívne zisky.

Modifikácia výplat ako posledný z troch základných faktorov vplyvujúcich na vyhliadky spolupráce vo väzňovej dileme uzavrela prehľad niektorých z najdôležitejších prác, ktoré sa v drvivej väčšine prípadov zaoberali mechanizmom priamej reciprocit. Je tu samozrejme ešte mnoho iných faktorov schopných ovplyvňovať výsledky simulácií,⁵ no ich uplatniteľnosť v medzinárodných vzťahoch je otázna. Na druhej strane tu stále zostáva niekoľko modelov úzko spätých s medzinárodnými vzťahmi, ktoré sa nezaoberajú väzňovou dilemou, no uplatňujú veľmi podobnú metódu výskumu ako všetky predošlé simulácie. Vo vzťahu k politológii a medzinárodným vzťahom tu však už jestvujú dve dobré prehľadové štúdie sumarizujúce túto literatúru (Johnson 1999; Pepinsky 2005). Zdá sa mi preto zbytočné opakovať na tomto mieste to, čo už bolo napísané niekde inde.

* * *

Zhrnúc to najdôležitejšie, čo sme doteraz povedali o vývoji spolupráce v opakovanej väzňovej dileme, pri dôraze na mechanizmus priamej reciprocit možno identifikovať zopár hlavných faktorov, ktoré výrazne ovplyvňujú vyhliadky na úspech a stabilitu kooperatívneho správania. Ide tu predovšetkým o rozsah neistoty v prostredí, podobu matice výplat, štruktúru interakcií, no a v neposlednom rade aj o to, aké stratégie konania používajú ostatní aktéri v skupine, prípadne aké spôsoby slúžia na hľadanie efektívnejších alternatív. Neistota môže, no nezvykne spolupráci prospievať, kým so štruktúrovanosťou interakcií je to práve naopak. Dôsledky rôznych úprav matice výplat sa menia od prípadu k prípadu v závislosti od nastavenia (ostatných) parametrov, zavedenie spojitaj úrovne výplat však často vedie k postupnému zvyšovaniu investícií, a teda i ziskov z kooperácie. Možno s výnimkou neistoty sú dopady všetkých týchto faktorov (nehovoriac o ich rozličných kombináciách) len ťažko odvodiť deduktívnou matematickou analýzou. Ak nám však ide o stabilitu nejakej skupiny z pohľadu stratégií používaných jednotlivými jej aktérmi, je to predovšetkým matematická analýza ich úspešnosti vo vzájomných interakciách, ktorá nám dokáže poskytnúť najlepší obraz o vyhliadkach kooperatívneho správania zohľadňujúc pritom rozdielnú náročnosť kritérií úspešnosti.

Čo ale z celého tohto plyní pre medzinárodné vzťahy samotné? Uplatnenie väzňovej dilemy by v prvom rade nemalo skončiť pri niekoľkých ľahko zapamätateľných vetách, neraz buď nepravdivých, alebo uvádzaných v nesprávnom kontexte. TFT napríklad nie je najlepšou stratégiou a striktná reciprocita sa nemusí zďaleka vždy vyplácať. To, čo je

najlepšie, naopak vždy závisí od situácie. V princípe čím viac sa model blíži realite medzinárodných vzťahov, tým viac sa odlišuje od dizajnu, v ktorom zvíťazilo TFT (interakcie každého s každým, žiadna neistota, fixné výplaty), a tým menej pravdepodobný je úspech tejto stratégie pri udržiavaní fungujúcej spolupráce. Nahrádzujú ju iné, buď veľkorysejšie, alebo úplne odlišné stratégie. Všetky vyššie spomínané faktory navyše poľahky nájdu odraz v interakciách medzi štátmi, a každý prípadný model by im preto mal venovať pozornosť.

