

# UNIVERZITA KONŠTANTÍNA FILOZOFA V Nitre

---

*Fakulta prírodných vied*

*Katedra matematiky*

**Modelovanie pozornosti žiakov počas vyučovania pomocou kvantitatívnej  
teórie vývoja**

Študentská vedecká odborná činnosť

Nitra, 2014

Bc. Timotej Šumný

## Úvod

Počas skúškového obdobia som mal možnosť vyučovať fyziku na jednej strednej odbornej škole v mojom rodnom meste – Zlatých Moravciach. Keďže je to iná skúsenosť, než oficiálna prax v pokojných triedach gymnázia, tak som to skúsil. Trieda bola „dynamická“, bolo tu mnoho študentov so značným nezaujmom o vyučovanie. Zaujala ma myšlienka, či je možné matematicky popísať (modelovať) správanie triedy na vyučovacej hodine. Prvotný nápad bol použiť metódy teórie hier a to z toho dôvodu, že táto moderná disciplína aplikovanej matematiky má rozsiahle využitie v modelovaní riadenia ekonomických, sociálnych, biologických a iných systémov. Jedným z jej cieľov je hľadanie optimálnych stratégií „hráčov“ vzhľadom na stratégie ostatných „hráčov“. Tu sme však narazili na problém. V našom ponímaní triedy by to znamenalo, že žiak si racionálne volí stratégiu, teda spôsob, akým sa v danej chvíli na vyučovacej hodine bude správať, aby maximalizoval svoj „zisk“. Čo by týmto ziskom mohlo byť, však celkom jasné nie je. Taktiež sa zdá byť nepravdepodobné, že by žiak vždy používal svoje optimálne stratégie, ak by ich aj poznal. Z tohto dôvodu sme tento spôsob riešenia zanechali. Pre uspokojenie túžby pochopiť tento „systém“ bolo nutné siahnuť po niečom inom. Vhodný nástroj sme objavili v Krempaský (1982), kde sa autor v záverečných kapitolách venuje i aplikácii fyzikálnych princípov v oblastiach ako napríklad biológia, chémia a sociológia. Jedna z týchto kapitol má názov *Synergetika* – kvantitatívna teória vývoja.

## Cieľ práce

Cieľom tejto práce je matematicky modelovať správanie sa žiakov na vyučovacej hodine, a to nie iba slovne, ale kvantitatívne popísať „stav“ triedy počas vyučovacej hodiny a použitím metód synergetiky (kvantitatívnej teórie vývoja) vytvoriť model, ktorým by bolo možné pomocou malého množstva parametrov charakterizovať triedu.

## Synergetika

Synergetika je vedný odbor skúmajúci všeobecné zákonitosti vytvárania, stability a zániku usporiadaných časových a priestorových štruktúr v zložitých nerovnovážnych systémoch rôznej podstaty (fyzikálnych, biologických, chemických). Skúma napríklad organizáciu spoločenstiev v ekológii, spoluprácu vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti ako základ spoločenskej existencie. Synergetika je teória o kooperujúcom vývine podsystémov v rámci zložitého systému. Základy synergetiky položil nemecký fyzik M. Haken. Teóriou synergetiky sa vysvetľujú mnohé procesy vo fyzike, astronómii, ale i v ekonomike a vývine spoločnosti.

Základným matematickým princípom v synergetike je *Evolučná rovnica*, ktorej tvar je

$$\frac{\partial Y_i}{\partial t} = F_i(Y_j, \lambda_i), \quad i = 1, 2, \dots; \quad j = 1, 2, \dots \quad (1)$$

V Krempaský (2001) autor na modelovanie sociologických systémov používa *evolučnú rovnicu*. Cieľom je zistiť, ako sa vyvíja počet členov systému, z ktorých každý sa môže nachádzať v niektorom z možných stavov. Nech  $N_i^s$  predstavuje počet členov  $i$  - teho zoskupenia podľa  $s$  - tého aspektu. Nech  $p_{ij}^s$  je pravdepodobnosť prechodu zo stavu  $i$  do stavu  $j$  vzhľadom na  $s$  -tý aspekt. Pre počet členov  $N_i^s$  systému, ktorí za zvolenú časovú jednotku prejdú zo skupiny  $s$  s početnosťou  $N_j^s$  do skupiny  $N_i^s$ , potom

$$N_i^s = p_{ij}^s N_j^s.$$

Keďže počet členov systému  $N_i^s$  sa zvyšuje prechodom členov systému zo stavov  $N_j^s$  ( $i \neq j$ ) do stavu  $N_i^s$  a znižuje sa prechodom členov systému zo stavu  $N_i^s$  do stavov  $N_j^s$  ( $i \neq j$ ), tak pre časový vývoj počtu členov  $N_i^s$  platí

$$\frac{dN_i^s}{dt} = \sum_j p_{ij}^s N_j^s - \sum_j p_{ji}^s N_i^s. \quad (2)$$

Špeciálne, pre dvojjložkový uzavretý systém na základe (2) platí

$$\frac{dN_1}{dt} = p_{12} N_2 - p_{21} N_1 \quad (3)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = p_{21}N_1 - p_{12}N_2 \quad (4)$$

