

Jak citovat tento příspěvek / How to Cite this Contribution

DRMOLA, Jakub. Systémová dynamika jako nástroj pro výzkum bezpečnosti. *Obrana a strategie*. 2014, roč. 14, č. 1, s. 15–28. ISSN 1802-7199. DOI: 10.3849/1802-7199.14.2014.01.015-028

Systémová dynamika jako nástroj pro výzkum bezpečnosti

System Dynamics as a Tool For Security Research

Jakub Drmola

Abstrakt

Tento článek představuje a vysvětluje základní principy systémové dynamiky jakožto metodologie či analytického rámce pro výzkum v oblasti bezpečnostních a strategických studií. Nabízí tak nástroj, s jehož pomocí lze zachytit a modelovat konflikty, aktéry, hrozby a bezpečnostní koncepty novým způsobem, objevovat nové kauzality a predikovat jejich chování.

Přestože se kořeny systémové dynamiky nacházejí ve zcela odlišných oborech, prosadila se v nedávných letech i ve výzkumu bezpečnosti, a to zejména při modelování aktuálních hrozeb. Kromě toho, že tento článek rozebírá klady a zápory této metody a přináší ji tak do českého prostředí, měl by čtenáři poskytnout i dostatek informací k tomu, aby porozuměl případným zahraničním textům, které systémové dynamiky využívají.

Abstract

This article aims to introduce system dynamics as a new methodology or an analytical framework for research in the field of security and strategic studies and to shed some light upon its basic principles and building blocks. It offers a tool which can describe and model conflicts, actors, threats and even whole security concepts in a new manner and discover new causalities or even predict future states in the process.

Even though the origins of system dynamics can be found in an entirely different disciplines, it recently found its place even in the domain of security research, where it is being used to model current threats. Apart from dissecting merits of this method, this article should also provide sufficient information to allow the reader to understand any other paper using system dynamics as its primary methodology.

Klíčová slova

Systémová dynamika; model; zpětná vazba.

Keywords

System dynamics; model; feedback.

ÚVOD

Výzkum bezpečnosti trpí neduhem typickým pro společenské vědy. Nemožnost systematicky kalkulovat predikce teorií, izolovat proměnné, provádět experimenty a na jejich základě jednoznačně rozhodnout o platnosti testovaných teorií, to vše je trvajícím problémem. Oproti ostatním společenským vědám (např. sociologii) jsou bezpečnostní a strategická studia navíc často ochuzena i o benefit statistických výzkumů, neboť vzorek by byl příliš malý a počet proměnných příliš vysoký. Z těchto důvodů je mnohdy přistupováno k alternativním metodám, které se výzkumu snaží dodat opakovatelnou, logickou strukturu, aniž by kladly tak vysoké nároky na kvantitu dat nebo na kontrolu proměnných, jako tomu je u experimentální metody. Jedním z těchto přístupů je i formální modelování, kam lze zařadit i systémovou dynamiku, o které pojednává tento článek.

Systémová dynamika (system dynamics) je na jednu stranu relativně starým vědeckým přístupem, ale zároveň se jedná o přístup v oblasti bezpečnosti až donedávna téměř neužívaný. Tento článek lze považovat za projev nového trendu, v jehož rámci se systémová dynamika začíná v bezpečnostních studiích postupně prosazovat. V čele adaptace nových metod pro tento stále ještě mladý obor se samozřejmě nachází zejména severoamerická a západoevropská pracoviště a tamní autoři. Proto tento text představuje jednu z prvních českých manifestací obohacování bezpečnostních a strategických studií o nástroje a koncepty systémové dynamiky.¹ Jeho cílem je tedy představení a prozkoumání systémové dynamiky z hlediska jejího uplatnění v tomto oboru.

VÝCHODISKA

Systémová dynamika je přístup, který vychází z předpokladu, že prakticky veškeré dění, procesy a jevy lze zachytit jako chování systému. V prvé řadě je ale třeba osvětlit, co je myšleno systémem. Prvním znakem systému je to, že se skládá alespoň ze dvou či více prvků. Navíc mezi těmito prvky musí probíhat nějaká interakce – pokud nějaký prvek není nijak propojen alespoň s jedním prvkem zkoumaného systému, nelze jej považovat za součást systému. Zkoumané systémy také mohou být součástí dalších systémů, pro něž mohou tvořit vstupy. Analogicky mohou být i jednotlivé součásti systému dále rozloženy na subsystémy.

Systémová dynamika se tedy zabývá především strukturou systémů a jejich chováním. Předpokladem systémové dynamiky je také to, že se nejedná o jednorázový proces, který by někdy započal, proběhl a pak byl ukončen. Naopak systém běží kontinuálně, není statický a nemá počátek ani konec. Stálá je pouze struktura systému, existence jeho dílčích prvků a vztahů mezi nimi. Síla vazeb a vzájemné ovlivňování prvků jsou ovšem proměnlivé. Zcela klíčovým konceptem systémové dynamiky je zpětná vazba (angl. feedback), která právě zaručuje to, že systém není ani jednosměrný a ani statický. Pochody a vlivy na jednom prvku (někdy též uzlu) systému ovlivňují jeho okolí a ty pak skrze zpětnou vazbu působí opět na prvek první.²

¹ Článek vznikl na základě autorovy magisterské práce: DRMOLA, Jakub. *Systémová dynamika hacktivismu*. Brno, 2013. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/171810/fss_m/. Masarykova univerzita, Fakulta sociálních studií, Katedra politologie. Vedoucí práce Mgr. Martin Bastl, Ph.D.

² To je zřejmě to hlavní, čím se systémová dynamika liší od podobných přístupů. Hlavní vlastností je trvalost a kontinuální průběh zachycovaných jevů. Systémy jsou z pohledu systémové dynamiky propojeny celou řadou zpětných vazeb, které zajišťují, že nedochází k jednorázovému lineárnímu průběhu, ale výstupy z jednoho uzlu mohou mít podstatný vliv i na jeho vlastní budoucí vstupy. Přístupy racionální volby pocházející z ekonomie či tzv. policy analysis často považují děje, problémy a jejich řešení za jednorázové stavy, které přímo ovlivňují jen kroky po nich následující. I ve strategických studiích hojně užívaná teorie her obvykle předpokládá jasnou posloupnost a lineární průběh rozhodování aktérů.

