

## Závěrečná zpráva projektu specifického výzkumu zakázka č. 2106 / 2018

**Název projektu: Chaotické chování v časových řadách koncentrací znečištění**

### **Specifikace řešitelského týmu**

Odpovědný řešitel: Ing. Radko Kříž

Studenti doktorského studia na UHK: Ing. Radko Kříž

Studenti magisterského studia na PřF UHK:

Další výzkumní pracovníci: Prof. Ing. Bohumil Vybíral, CSc.

**Celková částka přidělené dotace: 46 871,-Kč**

Datum zahájení řešení projektu: 1. 3. 2018

Datum ukončení řešení projektu: 31. 10. 2019

**Stručný popis postupu při řešení projektu (max. 2 strany).**

Základní náhled nám ukáže rekonstrukce fázového prostoru. Fázový prostor je prostor všech možných fyzikálních stavů daného systému. To znamená, že každý bod fázového prostoru jednoznačně určuje stav uvažovaného systému. Každým bodem fázového prostoru tedy prochází jedna trajektorie popisující časový vývoj daného systému, který se nachází v daném bodě fázového prostoru. Dynamika systému může být vyšetřována dynamikou pohybu bodů ve fázovém prostoru bodů (Abarbanel et al., 1993). Všechny body fázového prostoru tedy určují všechny možné stavy, do kterých se systém může dostat. Je to tedy jakási vizualizace vývoje systému. Pokud je čas spojitý, vývojem systému vzniká ve fázovém prostoru křivka. V případě diskrétního času mluvíme o množině bodů. Křivka ve fázovém prostoru začne po určitém čase zvyrazňovat charakteristickou strukturu, která se nazývá atraktor. Pokud je atraktorem bod nebo uzavřená křivka, lze předpovědět chování tohoto systému na libovolně dlouhou dobu. Křivka se nazývá uzavřená, pokud je uzavřený i interval  $I \in \mathbb{R} \langle a, b \rangle$  a  $k(a) = k(b)$ , kde  $k$  je zobrazení z  $I$  do daného prostoru. Chaotické systémy vytvářejí chaotický atraktor, který je neuzavřený. Pro rekonstrukci fázového prostoru se nejčastěji využívá metody zpoždění vycházející z Takensovy věty (Takens, 1981). Hlavním cílem nelineární analýzy časových řad je určit, zda je daná časová řada deterministické povahy. Pokud ano, potom jsou vhodné následující otázky: Jaký je rozměr fázového prostoru daného datového souboru? Je tento datový soubor chaotický? Klíč k odpovědi na tyto otázky, je metoda zvaná rekonstrukce fázového prostoru, která vychází z Takensovi věty (Takens, 1981). Takensova věta transformuje problém predikce z extrapolace v čase do interpolace ve fázovém prostoru. Takens ve svých úvahách došel k závěru, že lze z dané časové řady zjistit typické vlastnosti atraktoru tohoto systému, a případně tuto rekonstrukci použít k předpovědím. Základní myšlenkou této úvahy je, že charakteristické vlastnosti atraktoru jsou nezávislé na volbě fázového prostoru. Každý bod atraktoru je možné popsat nejméně  $d$  nezávisle proměnnými.

Při analýze dynamických systémů je důležité určit invarianty systémů. Pro lineární systémy je invariantem Fourierova frekvence. Pro chaotické systémy je typická širokopásmová Fourierova frekvence, která je pro popis systému nevhodná. Z tohoto důvodu jsou pro popis chaotických systémů nejčastěji používány dvě základní charakteristiky a to fraktální dimenze a Lyapunovovy exponenty.

Obecně většinu vlastností chaotických systémů lze mnohem snadněji určit z rovnic, než z časových řad. Pokud by byly nalezeny odpovídající rovnice dané časové řady, dalo by se dokonce opustit analýzu časových řad a věnovat se analýze modelu. Ale tato situace je, kromě dobře kontrolovaných laboratorních experimentů, poměrně vzácná. Nicméně, analýzy samotného empirického modelu a analýzy dat generované tímto modelem, můžou otestovat konzistenci výsledků analýzy časových řad. V realitě, při vytváření modelu z dat, není záruka,

že se výsledek blíží skutečné dynamice pozorovaného systému. Chaotické dynamické systémy obecně ukazují fenomén strukturální nestability. To znamená, že modely s velmi podobnými parametry mohou vykazovat kvalitativně odlišnou globální dynamiku. V rekonstruovaném fázovém prostoru můžeme určit vztah mezi následujícím a současným stavem následovně:"

$$X(t + T) = f(X(t))$$

kde "T" představuje počet časových kroků dopředu předpovědi. Funkce f představuje aproximaci neznámého dynamického systému. Je ukázáno, že pro dostatečně velké hodnoty dimenze vnoření a jsou-li splněny některé další podmínky, zrekonstruovaná trajektorie má stejné topologické a geometrické vlastnosti jako fázový prostor trajektorie systému (Takens, 1981). To znamená, že pokud jsou splněny podmínky Takensovi věty, toto mapování zachycuje některé vlastnosti neznámého dynamického systému.

$$X(t + T) = f_p(X(t))$$

Cílem je najít prediktor  $f_p$ , který by predikoval  $x(t + T)$  na základě rekonstruované časové řady. V případě, že časová řada je chaotická, pak  $f_p$  je nutně nelineární. Existuje mnoho přístupů (lokálních i globálních) k nalezení vhodného prediktora  $f_p$ .

