



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNE**

**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

**FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY**

**MODELOVANIE A SIMULÁCIE**

**2017/2018**

**VARIANTA ČÍSLO 1**

**VÝROBNÝ PROCES Z OBLASTI POĽNOHOSPODÁRSKEJ**

**AUTORI**

**AUTHORS**

**JAKUB HANDZUŠ (xhandz00)**

**MARTINA GRZYBOWSKÁ (xgrzyb00)**

**BRNO 28.11.2017**

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Autori a zdroje informácií.....	2
1.2	Overovanie validity .....	2
<b>2</b>	<b>Rozbor témy a použitých metód/technológií</b>	<b>2</b>
2.1	Popis použitých postupov .....	3
2.2	Pôvod použitých metód.....	3
<b>3</b>	<b>Koncepcia modelu</b>	<b>4</b>
3.1	Návrh konceptuálneho modelu .....	4
3.2	Formy konceptuálneho modelu.....	5
<b>4</b>	<b>Architektúra simulačného modelu</b>	<b>6</b>
4.1	Rozbor implementácie simulačného modelu.....	6
<b>5</b>	<b>Podstata simulačných experimentov a ich priebeh</b>	<b>7</b>
5.1	Postup experimentovania .....	7
5.2	Dokumentácia jednotlivých experimentov .....	8
5.2.1	Experiment 1 .....	8
5.2.2	Experiment 2 .....	9
5.2.3	Experiment 3 .....	10
5.2.4	Experiment 4 .....	11
5.2.5	Experiment 5 .....	12
5.3	Záver plynúci z experimentov.....	14
<b>6</b>	<b>Zhrnutie simulačných experimentov a záver</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Referencie</b>	<b>15</b>

# 1 Úvod

Táto práca vznikla ako projekt do predmetu Modelovanie a simulácie. Cieľom tohto projektu bolo vytvoriť simulačný ([1] slajd 8) model ([1] slajd 7) procesu liahnutia slepačích vajec za pomoci plne automatizovaných inkubátorov, pričom tento model bol skonštruovaný a validovaný na základe údajov skutočného systému ([1] slajd 7). Za pomoci simulácie overujeme momentálnu efektívnosť daného systému a experimentovaním s rôznymi kombináciami počtov jednotlivých komponentov systému sa pokúšame ustanoviť optimálne nastavenia.

## 1.1 Autori a zdroje informácií

Autormi tohto projektu sú Jakub Handzuš (xhandz00) a Martina Grzybowskiá (xgrzyb00) - študenti tretieho ročníka bakalárskeho štúdia na Fakulte Informačných Technológií na VUT v Brne. Pre naštudovanie samotného procesu umelého liahnutia slepačích vajec bol využitý článok [3] a diplomová práca [2]. Pri získavaní údajov potrebných k zostaveniu nášho modelu nám výrazne pomohla konzultácia s pani Klárou Tomkovou, ktorá sa venuje domácomu chovu hydiny a je majiteľkou niekoľkých špecializovaných inkubátorov. Touto cestou by sme jej chceli poďakovať za trpezlivosť pri našich otázkach.

## 1.2 Overovanie validity

Overovanie validity modelu spočívalo vo vykonávaní simulačných experimentov, ktorých výsledky boli postupne porovnávané s dôveryhodnými výstupnými údajmi skutočných systémov. V prípade produkcie vo väčšom množstve boli výsledky našej simulácie overované pomocou informácií získaných z diskusných príspevkov komunit chovateľov [4] a odborných článkov [3]. Pri maloprodukcii a následkoch prípadných problémov, ktoré môžu v dobe inkubácie nastať, sme naše výsledky porovnávali s údajmi získanými z už spomínanej konzultácie.

# 2 Rozbor témy a použitých metód/technológií

Pre modelovanie procesu liahnutia slepačích vajec pomocou inkubátora bolo potrebné naštudovať priebeh samotného procesu a taktiež zistiť všetky časové údaje a údaje o možných komplikáciách.