HISTORIE A UŽITÍ

Historie konceptu systémové dynamiky sahá až ke konci druhé světové války. Původní kořeny lze nalézt v tehdy rychle se rozvíjejících technologických disciplínách, které později stály u rozvoje prvních digitálních počítačů, vojenských radarových instalací a leteckých řídicích systémů. Zakladatel systémové dynamiky Jay Wright Forrester v těchto letech působil jako elektrotechnický inženýr na Massachusetts Institute of Technology (MIT) a zabýval se mimo jiné i problémem zpětné vazby u výše uvedených typů zařízení.³

Koncem 50. let se Forrester začal zabývat i oblastmi, které se již vzdalovaly od elektrických obvodů, a naopak se pomalu blížily společenským vědám. Na tyto problémy ale aplikoval svoje poznatky z budování prvních elektronických a kybernetických systémů – zejména koncept zpětné vazby. Šlo tedy o velice formální a technický (až „mechanistický“) přístup k otázkám, jako bylo řízení podniků nebo fungování měst a jejich aglomerací.⁴

Po těchto počátcích v 60. letech 20. století začala systémová dynamika rychle nabírat na popularitě a rozvíjet se i v dalších, zcela odlišných, odvětvích. Kromě již zmíněného uplatnění v oblastech managementu a ekonomie se systémová dynamika velice rychle uchytila i v přírodních vědách, a to konkrétně v biologii a ekologii. Na této bázi byla prakticky vystavěna celá idea ekosystému coby soustavy velkého množství prvků (rostlin a zvířat), která se díky svým komplexním interakcím udržuje v autonomní rovnováze.

V dalších dekádách se rozšiřovalo spektrum zachycených a analyzovaných dynamických systémů.⁵ I přesto stále dominují modely organizací, hospodářství, ekosystémů a samozřejmě technických konstrukcí a elektrických obvodů. Prosazující se modely komplexních sociálních, politických a institucionálních systémů, ovšem poukazují na přítomný potenciál a funkčnost jednotlivých nástrojů, které tento koncept poskytuje.

Značný zájem o informační bezpečnost se projevil celou řadou studií i na toto téma. Tyto texty se obvykle snaží odhalit neevidentní a skryté kauzality mezi chováním zaměstnanců, informačními úniky, politikou postižených institucí, bezpečnostními důsledky jejich aktivit a v neposlední řadě i možnostmi, jak lze všechny tyto faktory ovlivnit.⁶ Blízko k bezpečnostním studiím má i dynamický model australské celní správy, který analyzuje ochranu místní populace před importem bakterií antraxu.⁷

Zapotřebí je vyzdvihnout několik modelů, které systémové dynamiky využívají k mapování a k analýze přímo bezpečnostních problémů. V posledním desetiletí vzrostl zájem hlavně o terorismus

³ RADZICKI, Michael J. a TAYLOR, Robert A. *Introduction to System Dynamics* [online]. U.S. Department of Energy, Office of Policy and International Affairs, 1997. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z:

<http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/inside.htm>

⁴ viz FORRESTER, Jay W. *Industrial Dynamics*. Waltham, MA: Pegasus Communications, 1999 (orig. MIT Press, 1961). 464 s. ISBN 1-883823-36-6.

a FORRESTER, Jay W. *Urban Dynamics*. Waltham, MA: Pegasus Communications, 1999 (orig. MIT Press, 1969). 285 s. ISBN 1-883823-39-0.

⁵ Šíří spektra problémů, kterými se systémová dynamika dokáže zabývat, a poměry zastoupení jednotlivých oblastí výzkumu lze získat z čtvrtletníku *System Dynamics Review*. Ten prostřednictvím Wiley InterScience, Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/%28ISSN%291099-1727/issues>, vydává přímo System Dynamics Society, Dostupné z <http://www.systemdynamics.org/>.

⁶ FOROUGHI, Farhad. *The Application of System Dynamics for Managing Information Security Insider-Threats of IT Organization* [online]. University of Sunderland, London, 2008. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z:

http://www.iaeng.org/publication/WCE2008/WCE2008_pp528-531.pdf

GONZALEZ, Jose J., MOORE, Andrew P. a SARRIEGUI, Jose Maria et al. *Preliminary System Dynamics Maps of the Insider Cyber-threat Problem* [online]. Carnegie Mellon University, 2004. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: www.cert.org/archive/pdf/InsiderThreatSystemDynamics.pdf

⁷ CAVANA Robert Y. a MARES, Edwin D. Integrating critical thinking and systems thinking: from premises to causal loops. *System Dynamics Review*. 2004, roč. 20, č. 3, s. 223–235. Wiley InterScience. ISSN 1099–1727

a vzbouřenečství – např. model etnického terorismu mapující vztahy mezi vládní politikou a chováním etnických skupin⁸ nebo model zaměřený na interakce mezi aktéry blízkovýchodního islámského terorismu a probíhající americkou vojenskou intervencí.⁹ Lze nalézt i analýzy struktury teroristických sítí, jejich fungování z hlediska vnitřního řízení a koordinace jednotlivých částí.¹⁰

Paralelně se rozvíjí i studie modelující dynamiku protiteroristické nebo protivzbouřenecké (*counterinsurgency*) politiky národních bezpečnostních institucí či celých států.¹¹ Obecnější pohled na využívání systémové dynamiky k modelování, porozumění i k predikci chování složitých bezpečnostních interakcí celé soustavy aktérů nabízí Choucri et al.¹² Ta mimo jiné předkládá modely stability režimu či „koloběhu“ disidentů a vzbouřenců.

STRUKTURA

Tato kapitola se již zabývá stavebními prvky dynamických systémů a jejich vizualizací. Hlavními stavebními kameny předkládaných modelů jsou tzv. „spoj“ (*link*) a „proměnná“ (*variable*). Proměnná vyjadřuje hodnotu nějaké veličiny, úroveň, velikost, intenzitu a podobně. Tato proměnná se typicky nějak váže ke sledované entitě (stát, podnik, živočich...), nemusí být nutně přesně kvantifikovatelná a může být i poměrně obecná. Nicméně její jednotlivé hodnoty musí být alespoň navzájem porovnatelné a seřaditelné (ordinální). Jinými slovy musí být schopna růstu nebo poklesu a pozorovatel musí být schopen rozeznat, která hodnota pozorované veličiny je vyšší a která je nižší. Autor, který model konstruuje, si tedy musí vhodně určit, jaké proměnné bude sledovat a jak je zachytí (neboli operacionalizuje).