O uplatnenie výsledkov skúmania väzňovej dilemy a o modely priamo stojace aj na tejto hre pritom v odbore medzinárodných vzťahov rozhodne nie je núdza (viď napríklad Evera 1985; Langlois – Langlois 2004; Majeski – Fricks 1995; Goldstein 1995). To, čo však do istej miery chýba, je práve obecnější úroveň aplikácie namiesto dnes omnoho bežnejších interpretácií jednotlivých udalostí, procesov, či opakovane sa vyskytujúcich situácií. Na agentoch stojace modely komplexných systémov, ako sú medzinárodné vzťahy, sú pritom paradoxne určené práve na simulovanie systémových (*macro-level*) dôsledkov, ktoré vznikajú interakciami na úrovni jednotlivých aktérov (*micro-level*). Istá snaha o re-interpretáciu dôsledkov anarchického prostredia tu síce koncom 80. rokov bola, nedostala sa však ďalej než po debatu medzi neorealizmom a neoliberalizmom o povahe relatívnych ziskov. Tvrdiť, že príčiny vojny netreba hľadať na úrovni systému (Waltz 1959), tak v konečnom dôsledku bude možné, len ak nejaký dostatočne realistický model, odpovedajúci na všetky otázky ohľadne výskytu interakcií, charakteru aktérov, či podmienok prostredia, povedie k vzniku vzájomnej kooperácie medzi aktérmi. Jestvujúce modely zaoberajúce sa väzňovou dilemou a výsledky z nich plynúcich simulácií by nám mohli pri navrhovaní takéhoto modelu výrazne pomôcť.

¹ Konkrétne ide o príbuzenský výber, skupinový výber, priamu reciprocitu, nepriamu reciprocitu a v neposlednom rade o interakcie najjednoduchších aktérov v rámci určitého špecifického prostredia (napr. sieť, či priestor).

² Ak všetci členovia skupiny používajú stratégiu A a čelia útočiaciej stratégii B, potom A je evolučne stabilná stratégia, len ak spĺňa jedno z dvoch nasledovných kritérií: buď $V(A|A) > V(B|A)$; alebo ak $V(A|A) = V(B|A)$, tak potom súčasne aj $V(A|B) > V(B|B)$.

³ Stratégia A je kolektívne (porovnaj s „individuálne“) neporaziteľnou, ak pre všetky B platí: buď $V(A|A) > V(B|A)$; alebo ak $V(A|A) = V(B|A)$, tak potom súčasne aj $V(A|C) \geq V(B|C)$ pre všetky C.

⁴ TFT opätuje podvádzanie až po dvoch po sebe nasledujúcich podvádzaniach súpera. STFT koná presne ako TFT len s tým rozdielom, že v prvom kole podvádzá.

⁵ Napríklad faktor výberu/zmeny stratégie pred hrou a počas nej. Príkladom toho je už spomínané pravidlo proporčnej zdatnosti, ale aj iné mechanizmy formalizujúce učenie, či imitáciu úspešných aktérov, prípadne generujúce úplne nové stratégie.

Literatúra

- Axelrod, Robert (1980a): Effective Choice in the Prisoner's Dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 24, No. 1, s. 3–25.
- Axelrod, Robert (1980b): More Effective Choice in the Prisoner's Dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 24, No. 3, s. 379–403.
- Axelrod, Robert (1981): The Emergence of Cooperation among Egoists. *American Political Science Review*, Vol. 75, No. 2, s. 306–318.
- Axelrod, Robert (1990 [1984]): *The Evolution of Cooperation*. Harmondsworth: Penguin Books.
- Axelrod, Robert (2003): Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences. *Japanese Journal for Management Information System*, Vol. 12, No. 3, s. 3–16.
- Axelrod, Robert – Dion, Douglas (1988): The Further Evolution of Cooperation. *Science*, Vol. 242, No. 4884, s. 1385–1390.
- Barabási, Albert-László – Albert, Réka (1999): Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, Vol. 286, No. 5439, s. 509–512.
- Batali, John – Kitcher, Philip (1995): Evolution of Altruism in Optional and Compulsory Games. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 175, No. 2, s. 161–171.
- Behr, Roy L. (1981): Nice Guys Finish Last – Sometimes. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 25, No. 2, s. 289–300.
- Bendor, Jonathan (1987): In Good Times and Bad: Reciprocity in and Uncertain World. *American Journal of Political Science*, Vol. 31, No. 3, s. 531–558.