## Dynamika triedy

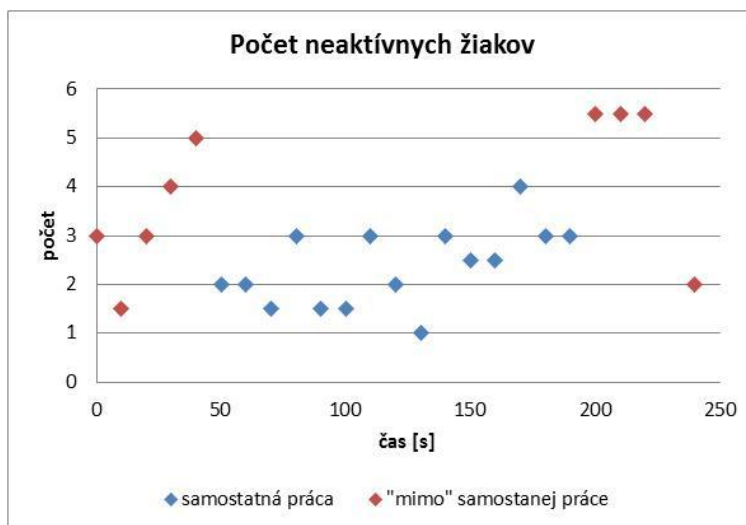
Pod pojmom dynamika triedy máme na mysli to, ako sa trieda, ako celok, správa vzhľadom na pokyny, ktoré im vyučujúci dal.

Pri modelovaní dynamiky triedy sme vychádzali z videonahrávky vyučovacej hodiny matematiky na jednej vidieckej škole v triede siedmakov, ktorú nám poskytol PeaDr. Ján Šunderlík, PhD.. Na tejto vyučovacej hodine sa striedalo viacero fáz (úvodná časť, samostatná práca, riešenie úloh, záver vyučovacej hodiny). Na modelovanie sa najvhodnejšou fázou (4. – 8. minúta vyučovacej hodiny) ukázala byť samostatná práca, v ktorej učiteľ zadal žiakom úlohu poskladať z určitého počtu kociek čo najviac rôznych kvádrov. Ako vhodná sa nám táto fáza javí byť aj z toho dôvodu, že učiteľ ako riadiaci prvok nezasahoval, a tým bol systém (trieda) ponechaný sám na seba bez zásahov učiteľa. Dynamiku triedy počas samostatnej práce budeme posudzovať na základe toho, koľko žiakov v triede v danom čase pracuje podľa pokynov vyučujúceho. Samotní žiaci buď jednoznačne plnia pokyny vyučujúceho a týchto žiakov budeme označovať ako *aktívni* žiaci, alebo ich neplnia (rozprávajú sa na inú, ako zadanú tému, nepracujú, či iným spôsobom nepracujú v súlade s pokynmi vyučujúceho) – *neaktívni* žiaci. K získaniu dát sme využili *metódu krátkych rezov*, ktorú sme aplikovali tak, že stav každého žiaka (*aktívny*, *neaktívny*) sme z videonahrávky určovali vždy v desať sekundových intervaloch a to počas celého trvania samostatnej práce. V prípade, že žiak bol v určitom časovom intervale približne rovnako dlhý čas *aktívny* i *neaktívny*, tak sme ho sme ho zakódovali ako hodnotu 0,5. Takto sme získali informáciu o tom, koľko žiakov triedy bolo v jednotlivých desaťsekundových intervaloch *aktívnych*, resp. *neaktívnych*.

Na vyučovacej hodine bolo celkovo prítomných desať žiakov, ale dvaja z nich sedeli na miestach, kde bol záber kamery nedostatočný a nedalo sa rozhodnúť o tom, v ktorom zo stavov sa žiak nachádza, preto sme analyzovali iba ôsmich žiakov.