Frekvencia znášania vajec závisí od veku a druhu nosnice<sup>1</sup>, avšak ročná znáška najčastejšie chovaných druhov sa pohybuje v rozmedzí 250 až 300 kusov, čo znamená znesenie približne jedného kusu za 32 hodín [5]. Znesené vajcia by mali byť zbierané každý deň, optimálne niekoľkokrát. Po vyzbieraní je potrebné vajcia roztriediť a odstrániť všetky poškodené kusy. Produkcia môže byť zameraná výlučne na liahnutie vajec, ale v prípade drobnochovateľov je taktiež časté vyčleňovať časť znesených vajec na predaj a osobnú spotrebu. Vo všetkých prípadoch je však žiadané pred akýmkoľvek ďalším krokom vytriedené vajcia šetrným spôsobom zbaviť nečistôt.

Vajcia určené pre neskoršie liahnutie udržiavame v úschovniach pri stálej teplote nižšej ako 16°C, pričom dĺžka uskladnenia priamo ovplyvňuje percentuálnu šancu vyliahnúť a nemala by presiahnuť 10 dní, kedy sa šanca úspechu ešte pohybuje okolo 90%. Pri uskladnení presahujúcom 10 dní šanca úspešného vyliahnúť rapídne klesá, pri 30 dňoch je už takmer nulová [6]. Typy a veľkosti úschovní sa môžu líšiť v závislosti od množstva produkcie, pri domácom chove sa môže jednať aj o obyčajný plastový kontajner uložený na mieste s adekvátnou teplotou.

---

<sup>1</sup> sliepka, ktorá znáša vajcia

Pre umelé liahnutie vajec sa využívajú inkubátory, ktoré zabezpečujú správnu teplotu a vlhkosť vzduchu, teda dve základné podmienky potrebné pre zahájenie a úspešné ukončenie inkubácie. Tieto inkubátory sú rôznych typov a kapacít, pričom môžu ponúkať aj nadštandardnú funkcionálnosť, ktorú je inak potrebné vykonávať manuálne.

Slepačie vajíčka sú obvyčajne inkubované po dobu 22 dní. Medzi 20 a 21 dňom začínajú praskať, pričom k vyliahnutiu dochádza v priebehu 21 dňa. Posledný deň v inkubátore sa vyliahnuté kurčatá nechávajú presušiť [7]. Počas doby inkubácie je nutné vajcia v inkubátore otáčať, a tak simulovať prirodzené správanie sliepky, ktorá toto otáčanie pri liahnutí vykonáva pravidelne. Otáčanie zabraňuje prilepeniu žĺtkového vaku k vnútornej blane škrupiny. Pri umelom liahnutí je nutné vajcia otáčať aspoň dvakrát za deň, pričom začíname od druhého dňa inkubácie. V posledných troch dňoch inkubácie už otáčanie nevykonávame. Celý tento proces je pri väčšom množstve kusov časovo náročný, a preto je v tomto prípade výhodné zaobstarať si inkubátor vyššej cenovej kategórie, ktorý ponúka automatickú rotáciu.

Aj pri optimálnych podmienkach môže nastať situácia, kedy sa plod vo vajci nevyvíja správne alebo počas inkubácie zahynie. Existenciu takýchto vajec je zvyčajne možné odhaliť pomocou presvecovania v zvislom smere, ktoré by malo byť vykonávané minimálne trikrát - 9., 16. a 19. deň inkubácie. Po náleze takéhoto kusu je nutné ho z liahne odstrániť [4]. V niektorých prípadoch ani presvecovanie nedokáže odhaliť poruchu plodu a môže nastať situácia, kedy sa vajce po 21 dňoch nevyliahne alebo kura krátko po vyliahnutí umiera. Taktiež môže vyliahnuté kura byť nejakým spôsobom abnormálne, čo ho činí nevhodným na predaj a je potrebné ho utrátiť.