- Bendor, Jonathan (1993): Uncertainty and the Evolution of Cooperation. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 37, No. 4, s. 709–734.
- Bendor, Jonathan – Kramer, Roderick M. – Stout, Suzanne (1991): When in Doubt... Cooperation in a Noisy Prisoner's Dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 35, No. 4, s. 691–719.
- Bendor, Jonathan – Kramer, Roderick – Swistak, Piotr (1996): Cooperation Under Uncertainty: What is New, What is True, and What is Important. *American Sociological Review*, Vol. 61, No. 2, s. 333–338.
- Bendor, Jonathan – Swistak, Piotr (1995): Types of Evolutionary Stability and the Problem of Cooperation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 92, No. 8, s. 3596–3600.
- Bendor, Jonathan – Swistak, Piotr (1997): The Evolutionary Stability of Cooperation. *American Political Science Review*, Vol. 91, No. 2, s. 290–307.
- Bhavnani, Ravi – Miodownik, Dan (2009): Ethnic Polarization, Ethnic Salience, and Civil War. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 53, No. 1, s. 30–49.
- Billard, Edward A. (1996): Evolutionary Strategies of Stochastic Learning Automata in the Prisoner's Dilemma. *BioSystems*, Vol. 39, No. 2, s. 93–107.
- Boerlijst, Maarten C. – Nowak, Martin A. – Sigmund, Karl (1997): The Logic of Contrition. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 185, No. 3, s. 281–293.
- Boyd, Robert (1989): Mistakes Allow Evolutionary Stability in the Repeated Prisoner's Dilemma Game. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 136, No. 1, s. 47–56.
- Boyd, Robert – Lorberbaum, Jeffrey P. (1987): No Pure Strategy is Evolutionarily Stable in the Repeated Prisoner's Dilemma Game. *Nature*, Vol. 327, No. 6117, s. 58–59.
- Brauchli, Kurt – Killingback, Timothy – Doebeli, Michael (1999): Evolution of Cooperation in Spatially Structured Populations. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 200, s. 405–417.
- Bremer, Stuart A. – Mihalka, Michael (1977): Machiavelli in Machina: Or Politics among Hexagons. In: Deutsch, Karl W. – Fritsch, Bruno – Jaguaribe, Helio – Markovits, Andrei S. (eds.): *Problems of World Modeling*. Cambridge: Ballinger, s. 303–337.
- Busch, Marc L. – Reinhardt, Eric R. (1993): Nice Strategies in a World of Relative Gains: The Problem of Cooperation under Anarchy. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 37, No. 3, s. 427–445.
- Cederman, Lars-Erik (2001): Modeling the Democratic Peace as a Kantian Selection Process. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 45, No. 4, s. 470–502.
- Cederman, Lars-Erik (2005): Computational Models of Social Forms: Advancing Generative Process Theory. *American Journal of Sociology*, Vol. 110, No. 4, s. 864–893.