Spoje znázorňují implicitně jednosměrné vztahy a závislosti mezi jednotlivými proměnnými. Zachycují to, že změna hodnoty jedné proměnné vyvolá změnu hodnoty u jiné, spojen s ní propojené proměnné. Spoje mají definovaný směr působení (tzv. polarita), který je v diagramu schematicky zachycen znaménky + nebo -. Znaménko + značí, že roste-li první proměnná, způsobí růst i u druhé proměnné. Naopak znaménko – značí, že pokud první proměnná roste, spoj způsobí pokles na proměnné s ní spojené.

⁸ AKCAM Bahadır K. a ASAL, Victor. *The Dynamics of Ethnic Terrorism* [online]. University at Albany, State University of New York, 2005. System Dynamics Research Colloquium. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2005/proceed/papers/AKCAM225.pdf>

⁹ GIL, Benigno R. A., MATSUURA, Masahiro, MONZON, Carlos M. a SAMOTHRAKIS, Ioannis. *The Use of System Dynamics Analysis and Modeling Techniques to Explore Policy Levers in the Fight Against Middle Eastern Terrorist Groups* [online]. Naval Postgraduate School, California, 2005. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA435682>

¹⁰ SCHOENENBERGER, Lukas, SCHENKER-WICKI, Andrea a BECK, Mathias. *Analysis of a Terror Network from a System Dynamics Perspective* [online]. University of Zurich, Department of Business Administration, 2012. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2171240

MADNICK, Stuart a SIEGEL, Michael. *A System Dynamics (SD) Approach to Modeling and Understanding Terrorist Networks* [online]. Massachusetts Institute of Technology, Political Science Department, 2007. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://web.mit.edu/smadnick/www/Projects/PAINT/PAINT%20Proposal.pdf>

¹¹ SMITH, Roger. *Counter Terrorism Simulation: A New Breed of Federation* [online]. Florida, Simulation Interoperability Workshop, 2002. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://www.modelbenders.com/papers/02S-SIW-004.pdf>

LEWLING, Tara a SIEBER, Otto. *Using Systems Dynamics to Explore Effects of Counterterrorism Policy* [online]. Naval Postgraduate School, California, 2007. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://www.computer.org/csdl/proceedings/hicss/2007/2755/00/27550198.pdf>

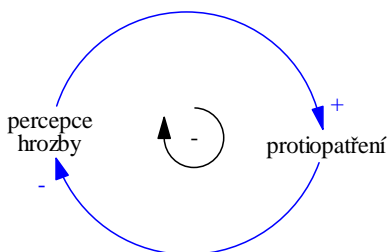
WAKELAND, Wayne W. a MEDINA, Una E. *Comparing Discrete Simulation and System Dynamics: Modeling an Anti-insurgency Influence Operation* [online]. Conference of the System Dynamics Society, Korea, 2010. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2010/proceed/papers/P1276.pdf>

¹² CHOUCRI, Nazli et al. *Understanding & Modeling State Stability: Exploiting System Dynamics* [online]. MIT. IEEE Aerospace Conference, Montana, 2006. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://web.mit.edu/smadnick/www/wp/2006-02.pdf>



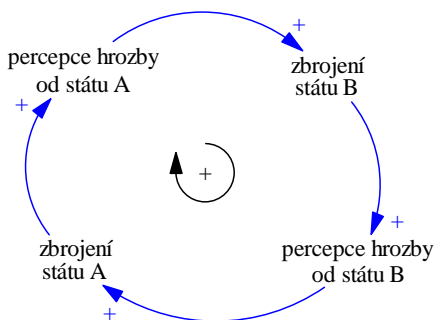
Obr. 1

Obr. 1¹³ zachycuje triviální příkladovou situaci, kdy stát vnímá nějakou hrozbu, a čím silnější tato percepce je, tím více bude investovat do potřebných protiopatření. Pokud vnímaná hrozba již nebude tak silná, protiopatření rovněž poklesnou. Druhá proměnná se tedy mění v závislosti na první, a to stejným směrem. Jednoduchou úpravou a přidáním zpětné vazby lze názorně zobrazit situaci, kdy jsou prováděná opatření vnímána jako úspěšná a subjektivní pocit ohrožení se tak snižuje (obr. 2). Vzniká tak jednoduchý systém, který se udržuje v rovnováze. Zvýšená percepce hrozby vede ke zvýšení investic do protiopatření, které následně vedou k poklesu vnímané hrozby atd. Celková polarita zpětnovazební kauzální smyčky navíc může být znázorněna symbolem + či - v jejím středu, a to včetně naznačeného směru působení.¹⁴



Obr. 2

Opačnou dynamiku systému (posilující se zpětnou vazbou) lze zobrazit například přidáním proměnných, které reprezentují druhého aktéra. V tomto konkrétním případě se jedná o stát, který se cítí být ohrožen zbrojením svého konkurenta. Vzniká tak klasické bezpečnostní dilema (obr. 3).



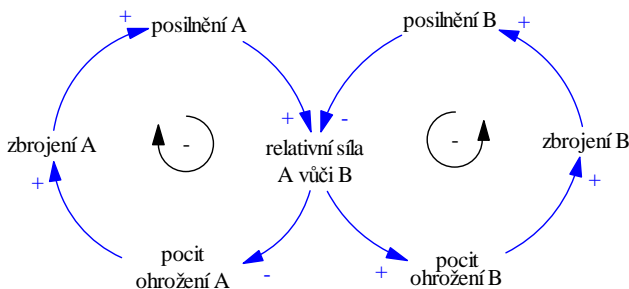
Obr. 3

¹³ K technickému a grafickému zpracování předkládaných modelů byla použita aplikace Vensim PLE verze 6.1 (akademická licence) od společnosti Ventana Systems, Inc (www.vensim.com).

¹⁴ RADZICKI a TAYLOR, ref. 3

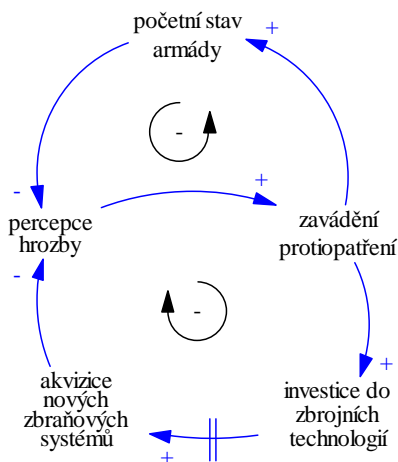
Zbrojení jednoho státu vyvolává pocit ohrožení u státu druhého, který reaguje dalším zbrojením. Vzhledem k tomu, že všechny spoje jsou pozitivní (nesou znaménko +), roztáčí se tak spirála zbrojení, stupňujícího se vzájemného ohrožení a nekončící eskalace. Různé kombinace pozitivních a negativních zpětných vazeb v celém systému pak mohou vést kromě eskalace (někdy označované jako tzv. *runaway effect*) například i k oscilaci.