Keďže inkubátory využívané na inkubáciu sú napájané z elektrickej siete, výpadok elektrickej energie je značnou komplikáciou, ktorý môže mať za následok úhyn celej inkubovanej várky. Existujú rôzne sady inštrukcií, ktoré opisujú ako v takejto situácii postupovať. Pri pokuse o záchranu várky je prioritou udržať optimálnu teplotu, pri obnovení dodávky elektrickej energie sa pokračuje v procese inkubácie. Či plody prežili takto zhoršené podmienky, dokážeme určiť až okolo šiesteho dňa po výpadku, kedy v prípade neúspechu strácame celú várku a už spomenutý čas, ktorý mohol byť využitý na inkubáciu novej várky [5]. Z tohto dôvodu sa niektorí chovatelia v prípade výpadku elektrickej energie rozhodujú vajcia rovno nahradiť novými a zahajujú tak inkubáciu novej várky.

Po ukončení liahnutia v inkubátore je potrebné z dna vyzbierať škrupiny spolu s prípadnými nečistotami. Inkubátor musí prejsť precíznym procesom dezinfekcie, pričom doba pôsobenia niektorých prípravkov môže trvať až hodinu. Udržiavaním hygieny v inkubátore sa predchádza nákaze a infekciám, ktoré by mohli v prípade nečistôt napadnúť inkubovanú várku.

## **2.1 Popis použitých postupov**

Podľa dát získaných z naštudovanej literatúry a konzultácie sme zostavili abstraktný model ([1] slajd 42) reprezentujúci systém. Pre implementáciu simulačného modelu bol v súlade so zadaním použitý objektovo-orientovaný jazyk C++ a knižnica SIMLIB [9].

## **2.2 Pôvod použitých metód**

Návrh systému sme vytvorili pomocou Petriho siete ([1] slajd 123), ktorú sme následne pretransformovali do programu s využitím SIMLIB knižnice, ktorú vytvoril Dr. Ing. Petr Peringer.

### 3 Konceptcia modelu

Koncepcia vychádza z informácií predstavených v kapitole 2. Pri návrhu nášho modelu sme sa rozhodli abstrahovať od niektorých častí systému, ktoré boli pre náš cieľ nepodstatné a nijako by neovplyvňovali výsledky simulačných experimentov. Jednou z týchto častí je ručné otáčanie vajec v inkubátore, ktoré sme zanedbali z dôvodu nie len nízkej efektívnosti, ale taktiež z dôvodu toho, že reálny model, na ktorého základe sme stavali, využíval pre inkubáciu plne automatizovaný inkubátor, a teda umožňoval automatické otáčanie. Ďalej proces presvecovania vajec a ich odstránenie z inkubátora v prípade úmrtia plodu modelujeme až po ukončení inkubácie, keďže na celkový výstup nášho systému nemá vplyv čas, kedy kusy, poškodené počas inkubácie, tento systém opúšťajú. Do nášho modelu sme taktiež zahrnuli možnosť výpadku elektrickej energie, ktorého dĺžka presahuje dobu, pri ktorej plody vo vajciach ešte dokážu prežiť pri zhoršených podmienkach. Postup krokov pri výskyte, frekvenciu výskytu (približne 1 rok) a dĺžku trvania (približne 1 deň) tejto komplikácie sme opäť prebrali z reálneho modelu, ktorý nám bol predstavený pri našej konzultácii.

#### 3.1 Návrh konceptuálneho modelu

Vstupom simulácie sú vajcia znesené nosnicou, ktoré prichádzajú do systému s exponenciálnym rozložením počítaným na základe vzorca 1.1, kde 32 je počet hodín potrebný na vyprodukovanie vajca nosnicou a premenná `hens_num` určuje počet nosníc v systéme.

