

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ



Dokumentácia k projektu z predmetu IMS

Tomáš Lapšanský, xlapsa00

Milan Šalko, xsalko02

9. decembra 2018

# Obsah

1	Úvod . . . . .	2
1.1	Autori práce a zdroje informácií . . . . .	2
1.2	Validita modelu . . . . .	2
2	Rozbor zvolenej témy a použitých metód/technológií . . . . .	3
2.1	Popis použitých postupov . . . . .	5
2.2	Popis pôvodu použitých metód . . . . .	5
3	Koncepcia . . . . .	6
3.1	Spôsob vyjadrenia konceptuálneho modelu . . . . .	6
3.2	Popis konceptuálneho modelu . . . . .	6
4	Architektúra simulačného modelu . . . . .	8
4.1	Mapovanie abstraktného modelu do simulačného . . . . .	8
5	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh . . . . .	9
5.1	Ciele experimentu . . . . .	9
5.2	Priebeh experimentu . . . . .	9
5.3	Závery experimentu . . . . .	9
6	Zhrnutie simulačných experimentov a záver . . . . .	10
7	Obrázky . . . . .	11

# 1 Úvod

Táto práca vznikla ako projekt do predmetu Modelovanie a Simulácie. Práca sa zaoberá simuláciou [1,str.8] modelu [1,str.7] farmy Červenca Nopálového a jeho spracovaním.

Jedná sa o málo známy druh hmyzu, aj keď sa s produktom z neho stretávame prakticky každý deň. Tento druh hmyzu je hlavným zdrojom prírodného červeného farbiva karmín. To to farbivo sa používa v potravinárskom priemysle s označením E120.

Cieľom projektu je zistiť rentabilita a efektivita takejto farmy v podmienkach Slovenskej republiky. V práci sme na-simulovali kompletný životný cyklus červenca. Ďalej sme sa zamerali na zber samičiek červenca, spracovanie a založenie novej generácie.

## 1.1 Autori práce a zdroje informácií

Autormi práce sú Tomáš Lapšanský a Milan Šalko. Životný cyklus Červenca nopáloveho vychádza z dvoch štúdií zaoberajúcimi sa týmto hmyzom [2],[3]. Spracovanie tohto hmyzu je odsledované z video dokumentov zaoberajúcich sa výrobou karmínu [7],[8] .

## 1.2 Validita modelu

Validita modelu bola overená zrovnaním výstupov z modelu s reálnymi dátami získaných zo zdrojov.

Požiadavky na presnosť boli kladené na mortalitu hmyzu počas jeho vývoja, čím sa nám podarilo získať porovnateľné výsledky aké boli získane aj v štúdiách. Ďalším dôležitým faktorom bol čas strávený v jednotlivých vývinových štádiách aby sa docielilo reálneho načasovania všetkých udalostí.

Vďaka týmto požiadavkam na presnosť sme vo výsledkoch získavali porovnateľné hodnoty v jednotlivých štádiách výrobného procesu ako aj celkového množstva tohto produktu.

## 2 Rozbor zvolenej témy a použitých metód/technológií

Model predstavuje chov červenca nepálového s následnou produkciou karmínu. Zvolili sme si stálu teplotu 25C nakoľko pri nej je mortalita hmyzu najnižšia.[TODO] Nakoľko sa v našich podmienkach bude jednať pravdepodobne o skleníkový chov. Toto tvrdenie zakladáme na štúdií [TODO], podľa ktorej je prakticky nemožne chovať tento hmyz pri priemerných teplotách na našom území s výnimkou letných mesiacov. Z dôvodu zvolenia skleníkového chovu sme nepredpokladali výraznejšie odchýlky v teplote počas celého sledovaného obdobia.

### Červenec nepalový (*Dactylopius coccus*)

Obvykle sa zhromažďujú vo veľkých zhlukoch a živia sa šťavou z opuncie. Samice majú tri vývojové štádia, samce päť. Najväčší podiel je v dospelých samičkách tohto hmyzu (19-24%). Tento druh hmyzu je významným zdrojom kyseliny karmínovej. Na jeden kilogram karmínu je potrebné pozbierať až 140 000 samičiek. Tento hmyz je pri vhodných teplotách schopný reprodukcie po celý rok. Červenec nepalový sa prechadza týmito stupňami vývoja:

#### Vajíčka

- samica znesie 180-230 vajíčok
- len 30% sa vyľiahne
- vajíčko sa vyľiahne za  $61,78 \pm 24 \text{ min}$

#### I. vývojový stupeň - Larvy

- larva si hľadá vhodné miesto na pristatie s exponenciálnym rozložením 2 dni
- len 44% larv prežije

#### II. vývojový stupeň

- až v tomto stupni vývinu sa oddeľuje pohlavie nakoľko až teraz je ho možné rozoznať
- jedinec okolo seba vytvára ochranný film ktorý ho chráni pred vonkajšími vplyvmi
- 7% jedincov neprežije to to štádium
- Samec v tomto vývojovom stupni strávi 20 dní
- Samica
  - v tomto vývojovom stupni strávi 45 dní
  - samica je po tomto štádiu dospelá