Bezpečnostní dilema lze vyjádřit i komplexnějším způsobem, který lépe zachycuje vliv rovnováhy sil a střídavého zbrojení (obr. 4).



Obr. 4

U spojů může hrát významnou roli také zpoždění (*delay*). V některých případech totiž trvá delší dobu, než se změna na jedné proměnné projeví na proměnné za ní následující.¹⁵ V takovém případě je užito speciálního symbolu „přerušení“ na zaznačeném spoji (obr. 5).



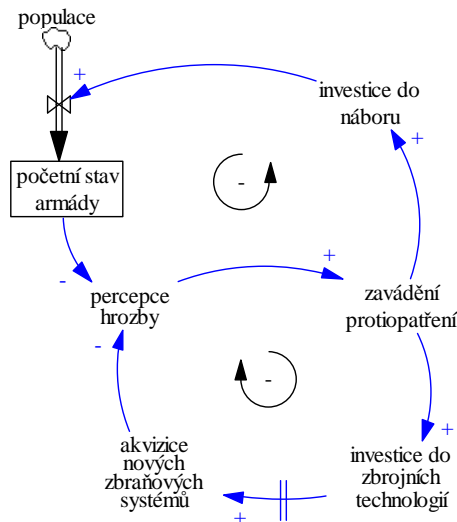
Obr. 5

Příkladem mohou být třeba investice do nových zbrojních technologií, ke kterým přikročí ohrožený stát. Vědecký vývoj a následná aplikace takto získaných poznatků v nových praktických zbraních trvá relativně dlouhou dobu a tak se pozitivní účinek projeví až se zpožděním. Oproti tomu intenzivnější nábor do ozbrojených sil se projeví rychleji. Kromě rychlosti existují mezi dvěma zobrazenými variantami protiopatření i další rozdíly (např. ekonomický dopad), ale ty v tomto konkrétním

¹⁵ Zpoždění může vyjadřovat také to, že proměnná musí nabýt jisté hodnoty, než začne působit na další prvek v systému.

ukázkovém diagramu nejsou podstatné. Je také zřejmé, že užití zpoždění je relativní a záleží i na celkovém časovém měřítku, v němž je model zachycen. Je na úsudku autora, zda je přenesení vlivu po spoji skutečně o tolik pomalejší, že jej oproti ostatním lze považovat za spoj se zpožděním.

Dalším význačným prvkem je tok (*flow*). Zatímco spoje přenášejí spíše informace, toky obvykle spojují systém s okolím a zachycují proudění nějaké hmoty nebo energie. Toky lze využít k obohacení předchozího diagramu o přesnější zachycení mechanismu rekrutace do ozbrojených sil:



Obr. 6

Na obr. 6 je vidět přítok nových rekrutů do armády. „Mrak“ na samém vrcholu diagramu¹⁶ představuje neohraničené okolí systému. Zde konkrétně jde o populaci, ze které je možné rekrutovat nové vojáky. Jinými slovy z mraku/populace „tečou vojáci do armády“. „Početní stav armády“ představuje hladinu (či zásobník, angl. *stock*), jejíž úroveň je dána rychlostí konverze (neboli průtokem) materiálu (neboli lidí) z vnější populace do armády. Důležité je, že průtok (znázorněn symbolem ventilu)¹⁷ je proměnlivý a je kauzálně propojen se zbytkem systému. V tomto konkrétním případě je rychlost náboru nových vojáků závislá na investicích, které plynou ze zavádění nových protiopatření – vysoké investice do náboru zvýší průtok, nízké investice sníží průtok. Podobně je do systému zapojen i početní stav armády, který ovlivňuje percepce hrozeb. Početná a silná armáda zahání pocit ohrožení a naopak vyvolává subjektivní pocit bezpečí, který posléze snižuje pocíťovanou potřebu nových protiopatření.

VLASTNOSTI

Modely dynamických systémů lze dělit na mnoho druhů a podle mnoha vlastností. Pravděpodobně nejviditelnějším dělením je to, zda se jedná o model materiální či ideální. Analogické je dělení na tvrdé a měkké systémy. Materiální modely jsou ty, které zachycují existující hmotné struktury a systémy,

¹⁶ Na orientaci ovšem nezáleží. U všech symbolů v diagramech je zcela lhostejné zda směřují zleva doprava, shora dolů, či naopak. Ani směr otáčení po směru nebo proti směru hodinových ručiček nehraje u jednotlivých zpětnovazebních smyček žádnou roli. Důležitá je jen polarita a odkud kam toky a spoje směřují.

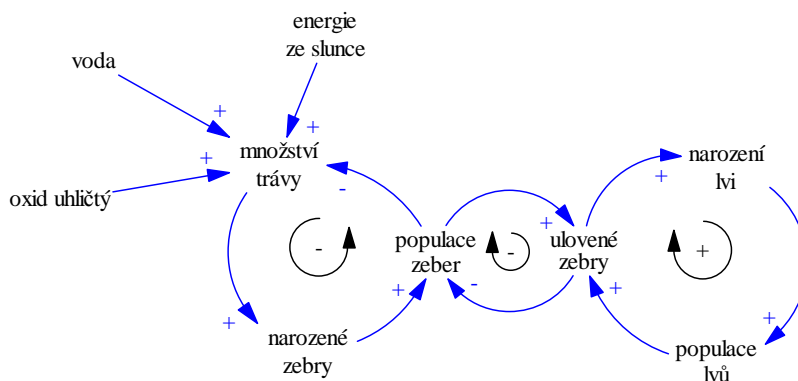
¹⁷ Přestože čistě z hlediska teorie je okolí neomezené a kapacita mraku je nekonečná, v praxi tato situace nastává jen málokdy. Je nutné mít na paměti, že každý model a každý diagram je nutně zjednodušením reality. Jeho užití tak představuje implicitní předpoklad, že tok je omezen pouze průtokem ventilu a mrakem představovaný zásobník se nikdy nevyčerpá.

případně ty, které budou existovat v budoucnu. Může se jednat o modely průmyslových strojů, zbraní, atd. Ideální modely jsou všechny ostatní, tedy ty nehmotné, kterými proudí zejména informace.