- Cohen, Michael D. – Riolo, Rick L. – Axelrod, Robert (2001): The Role of Social Structure in the Maintenance of Cooperative Regimes. *Rationality and Society*, Vol. 13, No. 1, s. 5–32.
- Doebeli, Michael – Hauert, Christoph (2005): Models of Cooperation Based on the Prisoner's Dilemma and the Snowdrift Game. *Ecology Letters*, Vol. 8, No. 7, s. 748–766.
- Epstein, Joshua M. (1999): Agent-Based Computational Models and Generative Social Science. *Complexity*, Vol. 4, No. 5, s. 41–60.
- Epstein, Joshua M. (2002): Modeling Civil Violence: An Agent-Based Computational Approach. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99, Supplement 3, s. 7243–7250.
- Eshel, Ilan et al. (2000): Cooperation, Mimesis, and Local Interaction. *Sociological Methods Research*, Vol. 28, No. 3, s. 341–364.
- Evera, Stephen van (1985): Why Cooperation Failed in 1914. *World Politics*, Vol. 38, No. 1, s. 80–117.
- Farrell, Joseph – Ware, Roger (1989): Evolutionary Stability in the Repeated Prisoner's Dilemma. *Theoretical Population Biology*, Vol. 36, No. 2, s. 161–166.
- Fehr, Ernst – Fischbacher, Urs (2003): The Nature of Human Altruism. *Nature*, Vol. 425, No. 6960, s. 785–791.
- Frean, Marcus R. (1994): The Prisoner's Dilemma without Synchrony. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 257, No. 1348, s. 75–79.
- Fudenberg, Drew – Maskin, Eric (1986): The Folk Theorem in Repeated Games with Discounting or with Incomplete Information. *Econometrica*, Vol. 54, No. 3, s. 533–554.
- Fudenberg, Drew – Maskin, Eric (1990): Evolution and Cooperation in Noisy Repeated Games. *American Economic Review*, Vol. 80, No. 2, s. 274–279.
- Goldstein, Joshua S. (1995): Great-Power Cooperation under Conditions of Limited Reciprocity: From Empirical to Formal Analysis. *International Studies Quarterly*, Vol. 39, No. 4, s. 453–477.
- Gotts, Nicholas M. – Polhill, J. Gareth – Law, Alistair N. R. (2003): Agent-Based Simulation in the Study of Social Dilemmas. *Artificial Intelligence Review*, Vol. 19, No. 1, s. 3–92.
- Grim, Patrick (1995): The Greater Generosity of the Spatialized Prisoner's Dilemma. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 173, No. 4, s. 353–359.
- Hayashi, Nahoko – Yamagishi, Toshio (1998): Selective Play: Choosing Partners in an Uncertain World. *Personality and Social Psychology Review*, Vol. 2, No. 4, s. 276–289.
- Hobbes, Thomas (1998 [1651]): *Leviathan*. Oxford: Oxford University Press.
- Hofbauer, Josef – Sigmund, Karl (1998): *Evolutionary Games and Population Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hoffmann, Robert (1999): The Independent Localisations of Interaction and Learning in the Repeated Prisoner's Dilemma. *Theory and Decision*, Vol. 47, No. 1, s. 57–72.