### **Samec - Kukla**

- v tomto vývojovom stupni strávi 60 dní

### **Dospelá samica**

- samice sa vyvíjajú kratšie ako samce
- na začiatku tohto štádia samica obsahuje len 10% zbieranej latky, z tohto dôvodu sú ponechané na listoch až do doby tesne pred dospetím samčekov
- v dobe vyľahnutia samčekov obsahujú samice 19-24% zbieranej látky

### **Dospelý samec**

- samce po dosiahnutí tohto štádia do 3-5 umierajú
- paria sa so samičkami ktoré sú v zapottec-u

### **Zber**

- Zber prebieha každých 80 dní
- Samičky sa oškrabávajú z listov kaktusu
- Po oškrabaní samíc z listou opuncie sa niekoľko z nich oddelí tieto samice budú slúžiť ako základ pre ďalšiu generáciu.
- Samičky je pomerne ľahké odlíšiť od samcov nakoľko sú väčšie
- zvyšné samice sa používajú na produkciu farbiva

### **Zakladanie ďalšej generácie**

Výhodu červenca nepaloveho je že nijak nepoškodzuje hostiteľskú opunciu, preto je možné pestovať na rastline desiatky generácií červenca.

- Časť samičiek hneď po oškrabaní odkladá stranou do malého pleteného košíka.
- Samičky čakajú na dospetie samcov.
- Po dospetí samcov sa samce rozletia po oblasti a oplodnia samičky, odhadovaný čas je 30 sekúnd
- Oplodnená samička znesie 180-230 vajíčok
- Čas za ktorý samička znesie vajíčka sa nám nepodarilo zistiť no odhadli sme ho na tri dni.

## Spracovanie

Spracovanie je možné uskutočniť rôznymi spôsobmi ktoré zaberajú aj rôzne množstvo času. Pri nesprávnom spracovaní môže dôjsť k zhoršeniu farby výsledného produktu prípadne k jeho úplnému znehodnoteniu.

### 1. Usmrtenie

- Zabíjanie horúcou parou
  - proces trvá 2-3 minút
  - smrť hmyzu je prakticky okamžitá
  - Nevýhodou je že tento proces môže byť náročnejší na prevádzku
- Zabíjanie na vybraných sitách
  - proces trvá 5-6 minút

### 2. Sušenie - existuje viacero možností sušenia:

- Sušenie na slnku
  - proces trvá 2-3 dni pri očakávanom množstve vyprodukovanom v našom modeli
  - Výhodou je prakticky nulová cena
  - Nevýhodou je že tento proces trvá pomerne dlho nakoľko je potrebné v noci uskladniť v priestoroch kde nie je vysoká vlhkosť
- Sušenie v peci
  - proces trvá 1 hodinu pri očakávanom množstve vyprodukovanom v našom modeli
  - Výhodou je pomerne krátky čas sušenia a prakticky žiadna závislosť od počasia
  - Nevýhodou môže byť že tento proces nie je úplne zadarmo

### 3. Čistenie - chrobáky je potrebné zbaviť ochranného filmu

- čistenie prebieha na vibračných sitách
- proces trvá 4-5 minút

## 2.1 Popis použitých postupov

Pre potreby implementácie sme použili jazyk C++ vo verzii 11. Tento jazyk vďaka prekladu do strojového kódu, umožňuje rýchly beh simulácie, tento jazyk tak isto podporuje objektový návrh čo je v našom prípade výhodou. Ďalej používame knižnicu SIMLIB ktorá poskytuje všetky triedy ktoré potrebujeme pri simulácii tohto zadania. Keďže sa jedná o knižnicu pre C++, bolo nám umožnené využívať bežne konštrukcie jazyka C++. Táto knižnica je vydávaná pod licenciou GNU LGPL. Knižnicu sme získali z oficiálnych stránok tejto knižnice.

## 2.2 Popis pôvodu použitých metód

V tomto projekte využívame možnosti programovacích konštrukcií prezentovaných v prednáškach predmetu IMS[1, str.163-207].

### 3 Konceptcia

Cieľom projektu je simulovať životný cyklus Červenca nepaloveho a produkciu farbiva z neho. V simulácii nieje potrebné simulovať farmu ako celok. Zamerali sme sa len na produkčnú časť aby sme zistili koľko farbiva je schopná takáto farma vyprodukovať. Zo získaných údajov sme zistili že na kg farbiva potrebujeme odhadom 140 000 samíc. Čo vychádza  $7.142 * 10$  na -6 gramu na jednu samicu. Vďaka tomuto poznatku sme mohli zjednodušiť výrobnú linku.

#### 3.1 Spôsob vyjadrenia konceptuálneho modelu

Konceptuálny model bol rozdelený na tri základné bloky: vývin hmyzu, spracovanie a založenie ďalšej generácie. Všetky tri bloky su navzájom prepojené a v iteráciách zberania aj závisle jeden od druhého.