Získané hodnoty sú uvedené v grafe na obrázku, kde je červenou farbou znázornený počet *neaktívnych žiakov* tesne pred začiatkom samostatnej práce (čas od 0 – 50 s) a v čase tesne po

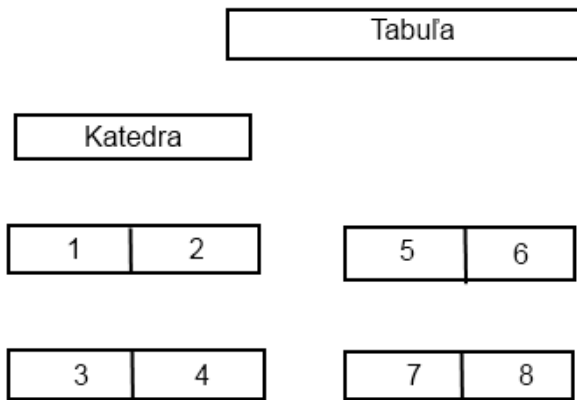
skončení samostatnej práce (čas od 200 – 240 s). Modrou farbou je znázornený počet *neaktívnych žiakov* počas samostatnej práce.



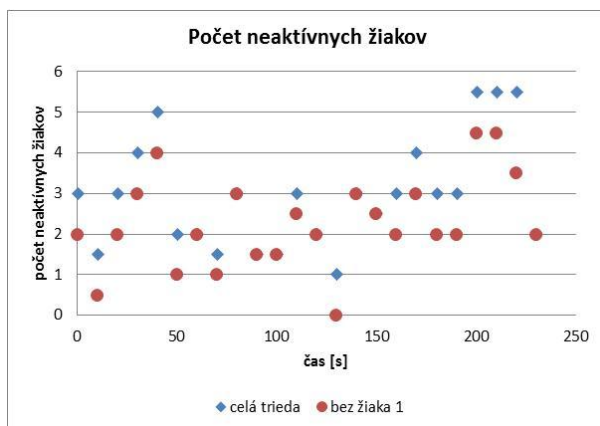
**Obrázok 1.** Počet neaktívnych žiakov v čase od 4. do 8. minúty

Z grafu na obrázku 1 vidíme, že tesne pred začatím samostatnej práce bol počet neaktívnych žiakov vysoký (5) a taktiež vysoký bol tesne po skončení činnosti, čo nie je prekvapujúce, nakoľko išlo o krátke obdobie prípravy na ďalšie fázu vyučovacej hodiny.

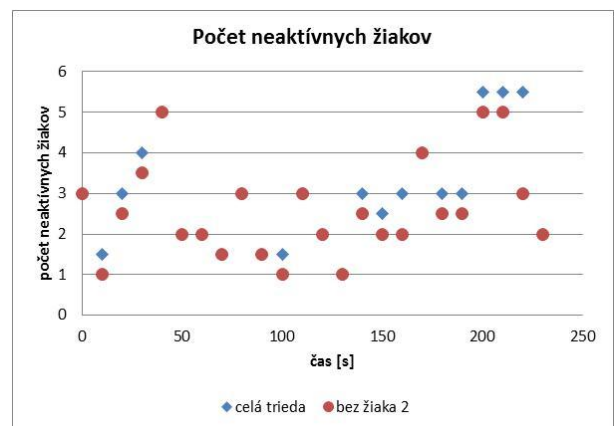
K tomu, aby sme k modelovaniu mohli pristúpiť, potrebuje určiť, za akých podmienok sa žiak mení z aktívneho na neaktívneho a naopak. Preto sme si zostrojili grafy vyjadrujúce počet neaktívnych žiakov v čase od 4. – 8. minúty s celkovým počtom neaktívnych žiakov a s počtom neaktívnych žiakov po vynechaní vždy jedného žiaka, čím sme získali 8 grafov, ktoré sú na obrázkoch 3 – 10. Na obrázku 2 je schéma usadenia žiakov v triede.