$$32 / \text{hens\_num}$$

Vzorec 1.1

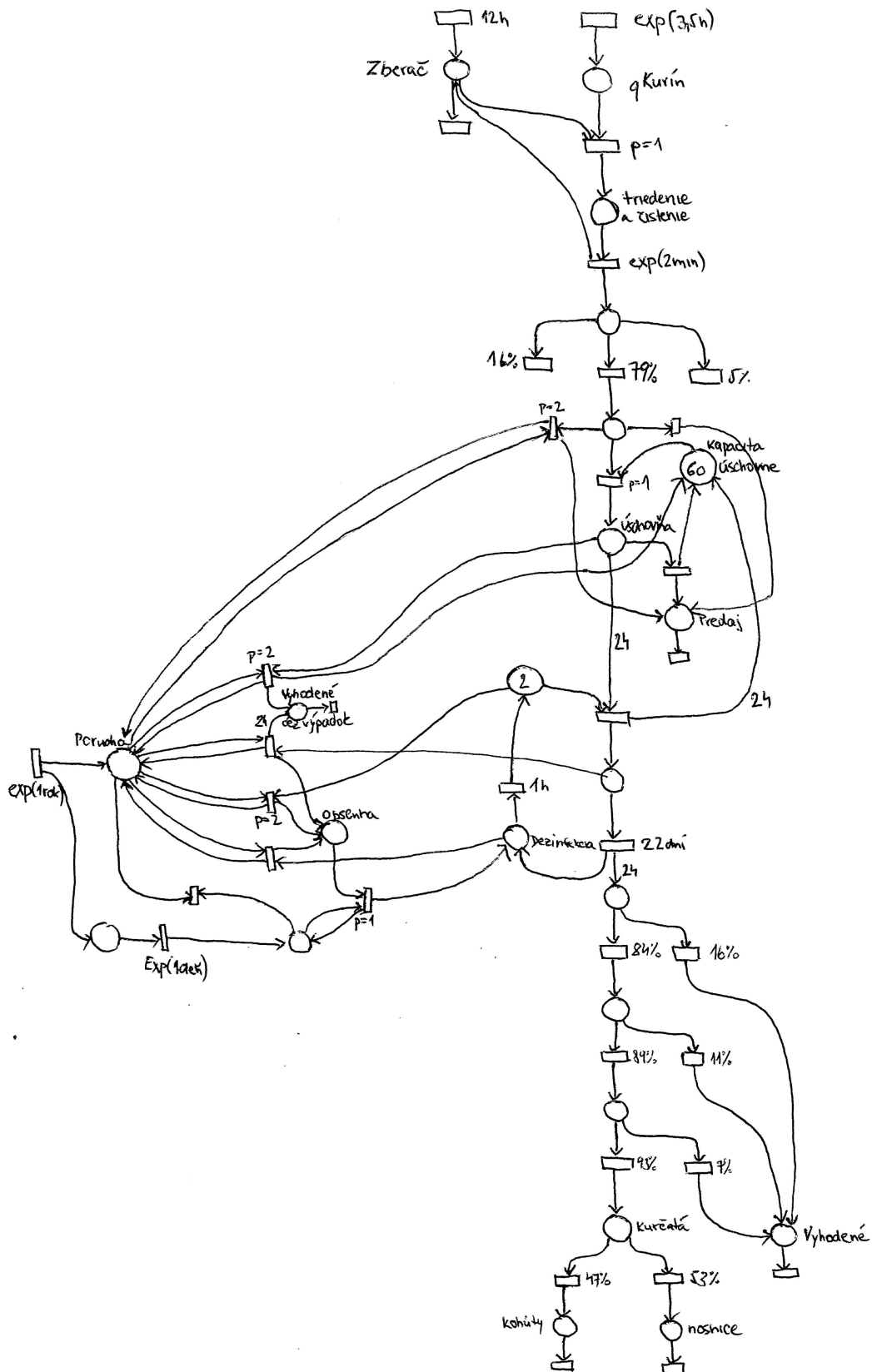
Vajcia sú zaradené do fronty ([1] slajd 138) a očakávajú príchod zberača, ktorý prichádza dvakrát za deň. Po vyzbieraní sú vytriedené, očistené od nečistôt a vybrané kusy sú umiestnené do úschovne, ktorá je reprezentovaná skladoom ([1] slajd 184). V tomto sklade čakajú na uvoľnenie jedného z inkubátorov. Do inkubátora sú spravidla umiestňované v celej várke, ktorej veľkosť závisí od jeho kapacity. Pokiaľ sú vajcia v sklade uložené 10 dní, zo systému odchádzajú. Proces inkubácie trvá už spomenutých 22 dní. Po jeho ukončení sú všetky vyliahnuté aj nevyliahnuté kusy premiestnené a inkubátor je pred ďalšou várkou potrebné vydezinfikovať, pričom dezinfekcia musí pôsobiť hodinu.