Životný cyklus Červenca Nopaloveho je vyjadrený petriho sieťou [Obr. 1]. Táto petriho sieť popisuje model jedného listu opuncie na ktorú je vložených  $n$  vajíčok, na tomto liste prebieha kompletný životný cyklus od vajíčka po dospelého jedinca.

Ďalšia petriho sieť [Obr. 2] vyjadruje spracovateľskú linku kde sa samice ktore neboli vybrane na založenie ďalšej generácie spracovávajú na výsledný produkt.

Rozmnožovací proces hmyzu zachytáva tretia petriho sieť [Obr. 3]. Jedná sa o čas od doby kedy boli samice vybrane na založenie ďalšej generácie, cez vykuklenie samčekov až po nakladenie vajíčok

#### 3.2 Popis konceptuálneho modelu

Vstupom simulácie je umiestnenie vajíčok červenca nepaloveho na listy opuncie. 70 percent vajíčok je vyradených hneď na začiatku ako mortalita vo vývinovej fáze vajíčka. Potom je spustené čakanie na vyliahnutie vajíčka, kde je doba čakania je uniformne rozloženie 61 minút s rozptylom 24 minút. Po skončení tohto čakania sa vajíčko presúva do štádia larvy. V tomto vývojovom štádiu je vyradených 56 percent lariev aby bolo dodržaná prirodzená mortalita v štádiu larvy. Ďalším krokom je simulovanie hľadania miesta na prisatie. Toto hľadanie je vyjadrené čakaním s exponenciálnym rozložením 2 dni. Po nájdení vhodného miesta sa larvy rozdeľujú na samičie a samčie larvy s 50 percentnou šancou na pohlavie.

Pri vývinových stupňoch sme sa rozhodli vzhľadom na odlišnosť každého jedinca používať uniformne rozloženie dĺžky jednotlivých časových úsekov s rozptylom 5 percent. Samičie larvy majú kratšiu dĺžku vývoja. Samičky okolo seba po pristatí začnú vytvárať voskový obal ktorým sa chránia pred vonkajšími vplyvmi v tomto štádiu neprežije už len 7 percent samičiek. Samička sa v tomto obale vyvíja po dobu 45 dní. Po skončení tejto doby sa jedná o dospelú samičku červenca nopálového. Samičky v tomto čase obsahujú len niečo cez 10 percent kyseliny karmínovej zo svojej hmotnosti. Preto sa na listoch nechávajú až do času zberu čím sa zvýši obsah kyseliny na 19-24 percent hmotnosti.

V prípade samčekov ako prvé nastavíme prirodzenú úmrtnosť na 7 percent potom nastáva čas vývojového štádia kedy sa larva začne zakukľovať tento proces trvá 20 dní. Po ňom samčia larva prechádza do štádia kukly. V tomto štádiu je samec červenca nopálového zakuklený po dobu 60 dní. Po vyliahnutí majú samce 3-5 dní na oplodnenie samičiek tento proces popisujeme nižšie.

V čase zberu ktorý prebieha vždy 80 dní po vykuklení samčekov sú samice oškra-  
bané z listou opuncie priemerný čas zberu jedného listu kaktusu sme stanovili na 30  
sekúnd. Male množstvo samíc, v našom prípade 20 na každý kaktus, je oddelených od  
zvyšných samíc. Tieto oddelené samice sú takzvané generačné samice. Zvyšné samice  
sú pozbierané a spracované. Spracovanie samíc simulujeme linkou hromadnej obsluhy.  
Samice sú usmrtené vibračnými sitami tento proces trvá 5-6 minút. Ďalším krokom  
je sušenie ktoré prebieha v sušičkách tento proces trvá okolo hodiny. Po usušení sú  
samice červenca nopaloveho zbavené zvyšného ochranného filmu na vibračných sitách  
s odhadovaným časom 4-5 minút. Ďalšími krokmi sú drvenie samičiek na prach a ich  
spracovanie v laboratóriu tento proces sme odhadli na dva dni a nevykonávame ho na  
našej farme.

Za začiatok rozmnožovania v našom simulačnom modeli môžeme považovať vloženie  
generačných samičiek do tzv. Zapottecov kde vyčkajú do vykuklenia samcov. Samec  
má obmedzený čas na oplodnenie samičky, nakoľko po vykuklení má čas stanovený  
uniformným rozložením 4 dni s rozptylom 1 deň. Samec oplodní samičku za 30 sekúnd  
s exponencialným rozložením. Na základe zdrojov sme neboli schopný zistiť dĺžku  
oplodnenia samičky preto sme sa rozhodli tento čas zanedbať. Každá samica znesie  
počet vajícok daný uniformným rozložením od 180-220. Po znesení vajícok sa cyklus  
opakuje.



## 4 Architektúra simulačného modelu

Simulačný model sme sa rozhodli naimplementovať pomocou jazyka C++ a knižnice SIMLIB ktorá je vhodná pre náš model diskkrétnej simulácie.