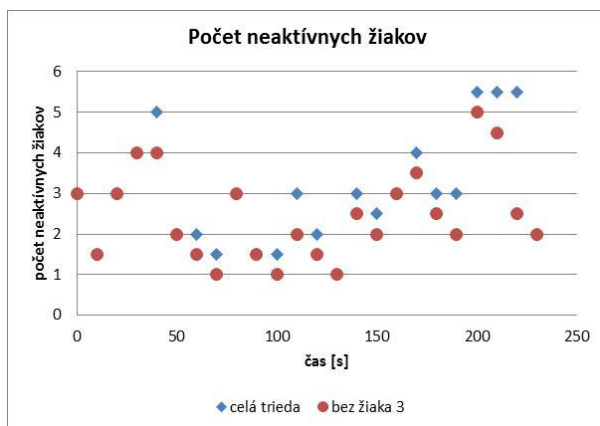
**Obrázok 2.** Usadenie žiakov v triede



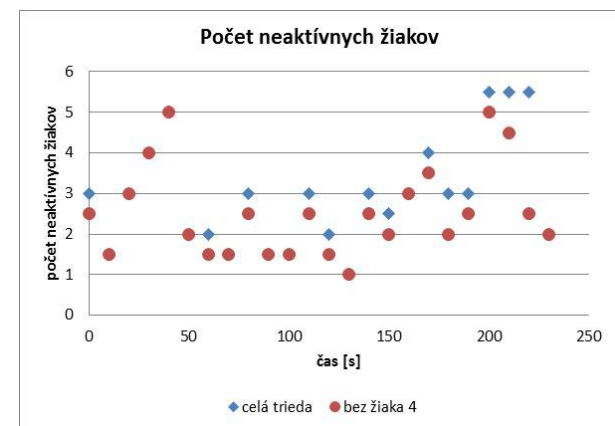
**Obrázok 3**



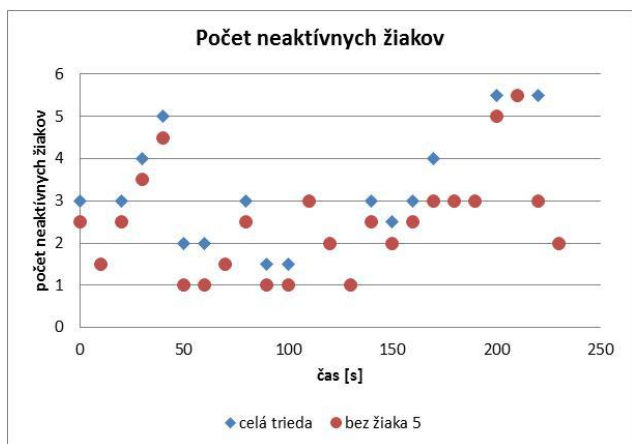
**Obrázok 4**



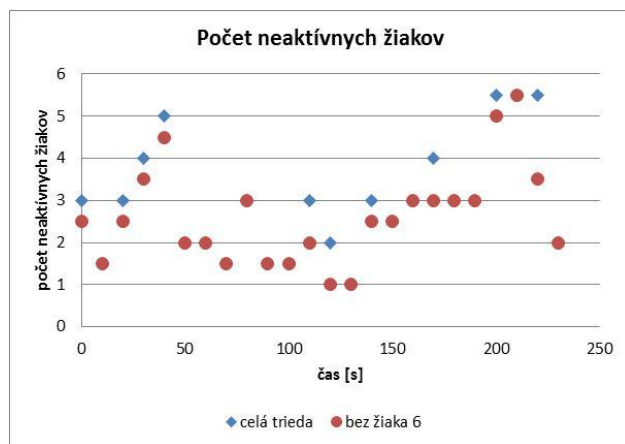
**Obrázok 5**



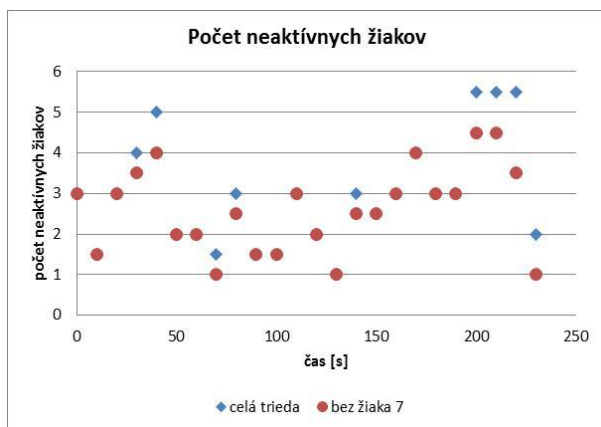
**Obrázok 6**



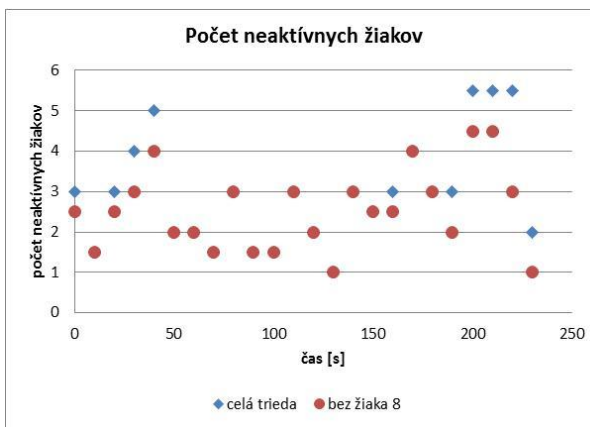
Obrázok 7



Obrázok 8



Obrázok 9



Obrázok 10

Z grafov na obrázkoch 3 - 10 vieme ľahko zistiť, kedy bol ktorý žiak *aktívny* i *neaktívny* s ohľadom na celkovú atmosféru v triede a taktiež vzhľadom na čas. Ak sa graf prekrýva s grafom po vynechaní údajov o žiakovi, znamená to, že bol žiak v danom čase *aktívny*. Ďalej vidíme, že postupom času sa zvyšoval počet *neaktívnych* žiakov. Taktiež vidíme, že existuje tendencia nechať sa strhnúť postojom väčšiny smerom k *neaktívnemu* správaniu (žiak 1, žiak 2, žiak 3 a žiak 4). U niektorých žiakov (žiak 2, žiak 6, žiak 8) pozorujeme, že na začiatku samostatnej činnosti vykazujú *aktívny* prístup, ktorý v niektorých prípadoch pretrváva (žiak 8). Z týchto výsledkov vyplýva, že podstatným faktorom ovplyvňujúcim to, či bude žiak *aktívny* alebo bude *neaktívny*, je atmosféra v triede a taktiež čas, ktorý sa už žiaci venujú činnosti.

## Modelovanie dynamiky triedy

Pri modelovaní dynamiky triedy vychádzame z toho, že triedu považujeme za dvojzložkový uzavretý systém, v ktorom jednotliví žiaci môžu meniť svoj stav z *aktívneho* na *neaktívny* a naopak ľubovoľne veľa krát. Modelovať budeme počet *neaktívnych* žiakov  $N_1$  a to v čase, keď im učiteľ zadal samostatnú prácu. Východiskom nám bude rovnica (3), avšak o pravdepodobnosti prechodu  $p_{12}$  za časovú jednotku desať sekúnd zo stavu *aktívny* do stavu *neaktívny* nepredpokladáme, že je konštantná, ale že sa zvyšuje v závislosti od počtu *neaktívnych* žiakov  $N_1$  a taktiež vplyvom času, ktorý sa žiaci činnosti venujú.

$$p_{12} = p_{12}^0 + \lambda N_1 + \theta t, \quad (5)$$

kde  $p_{12}^0$  je základná pravdepodobnosť prechodu zo stavu *aktívny* do stavu *neaktívny* za časovú jednotku (v našom prípade 10 sekúnd), teda bez vplyvu atmosféry v triede a dĺžky trvania vykonávanej činnosti. Parameter  $\lambda$  vyjadruje „náchylnosť“ stať sa *neaktívnym* vplyvom kolektívu (zvýšeného počtu *neaktívnych* žiakov). Parameter  $\theta$  vyjadruje to, že dlhotrvajúcou činnosťou sa zvyšuje pravdepodobnosť stať sa *neaktívnym*.

O pravdepodobnosti prechodu  $p_{21}$  zo stavu *neaktívny* do stavu *aktívny*, predpokladáme, že je konštantná.

Využitím toho, že systém je uzavretý ( $N = N_1 + N_2$ ), dosadením (5) do (4) a úpravou dostávame

$$\frac{dN_1}{dt} = p_{12}^0 (N + \lambda N_1 + \theta t) (N - N_1) - p_{21} N_1. \quad (6)$$

Riešenie tejto diferenciálnej rovnice analyticky je pomerne náročné, a preto sme na výpočet použili matematický softvér *Mathematica 7*.

*Poznámka.* Pre potreby výpočtov v programe *Mathematica 7* sme niektoré parametre preznačili a to nasledovným spôsobom:  $t = x$ ,  $N_1(t) = y(x)$ ,  $p_{12}^0 = a$ ,  $p_{21} = b$ ,  $n = N$ .