Ideální modely lze dále dělit podle způsobu jejich zaznamenání: na matematické, počítačové a schematické.¹⁸ Hranice mezi nimi ale nejsou zcela jednoznačné (zejména mezi matematickým a počítačovým). Prakticky všechny modely diskutované v tomto článku lze označit za schematické.

Systémy lze také dělit na uzavřené (též zvané autonomní, nezávislé) a otevřené (neautonomní, závislé). Rozdíl spočívá v tom, zda je systém spojen s okolím, vyměňuje s ním informace, energii a hmotu, či nikoliv. Ve fyzikální realitě lze jen obtížně hledat skutečně uzavřené, autonomní systémy, které by svým okolím nebyly vůbec ovlivněny. V rámci modelování je ovšem běžné, že takové vlivy lze považovat za zanedbatelné a nějaký systém za uzavřený. Při modelování sociálních systémů lze v zájmu jednoduchosti a přehlednosti také některé vlivy okolí a výstupy systému pominout.

Poměrně běžné jsou systémy, které mají jednosměrné vnější (exogenní) vstupy, které ovlivňují chod systému, ale neexistuje žádná (nebo jen prakticky zcela zanedbatelná) zpětná vazba, skrze kterou by systém působil na tento vnější vliv. Aby zde bylo fungování modelů systémové dynamiky demonstrováno i na „nebezpečnostních“ příkladech, je možné si takový případ ukázat na velmi zjednodušeném modelu dynamického ekosystému (obr. 7).



Obr. 7

Zde vidíme jednoduchou interakci zebry a lvů. Jedná se o triviální situaci, kdy se tyto populace navzájem udržují v rovnováze, neboť vyšší populace lvů vede ke snížení populace zebry a nízká populace zebry sníží počty lvů. Na levé straně můžeme vidět vnější vstupy – vodu v půdě, oxid uhličitý v atmosféře a energii ze slunce, které skrze fotosyntézu probíhající v trávě „živí“ populaci zebry a tím vlastně i lvů. Ani jedno ze zachycených zvířat ale nemá reálnou šanci jakkoliv ovlivnit to, jak velké tyto vnější vstupy budou a například kolik energie slunce do systému dodá.

Zcela zásadním parametrem charakterizujícím jednotlivé modely dynamických systémů je to, zda se jedná o model kvalitativní či kvantitativní.¹⁹ Vzhledem k původu systémové dynamiky v exaktních vědách je přirozenou ambicí budovat modely kvantitativní. To se týká hlavně materiálních/tvrdých modelů a samozřejmě všech matematických a počítačových. Rovněž i ekonomické a biologické schematické modely směřují ke kvantitativním výsledkům.

¹⁸ POSPÍŠIL, Zdeněk. *Dynamické systémy a systémová dynamika* [online]. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav matematiky a statistiky, 2009. [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: http://www.math.muni.cz/~pospisi/FILES/DynSys_SysDyn.pdf

¹⁹ WOLSTENHOLME, Eric. *Qualitative v. Quantitative Modelling: The Evolving Balance*. 1998 International System Dynamics Conference. [cit. 2014-5-7]. Dostupné z: <http://www.systemdynamics.org/conferences/1998/PROCEED/00071.PDF>

Ty totiž přesněji zachycují přítomné závislosti mezi prvky, neboť kromě „směru“ vztahu (pozitivní a negativní polarita, +/-) pracují i s jeho přesnou „silou“. Jsou tak schopny zachytit, kolikrát či o kolik (lineárně, exponenciálně atp.) se zvětší jedna proměnná v závislosti na jiné proměnné. Vybudování takového modelu poskytuje kromě přesnějšího popisu systému i daleko silnější prediktivní schopnosti.

Je ale zřejmé, že sociální, politologické a jim příbuzné systémy půjde zachytit formou kvantitativních modelů jen obtížně. Často nebývá v silách výzkumníka matematicky vyjádřit třeba to, kolikrát se zvýší subjektivní pocit ohrožení veřejnosti, když sousední stát zdvojnásobí rozpočet námořnictva. K vybudování takového modelu je totiž nutné, aby všechny proměnné byly kardinálního typu, což už samo o sobě může být v oblasti bezpečnostních studií problematické. Exaktní vyjádření všech vztahů mezi nimi je ještě komplikovanější.

Proto řada výzkumů užívajících systémové dynamiky k popisu či analýze komplexních sociálních systémů zůstává pouze u kvalitativních modelů. Jistou „náhražkou“ přesných matematických vztahů je zachycování relativní síly spojů. Alternativou je prvotní vybudování kvalitativního modelu jako jakési kostry, na jejímž základě je pak vystavěna matematická nadstavba.

Další důležitou vlastností systémové dynamiky a jejích modelů je již výše zmiňovaná nelinearita. Lze rozlišit přinejmenším tři typy (ne)linearity.²⁰ Tou první je linearita časová, která stojí v opozici k cyklicitě. Na čas lze nahlížet jako na jednosměrný proces, souslednost stavů, která směřuje od počátku k nějakému konci (byť může obojí ležet v nekonečnu). Cyklický čas je naproti tomu charakteristický opakovaním stavů, absencí začátku či konce. Děje se pouze proměňují, ale nepomíjí zcela. Cyklický čas je často přítomný v různých mytologiích.

Z pohledu fyziky je čas zcela lineární, neopakuje se a vše je pomíjivé. Systémová dynamika si ale bere za své oba koncepty času. Z pohledu celého systému považuje čas za cyklický, neboť systém trvá a „běží stále“. Systém jako takový nemá začátek a nemá ani konec. Určit lze pouze bod, od kdy jsme systém začali modelovat a pozorovat.

Na druhou stranu jednotlivé veličiny a proměnné respektují lineární čas a je možné sledovat jejich vývoj. Hodnoty se tedy stále mění v závislosti na plynoucím čase a „jdou kupředu“. Toho je využíváno především v kvantitativních modelech, u kterých je přesně sledován průběh jednotlivých proměnných a jejich měnící se hodnoty. Na tomto principu stojí i predikce budoucích stavů systému, neboť přestože systém samotný je z hlediska teorie „věčný“ (resp. nepočítá se se změnou jeho struktury), jeho celkový stav se v čase vyvíjí.