### 4.1 Mapovanie abstraktného modelu do simulačného

Simulácia začína inicializáciou kaktusov (KaktusPad). A naplánovaním prvého zberu (udalosť Zber). V rámci implementácie sme sa rozhodli zvoliť kalendár implementovaný pomocou fronty. Z dôvodu že pri testovaní sme zistili že táto implementácia je oveľa rýchlejšia pre naše riešenie.

Každý kaktus si drží vlastne lokálne sklady hmyzu a inicializuje triedu pre červenca nopaloveho (Chrobak).

Objekt triedy Chrobak po svojej inicializácii prechádza jednotlivými štádiami vývoja. Každé toto štádium sa skladá z istej čakacej doby (funkcia wait()). Simulovania úmrtnosti vygenerovaním náhodného čísla pre každý objekt a kontrolou či sa to to číslo nachádza v danom rozmedzí. A pridávaním sa do skladov pre jednotlivé štádia. Jedinou výnimkou je štádium larvy kedy sa rozhoduje o pohlaví jedinca. Od tohto bodu sú vývinové štádia rozdielne pre samca (kukla,dospelý samec) a samicu (dospelá samica).

Rozmnožovanie hmyzu prebieha pomocou procesu Množenie. Tento proces je vytvorený vždy, keď samček prejde do štádia dospelosti (teda si hľadá samicu na párenie), alebo keď je generačná samica umiestnená do tzv. zapottecu, a teda proces hľadá voľných samcov pre túto samicu. V prípade úspechu procesu Množenie, je pre určitý objekt KaktusPad vytvorený proces Oploďená samica ktorý vygeneruje náhodný počet nových procesov Chrobak (nová generácia). Nakoľko sme nenašli údaj o dĺžke vývinu vajíčka po oplodnení rozhodli sme sa tento čas zanedbať.

Proces zberu je na začiatku simulácie naplánovaný na 80 deň. a neskôr je tento časovač závislý od liahnutia od liahnutia dospelých samcov čo znamená od ukončenia jedného generačného cyklu. Pri dospeť samcov je volaný proces odpočet zberu ktorý pomocou facility jednorazovo spustí odpočet zberu a re-inicializuje sklad. Po ukončení odpočtu (80 dní) spúšťa nový zber a uvoľňuje facility. V prípade že je facility obsadená je proces zrušený pretože proces zberu už začal. Pri samotnom procese zberu prechádzame každým kaktusom pomocou globálneho vektora obsahujúceho inštancie objektu kaktus pad. Pomocou tejto inštancie vieme pristúpiť na lokálne sklady KaktusPad, kde zo skladu dospelá samica vezmeme 20 kusov samíc, ktoré presunieme do skladu generačná samica, ktorý slúži pre založenie ďalšej generácie. Ostatné samice umiestnime do globálneho skladu produkčné samičky. Po tomto procese umiestnime všetky generačne samičky do zapottecu. Kde sú pripravené na ďalšie množenie.

Po skončení zberu je aktivovaný proces SpracovanieLinka, ktorý prechádza jednotlivými facility a obsadzuje ich počas jednotlivých krokov spracovania. Tento proces na začiatku vytvorí proces Spracovanie, ktorý taktiež taktiež prechádza jednotlivé zariadenia kde sa ich snaží obsadiť s nižšou prioritou. Tento proces presúva spracovávané samičky do ďalších stavov produkcie, až z nich v sklade finalnyProdukt vzniká nami sledovaný karmín.

## 5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

### 5.1 Ciele experimentu

Podstatou simulačného experimentu bolo zistiť priemerný počet samičiek Červenca nopálového, ktoré sme schopný vypestovať na jednom liste Opuncie a to, či by tieto samičky mohli prinášať reálny zisk v prípade pestovania v podmienkach Českej alebo Slovenskej republiky.

### 5.2 Priebeh experimentu

Experiment sme sa rozhodli simulovať na 5 listov opuncie čo predstavuje jednu rastlinu. Na začiatok experimentu sme dali 20 x uniformné rozloženie 180-220 vajíčok. Čím sme dostali počiatočný počet jedincov. Potom sme nechali vyvíjať sa generáciu za generáciou pričom sme medzi generáciami simulovali zber. Simulovali sme jeden rok na takejto farme.

