

# 1 Moučný červ (Tribolium)

Vývoj tohoto červa je postupně: vajíčko  $\rightarrow$  larva  $L$  (2 týdny)  $\rightarrow$  kukla  $P$  (2 týdny)  $\rightarrow$  brouk  $A$ .  
Vývoj jednotlivých fází lze popsat vztahy

$$\begin{aligned} \text{Larva: } L_{n+1} &= bA_n \\ \text{Kukla: } P_{n+1} &= L_n(1 - \mu_l) \\ \text{Brouk: } A_{n+1} &= P_n(1 - \mu_p) + A_n(1 - \mu_a), \end{aligned} \tag{1}$$

kde  $\mu_l$  je úmrtnost larev,  $\mu_p$  úmrtnost kukel a  $\mu_a$  úmrtnost brouků.

Pokud zahrneme kanibalismus, který se u těchto druhů často vyskytuje, dostaneme:

$$\begin{aligned} \text{požírání larev: } L_{n+1} &= bA_n e^{-c_{la}A_n - c_{ll}L_n} \\ \text{požírání kukel: } P_{n+1} &= L_n(1 - \mu_l) \\ \text{požírání brouků: } A_{n+1} &= P_n(1 - \mu_p)e^{-c_{pa}A_n} + A_n(1 - \mu_a), \end{aligned} \tag{2}$$

kde koeficienty byly zjištěny experimentálně jako

$$\begin{aligned} c_{la} &= 0.009 \text{ (A požírá L)} \\ c_{ll} &= 0.012 \text{ (L požírá L)} \\ c_{pa} &= 0.004 \text{ (A požírá P)} \\ \mu_l &= 0.267 \\ \mu_p &= 0 \\ \mu_a &= 0.0036 \text{ (základní úmrtnost)} \\ b &= 7.48 \text{ počet nových larev na 1 dospělého brouka za jednotku času, což je 14 dní} \end{aligned} \tag{3}$$

## 1.1 Nalezení největšího Ljapunova exponentu

Nalezení největšího Ljapunova exponentu pro  $\mu_a \in [0, 1]$  provedeme metodou.....

..... Fázový prostor  $x = P_n$ ,  $y = L_n$ ,  $z = A_n$

První bifurkace je při  $\mu_a = 0.1$ , zde se perioda 1 mění na periodu 2. Druhá bifurkace je v bodě  $\mu_a = 0.6$ , perioda 2 se mění na 1. ke třetí bifurkaci dochází při  $\mu_a = 0.954$ , kde vzniká chaotické chování.

projekt:

## 2 Po Thanosově lusknutí

Předpokládejme, že populace blouků je statisticky natolik velká, že dojde k vyhlazení poloviny populace. Tento krok lze zapsat, jako

$$\begin{aligned} \text{Larva: } L_{n+1} &= \frac{L_n}{2} \\ \text{Kukla: } P_{n+1} &= \frac{P_n}{2} \\ \text{Brouk: } A_{n+1} &= \frac{A_n}{2} \end{aligned} \tag{4}$$