V prípade výpadku elektrickej energie sú všetky vajcia odstránené z inkubátorov a skladu, pričom novopríchodzie kusy sú smerované rovno na predaj. Po obnovení dodávky elektrickej energie sú vajcia opäť umiestňované do skladu a čakajú na sprístupnenie inkubátorov, ktoré najprv musia prejsť procesom dezinfekcie.

Výstupom simulácie sú informácie o štatistikách systému popisujúcich počty vajec poprípade kurčiat. Ďalej informuje o vyťaženosti jednotlivých komponentov a celkovom zisku.

### 3.2 Formy konceptuálneho modelu

Petriho sieť na obrázku 1 znázorňuje prechod zneseného vajca systémom.



Obrázok 1 - Petriho sieť

## 4 Architektúra simulačného modelu

Základnou časovou jednotkou simulácie je hodina, od ktorej sú odvodené ostatné časové konštanty. Pre jednoduchšiu prácu s programom sme vytvorili sériu konštánt a makier reprezentujúcich napríklad dobu znosenia vajca, dobu príchodu zberača alebo počet nosníc a počet inkubátorov. Zmeny hodnôt týchto konštánt sa využívajú pri vykonávaní experimentov s modelom.

### 4.1 Rozbor implementácie simulačného modelu

Naša implementácia obsahuje niekoľko tried, dediacich od triedy `Process` z knižnice `SIMLIB`, ktoré reprezentujú kľúčové prvky systému.

- trieda `Egg`  
je abstrakciou znoseného vajca, ktoré je po vstupe do systému zaradené do fronty `q_Henhouse` a následne suspendované ([1] slajd 175). V tomto stave zotrúva až do doby príchodu zberača do systému, ktorý vykoná jeho aktiváciu ([1] slajd 175). Následne môže byť umiestnené do skladu `s_Storage`, kde je po dobu nepresahujúcu 10 dní opäť suspendované, pričom očakáva príchod inkubátora a naplnenie jeho kapacity. Po procese inkubácie je opäť aktivované a opúšťa systém.
- trieda `Collector`  
je abstrakciou zberača, ktorý sa stará o zber vajec z kurína a ich očistenie od nečistôt. Dĺžka vykonávania tejto činnosti je daná exponenciálnym rozložením so stredom 2 minúty.
- trieda `Incubator`  
je abstrakciou inkubátora, implementuje hlavnú logiku jeho naplňovania. Po uvoľnení inkubátora a splnení podmienky naplnenia jeho kapacity zaberie inkubátor zo skladu `s_Incubator`, odstráni potrebný počet objektov vajec zo skladu `s_Storage` a následne ich aktivuje. Proces inkubácie trvá 22 dní, po ktorých opäť aktivuje medzitým suspendované objekty liahnutých vajec a vykoná dezinfekciu, ktorá pôsobí hodinu. Na samotnom konci uvoľňuje inkubátor zo skladu `s_Incubator`.
- trieda `Timeout`  
reprezentuje časovač ([1] slajd 176), ktorý slúži na prerušenie čakania objektu vajca vo fronte `q_Storage` po ubehnutí doby 10 dní.
- trieda `Blackout`  
je abstrakciou výpadku elektrickej energie. Odstraňuje všetky objekty v sklade `s_Storage` a vyvolá predčasnú aktiváciu objektov inkubátorov, ktoré následne odstraňujú objekty vajec, ktoré boli v procese liahnutia. Následne znemožní využívanie objektov inkubátorov na dobu danú exponenciálnym rozložením so stredom 1 deň.