Druhou nelinearitou je nelinearita vazeb. Ta je vlastně jednou z hlavních charakteristik celého konceptu systémové dynamiky. Jednotlivé prvky nejsou propojeny pouze lineárně (neboli za sebou), ale naopak i zpětně a na přeskáčku. Vznikají tak charakteristické zpětnovazební smyčky (*feedback loops*), které ovlivňují chování celého systému. Ty často vedou k jinak obtížně zachytitelným stavům, kdy prvek systému je sám sobě vstupem a proměnná zprostředkovaně ovlivňuje vlastní hodnotu.

Třetí je nelinearita funkčních závislostí. Z pohledu matematických modelů to znamená jen to, že vyjádříme-li vzájemné vztahy jednotlivých proměnných, můžeme kromě lineárních funkcí závislosti dostat i funkce logaritmické, exponenciální, goniometrické, rekurzivní, iracionální a další. Z pohledu bezpečnostních studií je ale zajímavější obecnější, méně matematické vyjádření nelinearity závislosti. V tomto smyslu nelinearita značí „nepřiměřenost reakcí na změnu v systému“. I malá změna na jedné proměnné může vyvolat obrovské, až katastrofické výkyvy hodnot jinde v systému. Jedná se vlastně o známý princip *mávnutí motýlích křídel*. Systémová dynamika se ale snaží stopovat tu kauzální souslednost, během které se z onoho mávnutí stane hurikán. Tato nelinearita však platí i v opačném směru, nejedná se pouze o posilování účinků (tzv. amplifikaci). Zdánlivě rozhodující změny na jednom z prvků systému mohou být jeho okolím absorbovány a vyrušeny.

²⁰ POSPÍŠIL, ref. 18

Sporným teoretickým bodem je cíl systému. Někteří autoři považují cíl přímo za definiční znak systému.²¹ Tento názor ale není přijímán univerzálně, a obvykle se má smysl o cílech systému bavit pouze u systémů vědomě stvořených člověkem. Další kladou důraz spíše na cíl modelu samotného, a nikoliv na cíl systému.²² Někteří zase kladou důraz na stabilitu systému.²³ U přirozených systémů, které se utvořily spontánně, aniž by je někdo řídil, lze jasné cíle hledat hůře. Zatímco mechanické systémy (např. spalovací motor), elektronické systémy (např. televizor) i organizační a ekonomické systémy (soukromý podnik, státní bezpečnostní instituce, teroristické buňky) mají nepochybně své stanovené cíle, obtížněji bychom hledali cíle například u systému cirkulace vody v atmosféře či oběhu těles ve sluneční soustavě.

Podobně problematické jsou i systémy sociální a bezpečnostní. Je složitou otázkou, zda například společný dynamický systém vzájemných interakcí mezi několika válčícími státy nebo mezi vzbouřeneckou skupinou a misí UN, má nějaký celkový cíl. Dílčí aktéři (zachytitelní pomocí subsystémů) nepochybně své cíle mají – zničit protivníka, zvítězit, získat moc atd. Je tedy cílem celého systému vyřešení konfliktu a porážka jedné ze stran? Nebo snad jeho udržení v rovnovážném stavu?

Tato otázka se ale blíží spíše filosofii a na praktické aplikace systémové dynamiky v bezpečnostních studiích nemá její zodpovězení či nezodpovězení zásadní vliv. K budování deskriptivního modelu ani ke studiu jeho fungování nebývá zapotřebí mít na vědomí nějaký cílový stav, kterého by systém měl dosáhnout. Opačná situace ovšem panuje v případě, kdy je model navrhován s tím, že poslouží jako předloha budoucímu materiálnímu systému. V takovém případě je samozřejmě nutné mít cílovou funkci takového systému stále na paměti. Je tím ale splněn argument, že se jedná o člověkem vědomě stvořený systém a ne o popis spontánně se vyskytujícího systému.

VÝSTUPY

Jak vyplývá z předchozích odstavců, systémová dynamika dokáže odhalit kontrainuitivní chování modelovaných systémů. Správně vybudovaný model tak může sloužit k lepšímu porozumění než pouhé abstraktní myšlení a vyvozování závěrů na základě intuice či subjektivní zkušenosti. Kromě lepšího pochopení fungování systému a vztahů mezi jeho prvky mohou modely sloužit i k predikci budoucího vývoje. Potřeba formální dekonstrukce navíc roste s komplexitou systému. Systémová dynamika tak napomáhá vyvážit přirozenou chatrnost lidské mysli, která je zatížena celou řadou kulturních předsudků, zažitých představ, zkrslým vnímáním, emocemi, logickými klamy, disonancí a dalšími kognitivními poruchami, které působí na lidské uvažování. Systémová dynamika je samozřejmě nemůže zcela eliminovat, neboť samotná konstrukce modelů a mapování vztahů uvnitř systému závisí na lidské mysli.

Znalost systému (včetně jeho nelinearity a kontrainuitivních kauzalit) a schopnost předpovídat jeho budoucí stav v závislosti na vstupech na jednotlivých uzlech umožňuje také hledat řešení pro žádoucí stavy. Otevírá se tak prostor pro cílené ovlivňování chodu systému skrze řízené zásahy, neboť lze zjistit, jak nejlépe dosáhnout kýžené hodnoty konkrétní proměnné pomocí ovlivňování jiné proměnné. V případě ekonomických systémů může jít o maximalizaci návratnosti investic, v ekologii o udržení celého ekosystému v rovnovážném stavu a přežití všech druhů. V případě bezpečnostních systémů může být takovým zájmem minimalizace hrozeb, porážka protivníka nebo stabilizace systému.

Toho lze využít při tvorbě bezpečnostní politiky, která by hledala dosažení co nejlepších výsledků s vynaložením co nejmenších nákladů, času a energie (aneb „*high-leverage policy*“). Důkladným studiem struktury a chodu systému by také šlo předejít kontraproduktivním intuitivním „řešením“,

²¹ MILDEOVÁ, Stanislava, VOJTKO, Viktor a kol. *Systémová dynamika*. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, Nakladatelství Oeconomia, 2008. 150 s. ISBN 978-80-245-1448-2.