### 5.3 Závery experimentu

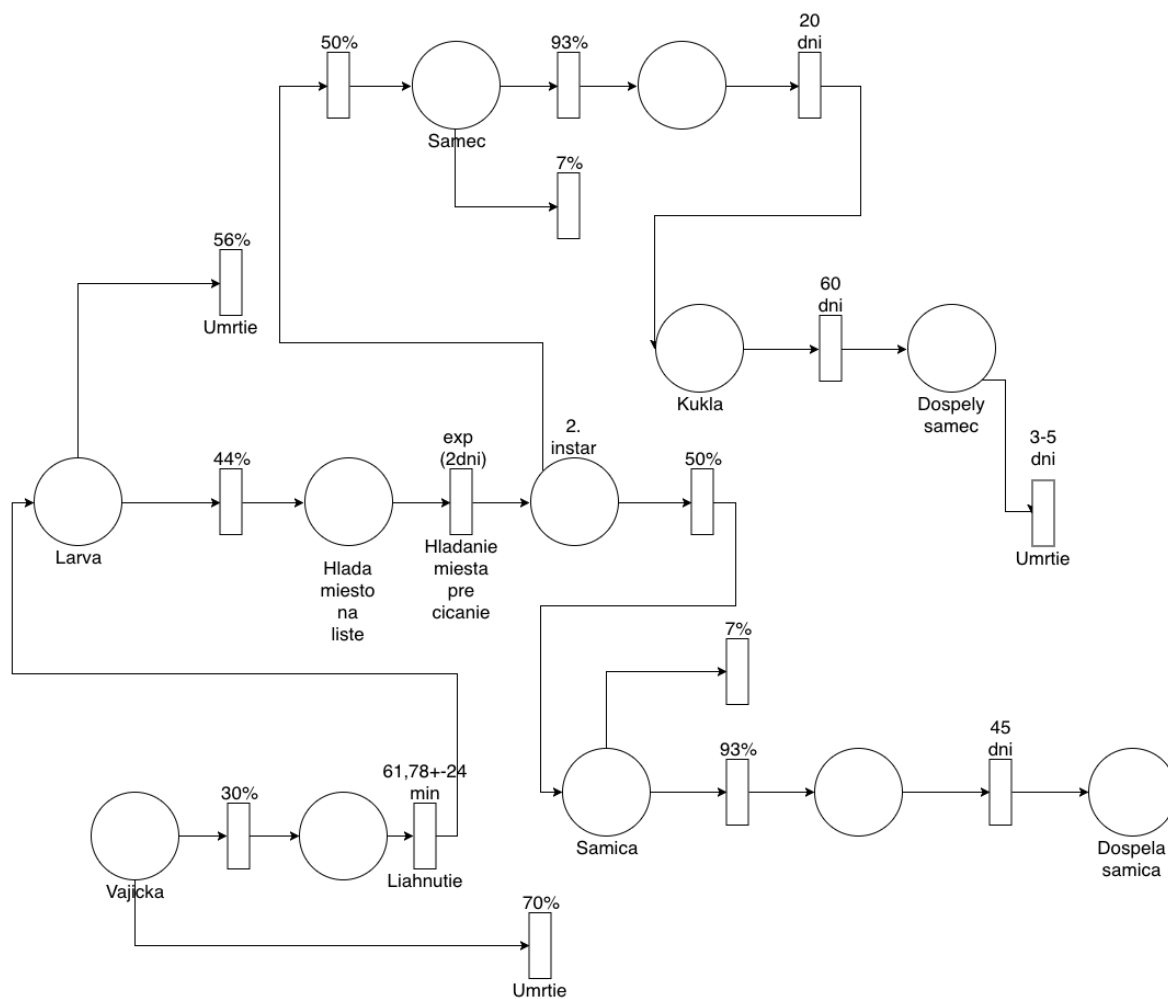
V obrázku 4. uvádzame namerané hodnoty dospelých samičiek z jedného listu, z ktorých by sme boli schopný vytvoriť karmín. Na základe nameraných hodnôt sme zistili, že priemerne na jednom liste Opuncie vyhováme približne 224.3 jedincov. V prípade že pracujeme s faktom, že zo 140 000 červov vyrobíme 1kg produktu, tak jeden červ vyprodukuje približne 7142  $\mu$ g produktu.

Ďalej sme dokázali určiť (viď obrázok 5.), že pomer zasklenej plochy k úrodnej ploche zväčšovaním konverguje k pomeru 1:1. Na základe tohto výpočtu môžeme tvrdiť, že v prípade, že dokážeme znížiť ročné prevádzkové náklady na vyhrievanie dvoch metrov kubických (rátame s výškou skleníka 2 metre) v skleníku pod hodnotu zodpovedajúcu produkcií približne 5 listom Opuncie, mohli by sme v teoretickej rovine prehlásiť, že pestovanie bude výnosné (v prípade že zanedbáme ďalšie výdavky spojené s výrobou). Na základe nášho simulačného modelu sme zistili, že produkcia v tomto množstve listov by bola približne 23.5g karmínu. Ak by ste teda chceli zistiť, či sa toto pestovanie uživí, museli by sme určiť, koľko peňazí potrebujeme na udržiavanie stabilných 25°C v prostredí opuncií. Keďže najteplejším miestom na Slovensku je práve Hurbanovo, kde na základe dát zo SHMU [4] vieme povedať, že priemerná ročná teplota sa pohybuje okolo 11°C (v prípade rozrátania na jednotlivé ročné obdobia dostaneme podobný energetický údaj). To by znamenalo, že v priemere musíme dodávať do skleníku energiu, ktorá bude aktívne udržiavať teplotu o približne 14°C vyššiu, než je vonkajšia teplota, čo sú v našich zemepisných šírkach priam tropické podmienky.