- Abarbanel, H. D., Brown, R., Sidorowich, J. J., Tsimring, L. S. 1993. The analysis of observed chaotic data in physical systems. *Reviews of modern physics*. 65(4). 1331.
- Abarbanel, H. D. I. 1996. *Analysis of Observed Chaotic Data*. Springer. New York. p. 272. ISBN: 9780387983721.
- Farmer, D. J., Sidorowich, J. J. 1987. Predicting chaotic time series. *Phys. Rev. Lett.* 59. 85-848.
- Kennel, M. B., Brown, R., Abarbanel, H. D. 1992. Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction. *Physical review A*. 45(6). 3403.
- Koçak, K., Şaylan, L., Şen, O. 2000. Nonlinear time series prediction of O3 concentration in Istanbul. *Atmospheric Environment*. 34(8). 1267-1271.

Takens, F. 1981. Detecting strange attractors in turbulence. In: Rand, D., Young, L., (eds.). *Dynamical Systems and Turbulence*. Springer Berlin Heidelberg. p. 366-381. ISBN: 9783540111719

### **Splnění cílů řešení a přínos projektu.**

Doktorand úspěšně řešil uvedený projekt. Doktorand se účastnil mezinárodní konference a prezentoval své výsledky ve dvou prezentacích. Oba příspěvky byly zařazeny do sborníku konference, který je indexován ve WoS. SGEM Title: International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM ISSN 1314-2704

### **Splnění kontrolovatelných výsledků řešení.**

Uveďte jen výstupy, které vznikly na základě řešení tohoto projektu. Dále uveďte, zda byly publikace skutečně zadány do OBD s vazbou na RIV. Následující publikace byly zadány do OBD:

Kriz, Radko. (2018). CHAOTIC BEHAVIOR IN THE TIME SERIES OF POLLUTION CONCENTRATION. Conference: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018 DOI: 10.5593/sgem2018/4.2/S19.048.

Kriz, Radko. (2018). CHAOTIC ANALYSIS OF DISTURBANCE REGIME IN THE PRIMARY FORESTS. Conference: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018 DOI: 10.5593/sgem2018/4.2/S19.048.



**Tab. 1 Sumář výstupů řešení projektu**

Typ výstupu	Plán	Skutečnost	Poznámka
<b>Hodnocené výstupy projektu</b>			
Jimp (databáze WoS)			
Jsc (databáze Scopus)	1		
B (recenzovaná odborná kniha)*			
C (kapitola v recenzované odborné knize)*			
D (článek ve sborníku ve WoS, Scopus)	1	2	
P (patent)			
<b>Počet výsledků</b>			
<b>Nehodnocené výstupy projektu</b>			
Počet obhájených dizertačních prací			
Počet obhájených diplomových prací			
<b>Počet výsledků</b>	2	2	

**Ke zprávě přiložte:**

- a) kopie publikačních výstupů,
- b) výpis z OBD – výstupy podpořené tímto projektem.

Datum: 28. 11. 2019

Podpis odpovědného řešitele:



---

\* Pouze renomovaná nakladatelství Elsevier, Springer, Bentham apod.

## Seznam literatury podle šablony ID záznamu

[1]Kříž, R. CHAOTIC BEHAVIOR IN THE TIME SERIES OF POLLUTION CONCENTRATION. *Ecology, economics, education and legislation : conference proceedings*. Sofia : SGEM, 2018. 8s. ISBN: 978-619-7105-18-6. ISSN: 1314-2704.  
granty: 0  
Spec. výzkum: S.  
Forma: D\_ČLÁNEK VE SBORNÍKU  
(ID: 43874633) (RIV ID: 50015023)

---

[2]Kříž, R. CHAOTIC ANALYSIS OF DISTURBANCE REGIME IN THE PRIMARY FORESTS. *Ecology, economics, education and legislation : conference proceedings*. Sofia : SGEM, 2018. 8s. ISBN: 978-619-7105-18-6. ISSN: 1314-2704.  
granty: 0  
Spec. výzkum: S.  
Forma: D\_ČLÁNEK VE SBORNÍKU  
(ID: 43874641) (RIV ID: 50015031)

---