Riešenie rovnice (6) je



In[8]:  $\lambda = ., a = ., b = ., n = 8, \theta = .,$

$DSolve[(y'[x] = (a + \lambda y[x] + \theta x) + (n - y[x]) - b y[x]), y[x], x]$

Out[8]:  $\left\{ \left\{ y[x] \rightarrow \left( C[1] \left( e^{-ax-bx-\frac{x^2 n}{2}} (-a-b-x\theta) \text{HermiteH}\left[\frac{-\theta+8b\lambda}{\theta}, \frac{x\sqrt{\theta}}{\sqrt{2}} + \frac{a+b+8\lambda}{\sqrt{2}\sqrt{\theta}}\right] + \frac{\sqrt{2} e^{-ax-bx-\frac{x^2 n}{2}} (-\theta+8b\lambda) \text{HermiteH}\left[-1+\frac{-\theta+8b\lambda}{\theta}, \frac{x\sqrt{\theta}}{\sqrt{2}} + \frac{a+b+8\lambda}{\sqrt{2}\sqrt{\theta}}\right]}{\sqrt{\theta}} \right) + e^{-ax-bx-\frac{x^2 n}{2}} (-a-b-x\theta) \text{Hypergeometric1F1}\left[-\frac{-\theta+8b\lambda}{2\theta}, \frac{1}{2}, \left(\frac{x\sqrt{\theta}}{\sqrt{2}} + \frac{a+b+8\lambda}{\sqrt{2}\sqrt{\theta}}\right)^2\right] - \frac{1}{\sqrt{\theta}} \sqrt{2} e^{-ax-bx-\frac{x^2 n}{2}} (-\theta+8b\lambda) \left(\frac{x\sqrt{\theta}}{\sqrt{2}} + \frac{a+b+8\lambda}{\sqrt{2}\sqrt{\theta}}\right) \text{Hypergeometric1F1}\left[1-\frac{-\theta+8b\lambda}{2\theta}, \frac{3}{2}, \left(\frac{x\sqrt{\theta}}{\sqrt{2}} + \frac{a+b+8\lambda}{\sqrt{2}\sqrt{\theta}}\right)^2\right] \right) / \left( \lambda \left( e^{-ax-bx-\frac{x^2 n}{2}} C[1] \text{HermiteH}\left[\frac{-\theta+8b\lambda}{\theta}, \frac{x\sqrt{\theta}}{\sqrt{2}} + \frac{a+b+8\lambda}{\sqrt{2}\sqrt{\theta}}\right] + e^{-ax-bx-\frac{x^2 n}{2}} \text{Hypergeometric1F1}\left[-\frac{-\theta+8b\lambda}{2\theta}, \frac{1}{2}, \left(\frac{x\sqrt{\theta}}{\sqrt{2}} + \frac{a+b+8\lambda}{\sqrt{2}\sqrt{\theta}}\right)^2\right] \right) \right) \right\} \right\}$

Vzhľadom na počiatočnú podmienku  $N_1(0) = 2$  (na začiatku samostatnej práce sme identifikovali dvoch *neaktívnych* žiakov) je hodnota konštanty  $C[1]$  vo všeobecnom riešení diferenciálnej rovnice (6)