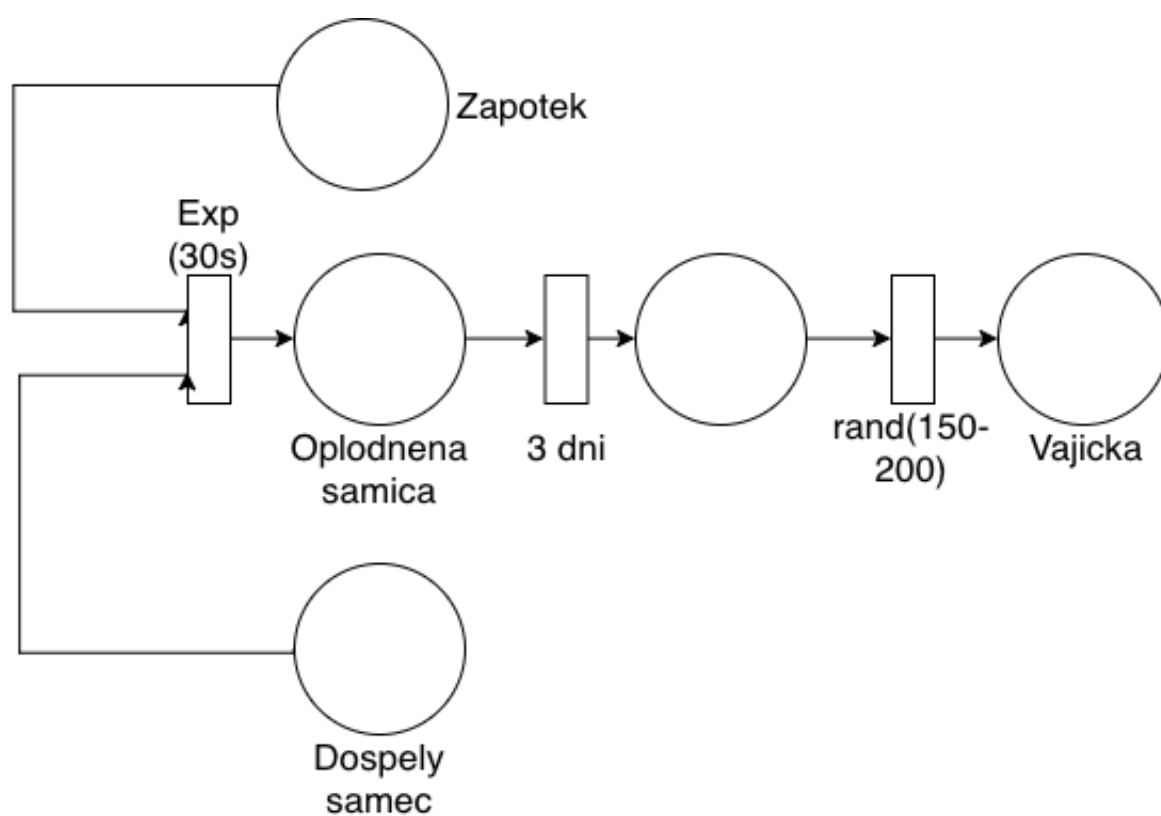
## 6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Ďalšie faktory tejto štúdie je veľmi komplikované určiť, keďže veci ako cena karmínu a cena energií pre vykurovanie sa môže odlišovať. Napríklad na základe stránky [6] sa môžeme dočítať, že 25g karmínu, čo je viac ako ročná produkcia na meter štvorcový je už pre bežného konzumenta ani nie 50USD, čo je aktuálne približne 43EUR. V rámci ďalšieho študovania sme zase prišli na to, že karmín sa vo veľa prípadoch už nahrádza syntetickými farbivami, hlavne kvôli cene a dostupnosti, čo je ďalší z faktorov ktorý nás zneisťuje. V konečnom dôsledku by tu taktiež boli náklady na zamestnancov, vodu a ďalšie takéto faktory, takže pochybujeme, že by bola produkcia výhodná.