- Hoffmann, Robert (2000): Twenty Years on: The Evolution of Cooperation Revisited. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 3, No. 2.
- Ifi, Margarita – Killingback, Timothy – Doebeli, Michael (2004): Effects of Neighbourhood Size and Connectivity on the Spatial Continuous Prisoner's Dilemma. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 231, No. 1, s. 97–106.
- Jervis, Robert (1982): Security Regimes. *International Organizations*, Vol. 36, No. 2, s. 357–378.
- Jervis, Robert (1997): *System Effects: Complexity in Political and Social Life*. Princeton: Princeton University Press.
- Johnson, Paul E. (1999): Simulation Modeling in Political Science. *American Behavioral Science*, Vol. 42, No. 10, s. 1509–1530.
- Kavalski, Emilian (2007): The Fifth Debate and the Emergence of Complex International Relations Theory: Notes on the Application of Complexity Theory to the Study of International Life. *Cambridge Review of International Affairs*, Vol. 20, No. 3, s. 435–454.
- Killingback, Timothy – Doebeli, Michael (2002): The Continuous Prisoner's Dilemma and the Evolution of Cooperation through Reciprocal Altruism with Variable Investment. *American Naturalist*, Vol. 160, No. 4, s. 421–438.
- Killingback, Timothy – Doebeli, Michael – Knowlton, Nancy (1999): Variable Investment, the Continuous Prisoner's Dilemma, and the Origin of Cooperation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 266, No. 1430, s. 1723–1728.
- Kraines, David – Kraines, Vivian (1989): Pavlov and the Prisoner's Dilemma. *Theory and Decision*, Vol. 26, No. 1, s. 47–79.
- Kreps, David M. – Milgrom, Paul – Roberts, John – Wilson, Robert (1982): Rational Cooperation in the Finitely Repeated Prisoner's Dilemma. *Journal of Economic Theory*, Vol. 27, No. 2, s. 245–252.
- Langlois, Catherine C. – Langlois, Jean-Pierre P. (2004): Provisions for Noncompliance and Treaty Value: A Game Theoretic Perspective. *International Studies Quarterly*, Vol. 48, No. 2, s. 383–408.
- Le, Stephen – Boyd, Robert (2007): Evolutionary Dynamics of the Continuous Iterated Prisoner's Dilemma. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 245, No. 2, s. 258–267.
- Lindgren, Kristian – Nordahl, Mats G. (1994): Evolutionary Dynamics of Spatial Games. *Physica D*, Vol. 75, No. 1–3, s. 292–309.
- Lorberbaum, Jeffrey (1994): No Strategy is Evolutionary Stable in the Repeated Prisoner's Dilemma. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 168, No. 2, s. 117–130.
- Macy, Michael W. – Willer, Robb (2002): From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, Vol. 28, s. 143–66.
- Majeski, Stephen J. – Fricks, Shane (1995): Conflict and Cooperation in International Relations. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 39, No. 4, s. 622–645.
- Masuda, Naoki – Aihara, Kazuyuki (2003): Spatial Prisoner's Dilemma Optimally Played in Small-World Networks. *Physics Letters A*, Vol. 313, No. 1–2, s. 55–61.
- May, Robert M. (1987): More Evolution of Cooperation. *Nature*, Vol. 327, No. 6117, s. 15–17.
- Maynard Smith, John – Price, George R. (1973): The Logic of Animal Conflict. *Nature*, Vol. 246, No. 5427, s. 15–18.
- McCarty, Nolan – Meirowitz, Adam (2007): *Political Game Theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Molander, Per (1985): The Optimal Level of Generosity in a Selfish, Uncertain Environment. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 29, No. 4, s. 611–618.
- Morrow, James D. (1994): *Game Theory for Political Scientists*. Princeton: Princeton University Press.
- Mueller, Ulrich (1987): Optimal Retaliation for Optimal Cooperation. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 31, No. 4, s. 692–724.
- Nowak, Martin A. (2006): Five Rules for the Evolution of Cooperation. *Science*, Vol. 314, No. 5805, s. 1560–1563.
- Nowak, Martin A. – May, Robert M. (1992): Evolutionary Games and Spatial Chaos. *Nature*, Vol. 359, No. 6398, s. 826–829.
- Nowak, Martin A. – Sigmund, Karl (1992): Tit for Tat in Heterogeneous Populations. *Nature*, Vol. 355, No. 6357, s. 250–253.
- Nowak, Martin A. – Sigmund, Karl (1993): A Strategy of Win-Stay, Lose-Shift That Outperforms Tit-for-Tat in the Prisoner's Dilemma Game. *Nature*, Vol. 364, No. 6432, s. 56–58.
- Nowak, Martin A. – Sigmund, Karl (1994): The Alternating Prisoner's Dilemma. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 168, No. 2, s. 219–226.
- Olson, Mancur (1971 [1965]): *The Logic of Collective Action*. Cambridge: Harvard University Press.
- Ordeshook, Peter C. (1986) *Game Theory and Political Theory: An Introduction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pelc, Andrzej – Pelc, Krzysztof J. (2009): Same Game, New Tricks: What Makes a Good Strategy in the Prisoner's Dilemma? *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 53, No. 5, s. 774–793.
- Pepinsky, Thomas B. (2005): From Agents to Outcomes: Simulation in International Relations. *European Journal of International Relations*, Vol. 11, No. 3, s. 367–394.
- Rapoport, Anatol – Chammah, Albert M. (1965): *Prisoner's Dilemma*. Ann Arbor: The University of Michigan Press.