$$\begin{aligned}
 \text{out[5]} = \{ \{ C[1] \rightarrow & \\
 & \left( -a \theta \text{Hypergeometric1F1} \left[ -\frac{-\theta + 8 b \lambda}{2 \theta}, \frac{1}{2}, \frac{(a+b+8 \lambda)^2}{2 \theta} \right] - b \theta \text{Hypergeometric1F1} \left[ -\frac{-\theta + 8 b \lambda}{2 \theta}, \right. \right. \\
 & \left. \left. \frac{1}{2}, \frac{(a+b+8 \lambda)^2}{2 \theta} \right] - 2 \theta \lambda \text{Hypergeometric1F1} \left[ -\frac{-\theta + 8 b \lambda}{2 \theta}, \frac{1}{2}, \frac{(a+b+8 \lambda)^2}{2 \theta} \right] + \right. \\
 & a \theta \text{Hypergeometric1F1} \left[ 1 - \frac{-\theta + 8 b \lambda}{2 \theta}, \frac{3}{2}, \frac{(a+b+8 \lambda)^2}{2 \theta} \right] + \\
 & b \theta \text{Hypergeometric1F1} \left[ 1 - \frac{-\theta + 8 b \lambda}{2 \theta}, \frac{3}{2}, \frac{(a+b+8 \lambda)^2}{2 \theta} \right] - \\
 & 8 a b \lambda \text{Hypergeometric1F1} \left[ 1 - \frac{-\theta + 8 b \lambda}{2 \theta}, \frac{3}{2}, \frac{(a+b+8 \lambda)^2}{2 \theta} \right] - \\
 & 8 b^2 \lambda \text{Hypergeometric1F1} \left[ 1 - \frac{-\theta + 8 b \lambda}{2 \theta}, \frac{3}{2}, \frac{(a+b+8 \lambda)^2}{2 \theta} \right] + \\
 & 8 \theta \lambda \text{Hypergeometric1F1} \left[ 1 - \frac{-\theta + 8 b \lambda}{2 \theta}, \frac{3}{2}, \frac{(a+b+8 \lambda)^2}{2 \theta} \right] - \\
 & \left. \left. 64 b \lambda^2 \text{Hypergeometric1F1} \left[ 1 - \frac{-\theta + 8 b \lambda}{2 \theta}, \frac{3}{2}, \frac{(a+b+8 \lambda)^2}{2 \theta} \right] \right) / \right. \\
 & \left( a \theta \text{HermiteH} \left[ \frac{-\theta + 8 b \lambda}{\theta}, \frac{a+b+8 \lambda}{\sqrt{2} \sqrt{\theta}} \right] + b \theta \text{HermiteH} \left[ \frac{-\theta + 8 b \lambda}{\theta}, \frac{a+b+8 \lambda}{\sqrt{2} \sqrt{\theta}} \right] + \right. \\
 & \left. 2 \theta \lambda \text{HermiteH} \left[ \frac{-\theta + 8 b \lambda}{\theta}, \frac{a+b+8 \lambda}{\sqrt{2} \sqrt{\theta}} \right] + \sqrt{2} e^{2/\theta} \text{HermiteH} \left[ -1 + \frac{-\theta + 8 b \lambda}{\theta}, \frac{a+b+8 \lambda}{\sqrt{2} \sqrt{\theta}} \right] - \right. \\
 & \left. \left. 8 \sqrt{2} b \sqrt{\theta} \lambda \text{HermiteH} \left[ -1 + \frac{-\theta + 8 b \lambda}{\theta}, \frac{a+b+8 \lambda}{\sqrt{2} \sqrt{\theta}} \right] \right) \} \}
 \end{aligned}$$

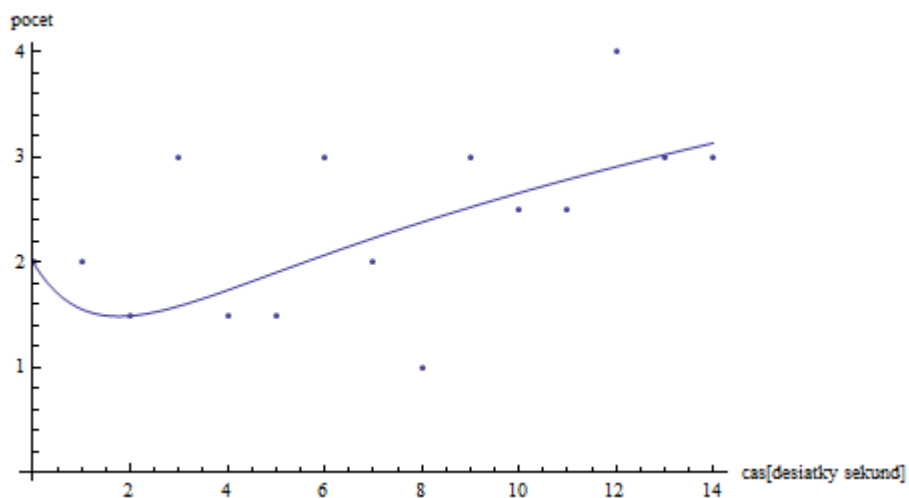
Neznáme parametre modelu  $(p_{12}^0, p_{21}, \lambda, \theta)$  sme odhadli programom, ktorý funguje na princípe metódy najmenších štvorcov. Zvolili sme intervaly, z ktorých odhadované parametre môžu nadobúdať hodnoty a pre každú kombináciu hodnôt parametrov sme vypočítali súčet štvorcov odchýlok  $\sum_{t=0}^{14} (\widehat{N}_1(t) - N_1(t))^2$  modelom odhadnutých hodnôt  $\widehat{N}_1(t)$  od pozorovaných hodnôt  $N_1(t)$  a vybrali sme tú kombináciu parametrov, pre ktorú bol súčet štvorcov odchýlok minimálny. Najmenší súčet štvorcov odchýlok bol dosiahnutý pre kombináciu

$$p_{12}^0 = 0,12, \quad p_{21} = 0,850, \quad \lambda = 0,020, \quad \theta = 0,028.$$