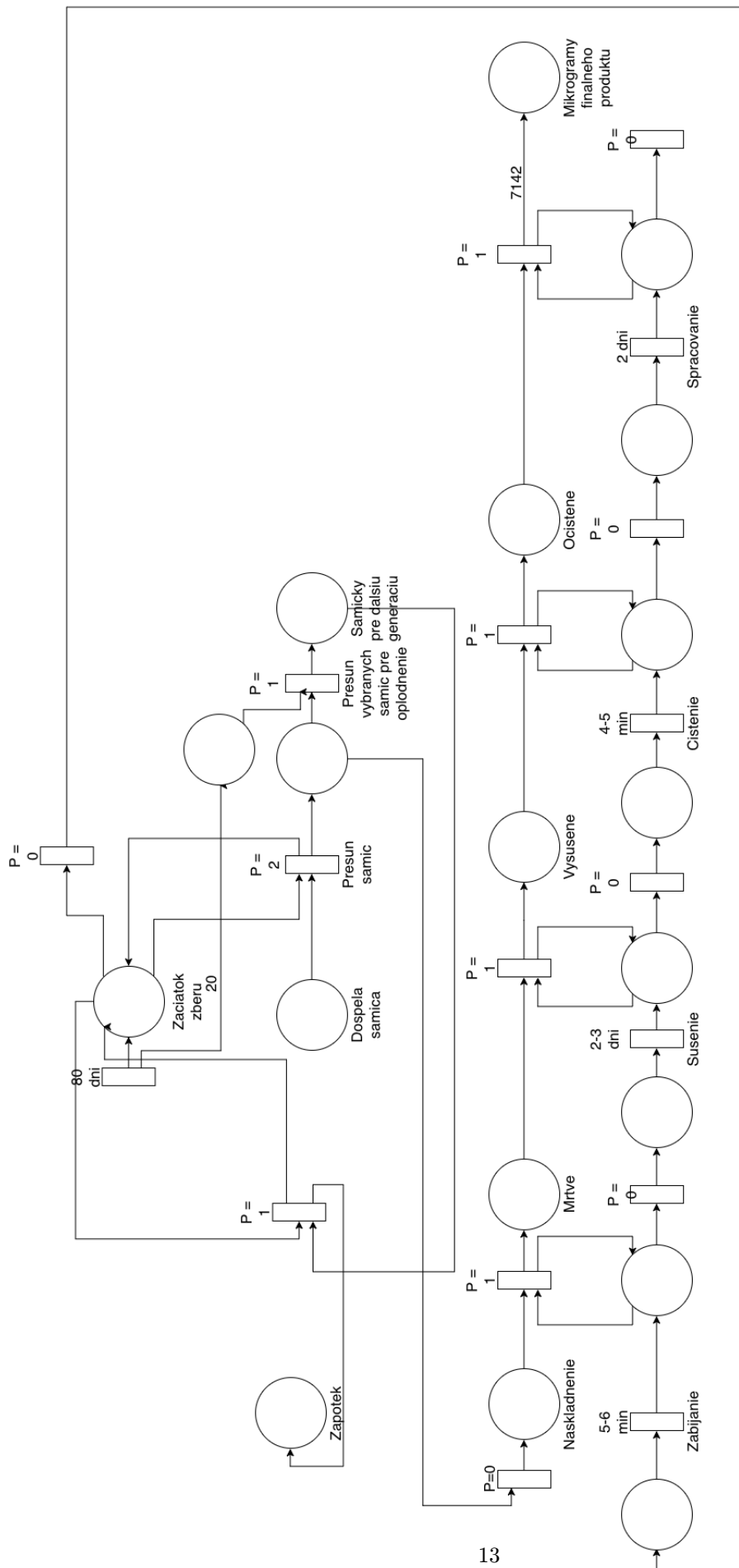
## 7 Obrázky



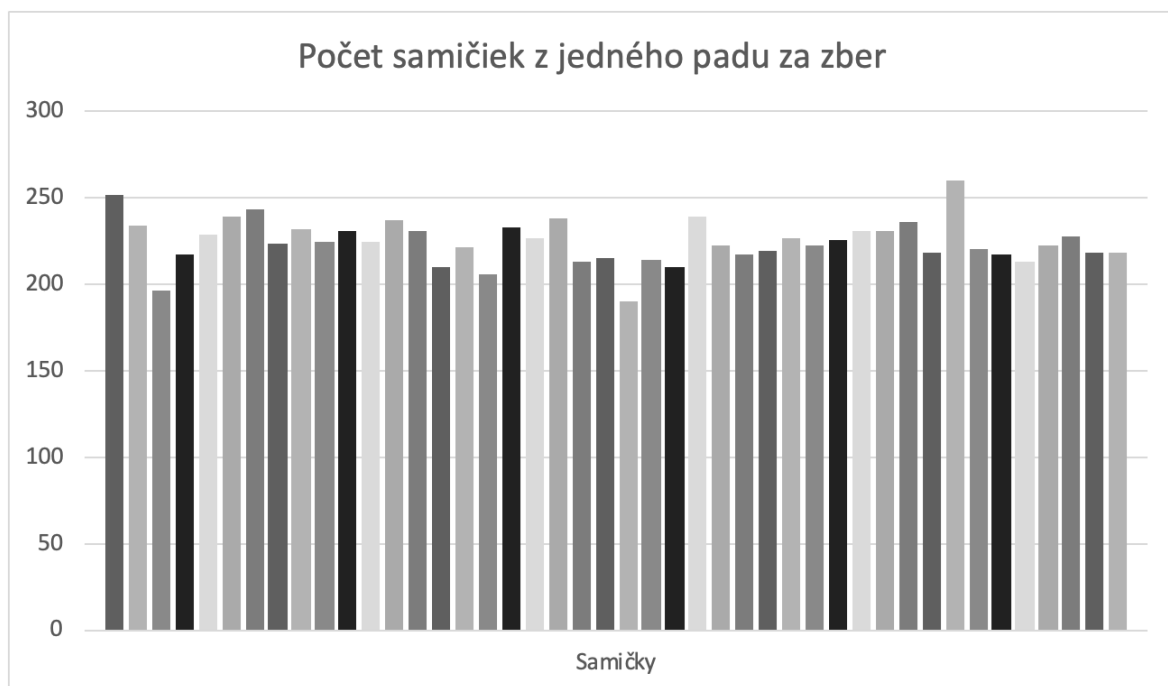
Obr. 1: Životný cyklus července nopáloveho