- Reynolds, Craig W. (1987): Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. *Computer Graphics*, Vol. 21, No. 4, s. 25–34.
- Roberts, Gilbert – Sherratt, Thomas N. (1998): Development of Cooperative Relationships through Increasing Investment. *Nature*, Vol. 394, No. 6689, s. 175–179.
- Santos, Francisco C. – Pacheco, Jorge M. (2005): Scale-Free Networks Provide a Unifying Framework for the Emergence of Cooperation. *Physical Review Letters*, Vol. 95, No. 9, s. 1–4.
- Santos, Francisco C. – Pacheco, Jorge M. (2006): A New Route to the Evolution of Cooperation. *Journal of Evolutionary Biology*, Vol. 19, No. 3, s. 726–733.
- Schelling, Thomas (1978): *Micromotives and Macrobehavior*. New York: W. W. Norton & Company.
- Schuessler, Rudolf (1989): Exit Threats and Cooperation under Anarchy. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 33, No. 4, s. 728–749.
- Selten, Reinhard (1983): Evolutionary Stability in Extensive Two-Person Games. *Mathematical Social Sciences*, Vol. 5, No. 3, s. 269–363.
- Selten, Reinhard – Hammerstein, Peter (1984): Gaps in Harley’s Argument on Evolutionarily Stable Learning Rules and in the Logic of “Tit for Tat”. *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 7, No. 1, s. 115–16.
- Simon, Herbert A. (1996 [1969]): *The Sciences of the Artificial*. 3rd edition, Cambridge: MIT Press.
- Snyder, Glenn H. (1971): “Prisoner’s Dilemma” and “Chicken” Models in International Politics. *International Studies Quarterly*, Vol. 15, No. 1, s. 66–103.
- Sugden, Robert (2004 [1986]) *The Economics of Rights, Cooperation and Welfare*. Houndmills: Palgrave Macmillan.
- Taylor, Michael (1987): *The Possibility of Cooperation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Taylor, Peter D. – Jonker, Leo B. (1978): Evolutionarily Stable Strategies and Game Dynamics. *Mathematical Biosciences*, Vol. 40, No. 1–2, s. 145–156.
- Tesfatsion, Leigh – Judd, Kenneth J. (2006 eds.): *Handbook of Computational Economics: Agent-Based Computational Economics*. Amsterdam & Oxford: North-Holland.
- Trivers, Robert L. (1971): The Evolution of Reciprocal Altruism. *Quarterly Review of Biology*, Vol. 46, No. 1, s. 35–57.
- Varoufakis, Yanis – Hargreaves Heap, Shaun P. (2004): *Game Theory: A Critical Text*. 2nd Revised edition, London: Routledge.
- Wahl, Lindi M. – Nowak, Martin A. (1999): The Continuous Prisoner’s Dilemma: II. Linear Reactive Strategies with Noise. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 200, No. 3, s. 323–338.
- Waltz, Kenneth N. (1959): *Man, the State and War*. New York: Columbia University Press.
- Watts, Duncan J. – Strogatz, Steven H. (1998): Collective Dynamics of ‘Small-World’ Networks. *Nature*, Vol. 393, No. 6684, s. 440–442.
- Wu, Jianzhong – Axelrod, Robert (1995): How to Cope with Noise in the Iterated Prisoner’s Dilemma. *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 39, No. 1, s. 183–189.

Poznámka

Ďakujem Vitovi Benešovi, trom recenzentom a Grantovej agentúre Univerzity Karlovy za podporu projektu č. 73710 s názvom „Hernoteoretické modelovanie systému medzinárodných vzťahov“.

Text vznikol v rámci výskumného zámeru FSV UK č. MSM 0021620841 „Rozvoj české společnosti v EU: výzvy a rizika. (Development of the Czech Society in the EU: Challenges and Risks)“.