²² POSPÍŠIL, ref. 18, s. 14–15

²³ CHOUCRI, ref. 12

kdy zdánlivě zřejmý a optimální postup nakonec vede k zanedbatelným výsledkům („*low-leverage policy*“), či dokonce ke zcela protichůdným a nežádoucím účinkům, kdy se systém „brání“.²⁴

BUDOVÁNÍ MODELU

Prvním krokem budování modelu je především stanovení cílů, které by měl model (nikoliv systém) splňovat. Neboli proč by model měl vzniknout, k čemu bude, jakým funkcím bude sloužit. Možné funkce modelů byly již rozebrány v kapitole o jejich vlastnostech (deskripce, predikce atp.). Neméně důležité je i kritické zhodnocení, zda model vůbec těchto cílů může dosáhnout. To je třeba opět zhodnotit po dokončení modelování, případně i v jednotlivých mezikrocích. Je však důležité si uvědomit, že také zde platí, že i negativní výsledek je stále výsledek. Neúspěšný pokus o vybudování modelu může svědčit o tom, že systém se chová zcela jinak, než bylo doposud všeobecně předpokládáno, že systém zahrnuje proměnné, které do něj zdánlivě nepatří, nebo že naopak nedochází k interakcím s prvky, které byly považovány za součást systému a ve skutečnosti se tak jedná o vícero nezávislých systémů. Takové poznatky jsou nepochybně také zajímavé.

Obecně lze popsat i jednotlivé etapy budování modelu. Prvním krokem je mentální model v mysli „modeláře“, na nějž navazuje pojmový model. Ten je následně formalizován do podoby diagramu (kauzální model, někdy označovaný i jako diagram kauzálních smyček). Pokud je to prakticky možné, posledním krokem je převedení diagramu do matematické nebo počítačové formy, se kterou mohou být prováděny početní operace a simulace.²⁵

Důležitá je průběžná komparace chování modelu s původní předlohou (se systémem, který modelujeme).²⁶ To má sloužit jako kontrola, že mentální model odpovídá realitě a není příliš zkrácen již výše zmiňovanou neobjektivitou lidské mysli. Toho lze docílit porovnáváním řetězců příčin a důsledků v modelu se skutečně probíhajícím děním v systému. Analogické příčiny by měly produkovat odpovídající důsledky. Pokud stejná změna způsobí v modelu pokles proměnné, zatímco v reálném systému dojde k růstu té samé proměnné, svědčí to o chybě v modelu a musí být upraven.

Je třeba mít na paměti, že pro daný sociální komplexní systém neexistuje žádný jediný správný nebo všeobecně nejlepší model. Zatímco je možné mít model jednoznačně chybný a nefunkční, není možné dobrat se modelu stoprocentně správného. Model systému je totiž jeho zjednodušením a každé zjednodušení nutně opomíjí část reality a redukuje ji na její podstatné části. Je pak na schopnostech autora modelu, aby principů systémové dynamiky využil tak, aby v modelu zjednodušil ty nedůležité prvky a zaměřil se na ty klíčové. Stanovené cíle a jeho vlastní znalosti by měly napovědět, které prvky jsou podstatné a které ne.

Při hledání kauzalit v systému je tím hlavním nástrojem deduktivní kritické myšlení. To v systémové dynamice slouží k hledání podmínek, které vedou k pozorovaným dějům. Ve své nejjednodušší formě vede k odvozování důsledků od známých příčin. Situace je mírně komplikována tím, že jeden důsledek může mít vícero příčin a jedna příčina může vést k mnoha důsledkům. Není ale možné mít v systému důsledek bez příčiny a naopak. Jistou výjimku při modelování tvoří vnější vlivy. Ty působí jako příčiny pro důsledky v systému, ale jejich vlastní příčiny (přestože nepochybně existují) leží mimo model.²⁷

Vedle kritického (a s ním ruku v ruce jdoucího analytického) myšlení je nutné i systémové myšlení, které takto odhalené kauzality dokáže integrovat do celistvého, provázaného systému.²⁸ Je to právě systémové myšlení, které dokáže jednotlivé, kritickým myšlením odhalené závislosti „zalomit a přetavit“ do zpětnovazebních smyček. K úspěšnému spojení kritického a systémového myšlení je

²⁴ MILDEOVÁ, VOJTKO a kol, ref. 21, s. 21-22

²⁵ POSPÍŠIL, ref. 18, s. 15

²⁶ RADZICKI a TAYLOR, ref. 3

²⁷ CAVANA a MARES, ref. 7

²⁸ Srov. FORRESTER, Jay W. *Principles of Systems*. Cambridge, MA: Wright-Allen Press, 1968. ISBN 1-883823-41-2.; RADZICKI a TAYLOR, ref. 3; CAVANA a MARES, ref. 7, s. 229–332

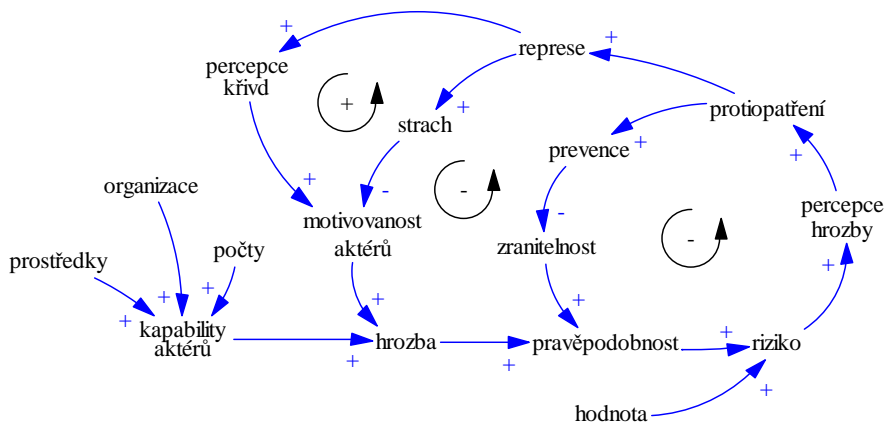
samožřejmě nutné, aby byl autor navíc důvěrně obeznámen se zájmovým prostředím, které zkoumá a modeluje.

Při modelování komplexních sociálních systémů je obzvláště důležité nalézt vhodnou rovnováhu mezi přehledností a redukcionismem na jedné straně a tím, že „vše souvisí se vším“ na straně druhé. Je také nutné a zároveň obtížné hledat rovnováhu mezi snahou o úplnost a snahou o obecnost. Jde o zcela protichůdné vlivy, neboť čím je model konkrétnější, tím lépe a přesněji může reprezentovat reálný systém (resp. předlohu, která je modelována), ale zároveň dochází k zužování spektra případů, na které lze aplikovat. To pak závisí na záměrech autora (zda chce namodelovat jeden konkrétní konflikt, nebo naopak celou širokou skupinu konfliktů) a na jeho úsudku, aby správně odhadl, kde se nachází ona kýžená rovnováha. Jedná se pochopitelně o velice mlhavou hranici.