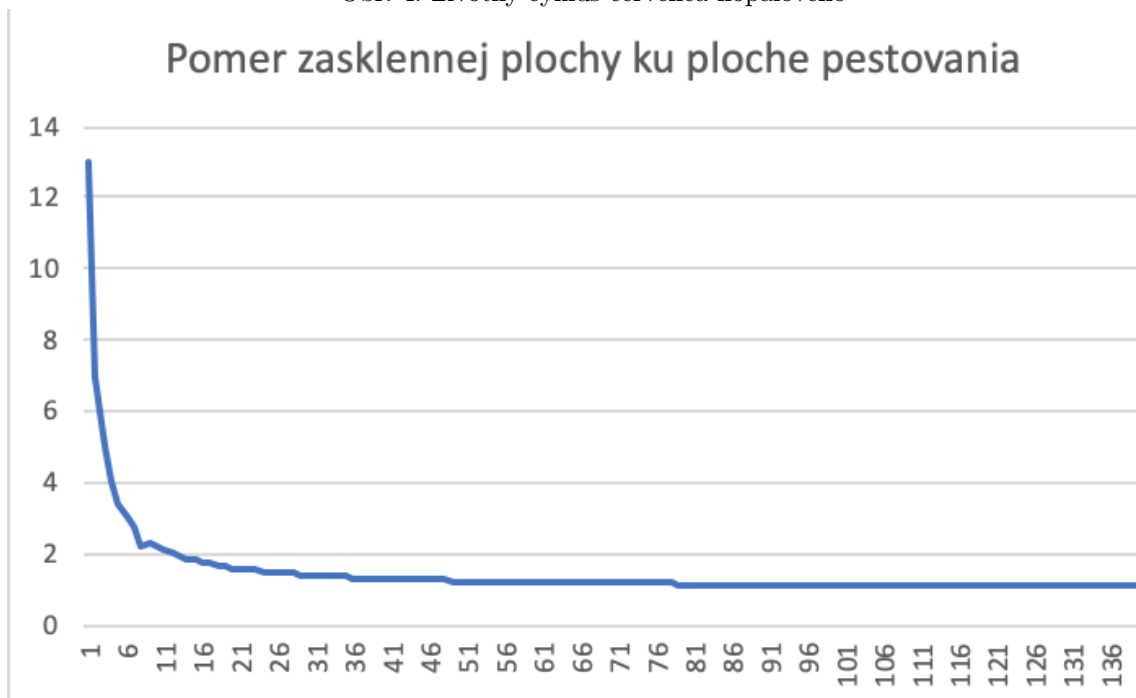
Obr. 2: Životný cyklus červenca nopáloveho



Obr. 3: Životný cyklus červena nopáloveho



Obr. 4: Životný cyklus červenca nopáloveho



Obr. 5: Životný cyklus červenca nopáloveho

# Literatúra

- [1] Petr Peringer, Martin Hrubý (2018) *Modelování a simulace*. <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [2] J. Antonio Palafox-Luna, Esteban Rodríguez-Leyva, J. Refugio Lomeli-Flores, A. Lilia Vigueras-Guzmán, J. Manuel Vanegas-Rico (2018) *LIFE CYCLE AND FECUNDITY OF *Dactylopius opuntiae* (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE) IN *Opuntia ficus-indica* (CARYOPHYLLALES: CACTACEAE)*. <https://www.researchgate.net/publication/323127276>
- [3] Zhonghe Zhang (2017) *The Life Tables of *Dactylopius Coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae) at Different Temperatures and Humidities*. <http://article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648.j.aff.20170601.16.pdf>
- [4] SHMÚ (2018) *Priemerná teplota vzduchu v ročných obdobiach v Hurbanove*. <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=431>
- [5] Kim Bhasin, Noelia de la Cruz (2012) *Here's what you need to know about the ground-up insects that Starbucks puts in your Frappuccino*. <https://www.businessinsider.com/how-cochineal-insects-color-your-food-and-drinks-2012-3>
- [6] Sisco Research Laboratories Pvt. Ltd.(2018) *Carmine*. [http://www.srlchem.com/products/product\\_details/productId/520/Carmine](http://www.srlchem.com/products/product_details/productId/520/Carmine)
- [7] TexasTides(2009) *Breeding the Cochineal for Harvest*. <https://www.youtube.com/watch?v=JDXtIbh1fGw>
- [8] Muhammed S. Shaik(2018) *How is e120 Carmine/cochineal made*. <https://youtu.be/d2yaH0vfMoA>