Z odhadnutých hodnôt parametrov môžeme usúdiť, že pravdepodobnosť prechodu zo stavu *aktívny* do stavu *neaktívny* za časovú jednotku desať sekúnd je pomerne nízka (0,12), a zároveň pravdepodobnosť prechodu zo stavu *neaktívny* do stavu *aktívny* za časovú jednotku desať sekúnd

je vysoká (0,85), čo poukazuje na pomerne disciplinovaných žiakov. Hodnotu parametra  $\lambda$  môžeme interpretovať tak, že s každým *neaktívnym* žiakom v triede sa pravdepodobnosť prechodu zo stavu *aktívny* do stavu *neaktívny* zvyšuje o hodnotu 0,02. Hodnota časového parametra  $\theta$  je v súlade s našim predpokladom kladná a môžeme ju interpretovať tak, že pravdepodobnosť prechodu zo stavu *aktívny* do stavu *neaktívny* sa každou časovou jednotkou samostatnej práce zvyšuje o hodnotu 0,028.

Na obrázku 11 je znázornený počet *neaktívnych* žiakov odhadnutý modelom (modrá krivka) a počet *neaktívnych* žiakov tak, ako sme ich zaznamenali počas samostatnej práce na vyučovacej hodine (bodky).



Obrázok 11 Teoretické a pozorované hodnoty počtu neaktívnych žiakov

Štatistickú významnosť modelu sme overili F – *testom štatistickej významnosti modelu*. Na hladine významnosti 0,05 sme testovali nulovú hypotézu o štatistickej nevýznamnosti modelu. V tabuľke 1 sú uvedené výsledky F – testu.

Tabuľka 1 Výsledky F – testu

Variabilita počtu neaktívnych žiakov	Súčet štvorcov odchýlok	Stupne voľnosti	Priemerný súčet štvorcov	F
Vysvetlená modelom	4,393	4	1,098	1,636
Nevysvetlená modelom	6,713	10	0,671	
Celková	11,106			

Nakoľko rozsah súboru bol  $n = 15$  a odhadovali sme hodnoty štyroch parametrov ( $k = 4$ ) v modeli, tak testová štatistika  $F$  má  $F(k; n - k - 1) = F(4; 10)$  rozdelenie. Kritická hodnota  $F_{0,95}(4; 10) = 3,478$  je väčšia ako hodnota testovej štatistiky  $F = 1,636$ , preto nulovú hypotézu o štatistickej nevýznamnosti modelu na hladine významnosti 0,05 nezamietame.

Tento výsledok je spôsobený značnou nezhodou medzi odhadovanou a očakávanou hodnotou počtu neaktívnych žiakov v čase  $t = 3$  ( $N_1(3) = 3, \widehat{N}_1(3) = 1,61$ ) a v čase  $t = 8$  ( $N_1(8) = 1, \widehat{N}_1(8) = 2,40$ ). Nebyť týchto dvoch pomerne veľkých rozdielov, bol by odhadnutý model štatisticky významný.

## Záver

Napriek tomu, že sme pracovali iba s dátami pochádzajúcimi z jednej vyučovacej hodiny a zamerali sme sa iba na ten jej úsek, v ktorom žiaci pracovali samostatne, tak sme získali pomerne zaujímavý výsledok. Trieda ako sociálny systém má svoju dynamiku. Samozrejme, tento výsledok vzhľadom na povedané nie je možné preceňovať a bolo by potrebné uskutočniť ďalšie pozorovania, prípadne sa pokúsiť zostaviť iné modely. Zaujímavé je i zistenie, že napriek osobitosti každého žiaka ako jednotlivca, je možné triedu ako celok opísať a stanoviť určité parametre, ktoré by ju charakterizovali. Bolo by určite zaujímavé pokračovať v takomto výskume a to nie len z hľadiska matematického, ale i didaktického. Taktiež by mohlo byť prínosné nerozlišovať iba dva možné stavy, v ktorých sa žiaci môžu nachádzať, ale množinu prípustných stavov rozšíriť, prípadne v modeli zohľadniť aj učiteľa a uvažovať o modeli s externým riadením.

## Použitá literatúra

- [1] Krempaský, J.: Fyzika. Alfa- vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava 1982
- [2] Krempaský, J. – Horylová, R.: Kvantitatívna teória vývoja, Metodické centrum, Bratislava 2001, ISBN 80- 8052-121-2
- [3] [http://www.uski.sk/frames\\_files/ran/2006/ran-2006-1-06.pdf](http://www.uski.sk/frames_files/ran/2006/ran-2006-1-06.pdf)
- [4] [www.wikipedia.org/wiki/Synergetika](http://www.wikipedia.org/wiki/Synergetika)