Samotný model bývá zpravidla budován postupně.²⁹ Základ tvoří nějaký dobře známý centrální vztah a zpětná vazba. Ta může být dále rozkládána do detailů a jednotlivé vazby a spoje mohou být rozdělovány na stále konkrétnější mezikroky. Tento postup vede ke zpřesňování modelu. Druhou variantou je rozšiřování modelu, kdy je odhalováno působení již existujících prvků (proměnných) na nové, dosud nezachycené prvky. Ke známým příčinám jsou tedy odhalovány nové důsledky. Tento postup může fungovat i opačně a pro známé proměnné je možné hledat další faktory, které ovlivňují jejich hodnotu. Model je tak možné tvarovat a směřovat jej, aby plnil požadované cíle.

PŘÍKLAD MODELU

Schopnost systémové dynamiky zachytit koncepty vlastní bezpečnostním a strategickým studiím si lze demonstrovat třeba na známé rovnici rizika, kterou podrobněji rozebírá Zeman.³⁰ Rovnici lze snadno přenést do formátu systémové dynamiky a mírně ji rozšířit o příkladové zpětné vazby plynoucí z protiopatření:



Obr. 8

V pravé dolní části obr. 8 vidíme vyjádření rizika, které víceméně kopíruje původní rovnici a vyplývá z pravděpodobnosti (která je zde pomocnou proměnnou), že dojde k naplnění hrozby,

²⁹ viz AKCAM a ASAL, ref. 8

³⁰ ZEMAN, Petr. Důležité pojmy analýzy rizik a rovnice rizika. In ZEMAN, Petr. *Česká bezpečnostní terminologie: Výklad základních pojmů*. 1. vyd. Brno: Ústav strategických studií, Vojenská akademie v Brně, 2002. s. 61–66. ISBN 80-210-3037-2.

a z hodnoty, která je hrozbou ohrožena. Intencionální hrozba je dána motivovaností a kapabilitami aktérů. Pravděpodobnost je také zvyšována zranitelností, proti které působí protiopatření.

Oproti tomuto základu byla navíc protiopatření rozdělena na dvě formy – prevenci a represí –, přičemž prevence působí na zranitelnost a represe na motivovanost. Analogicky může i represe mít dvojí důsledky: zastrasování, které aktéry demotivuje, a pachání křivd, které jejich motivovanost naopak zvyšuje. Přidána byla také pomocná proměnná nazvaná percepce hrozby, která působí na protiopatření jakožto reakce na riziko. Posledním rozšířením je rozdělení kapabilit na tři dílčí faktory, jejichž vývoj lze sledovat individuálně a jejich kombinace pak určuje celkové kapability aktérů hrozeb.

Vznikají tak tři zpětnovazební smyčky (dvě tlumící a jedna eskalační), které popisují reakci systému na protiopatření proti riziku. Reakce na riziko tak ovlivňuje jeho vlastní budoucí hodnotu. Vzhledem k protichůdnému dopadu represivních opatření se tak otevírá prostor k jejich detailnější analýze, neboť pokud by převažovala percepce křivd nad vyvolaným odstrašením, jednalo by se o zcela kontraproduktivní protiopatření. Proto je důležité uvědomění si těchto kauzalit a zpětných vazeb, které plynou z akcí a reakcí jednotlivých prvků celého systému.

ZÁVĚR

Užití systémové dynamiky v bezpečnostních studiích s sebou nese celou řadu výhod. Tou nejviditelnější je vizualizace komplexních vztahů uvnitř systému, která je efektivní náhradou (často spíše doplněním) běžného slovního popisu. U velmi složitých systémů s vysokým množstvím prvků by pouhý text nebyl schopen zachytit a popsat celou situaci. Systémová dynamika a grafické znázornění jejich modelů tak napomáhá jak autorovi při jeho snaze popsat strukturu a vysvětlit chování daného konceptu či fenoménu, tak čtenáři, který se tyto informace a znalosti snaží vsfébat, pochopit a osvojit si je. Systémová dynamika dokáže zkoumaný fenomén nejen znázornit, ale také vrhnout světlo na skryté vztahy a kontrainuitivní kauzality, které by jinak mohly zůstat neodhalené.

Bezpečnostní studia pokrývají celou řadu oblastí, kde by systémovou dynamiku bylo možné taktó využít. Nejvíce se nabízejí ekonomická, ekologická, energetická a surovinová bezpečnost, neboť v těchto oborech je systémová dynamika již etablovaná a její užití zde sahá přinejmenším až do 70. let 20. stol., tedy dávno před rozšířením bezpečnostních studií o tyto nové sektory. Výzkum terorismu i vzbouřenečství prizmatem systémové dynamiky se již také začal rozmáhat, a to zejména po roce 2001. Z pohledu teorie neexistuje prakticky žádná bezpečnostní oblast, kterou by nebylo možné modelovat a zkoumat.

Problémem při aplikaci je inherentní neexaktnost bezpečnostních studií, potažmo celých sociálních věd. Kromě již zmiňované kvantifikovatelnosti je obtížná i ohraničitelnost systémů. Zatímco v materiálních systémech je zřejmé, které prvky na sebe působí a které prvky leží již mimo systém, v sociálních vědách je nalezení takové hranice typicky obtížné. V praxi je nutné se řídit jakousi „přiměřenou celistvostí“ a snahou zachytit systém tak, aby fungoval, dával smysl a zároveň byl čitelný. Bohužel neexistuje žádný objektivní parametr, podle kterého by toto dilema bylo možné konzistentně rozhodovat.

Z pohledu bezpečnostních studií může být problematický i princip neměnnosti struktury systému. Hodnoty proměnných se v systému sice stále mění, ale směry příčinných souvislostí jsou neměnné. Navzájem se ovlivňují stále stejné prvky, tvary zpětnovazebních smyček se nemění. To ovšem může být v rozporu se sociálními systémy, které svou strukturu měnit mohou. Na tomto předpokladu stojí například konstruktivismus nebo trávající úvahy o probíhající transformaci mezinárodního systému. Za těchto podmínek by bylo nutné počítat jen s omezenou platností modelovaných dynamických systémů a mít na vědomí, že vnější vlivy mohou měnit nejen hodnoty proměnných, ale přímo i strukturu systému samotného. I přesto je systémová dynamika silným výzkumným nástrojem s vysokým potenciálem.