Pre generovanie objektov niektorých kľúčových prvkov naša implementácia využíva generátory dediace od triedy `Event` ([1] slajd 169), ktorá je prevzatá z knižnice `SIMLIB`.

- trieda `Egg_generator`  
slúži na generovanie objektov reprezentujúcich znosené vajcia (trieda `Egg`), pričom prvý objekt je vygenerovaný v čase 0 a každý ďalší vzniká v čase danom exponenciálnym rozložením so stredom vypočítaným na základe vzorca 1.1.

- trieda `Collector_generator`  
slúži pre generovanie objektov reprezentujúcich zberačov (trieda `Collector`), ktorí do systému prichádzajú v pravidelných 12 hodinových intervaloch.
- trieda `Blackout_generator`  
slúži pre generovanie objektov reprezentujúcich výpadky elektrickej energie (trieda `Blackout`), ktoré nastávajú v čase s exponenciálnym rozložením so stredom 1 rok.

## 5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Podstatou našich simulačných experimentov je skúmať optimálnosť nastavení reálneho systému pri procese liahnutia slepačích vajec z hľadiska efektivity a ekonomickej stránky. Tieto experimenty sú vykonávané s dobou simulácie nastavenou na 5 rokov. Sledované sú najmä údaje ako vyťaženosť inkubátorov, priemerné časy vajec strávených v úschovni, priemerne využívaná kapacita úschovne a taktiež množstvo úspešne vyľahnutých a predaných vajec.

### 5.1 Postup experimentovania

Pri jednotlivých experimentoch sme najprv pracovali s dátami reálneho systému. V prípade odhalenia neefektívnej kombinácie počtov/kapacít jednotlivých komponentov sme identifikovali článok, ktorý spôsoboval nerovnováhu, a následne sme skúmali dopad na systém pri zmene jeho hodnoty. Po zistení optimálnej hodnoty sme v ďalších experimentoch pracovali už s takto zmenenou hodnotou.

Pre sledovanie efektívnosti a ekonomickej stránky pri procese liahnutia je nutné definovať základné počty a sadzby, s ktorými reálny systém pri svojom chode pracuje. V tabuľke 1 sa nachádzajú informácie o počte jednotlivých komponentov, aktuálne využívaných v nami sledovanom reálnom systéme a náklady na ich prevádzku. V tabuľke 2 sú zobrazené štatistiky výstupných hodnôt a im zodpovedajúce dosahované tržby. Dáta sa vzťahujú na dobu behu reálneho systému v dĺžke 5 rokov. Tabuľka 3 informuje o obstarávacích a predajných cenách za kus jednotlivých položiek.

Objekt	Počet	Prevádzkové náklady
inkubátor (kapacita 24 kusov)	2	cca 570 €
úschovňa (kapacita 60 kusov)	1	cca 200 €
nosnice	9	cca 450 €
kohúty	1	cca 50 €
Celkom	cca 1270 €	

Tabuľka 1 - počty komponentov a prevádzkové náklady



Stav vajec	Počet	Dosiahnuté tržby
rozbité/vlastná spotreba	362	0 €
predané	7967	1593 €
vyhodené pri inkubácii	1371	0 €
úspešne vyliahnuté	2445	1808 €
<b>Celkom</b>	<b>12145</b>	<b>3401 €</b>

Tabuľka 2 - štatistika vajec v systéme a zisk

Objekt	Cena za kus
inkubátor (s kapacitou 24)	35 €
nosnica	6,50 €
kohút	5 €
vajce	0,20 €
jednodňové kura nosnice	1,20 €
jednodňové kura kohúta	0,20 €

Tabuľka 3 - prehľad cenových ohodnotení objektov systému

## 5.2 Dokumentácia jednotlivých experimentov

V nasledujúcich podkapitolách budú opísané postupy pri jednotlivých experimentoch a závery vyvedené z informácií pri nich získaných.

### 5.2.1 Experiment 1

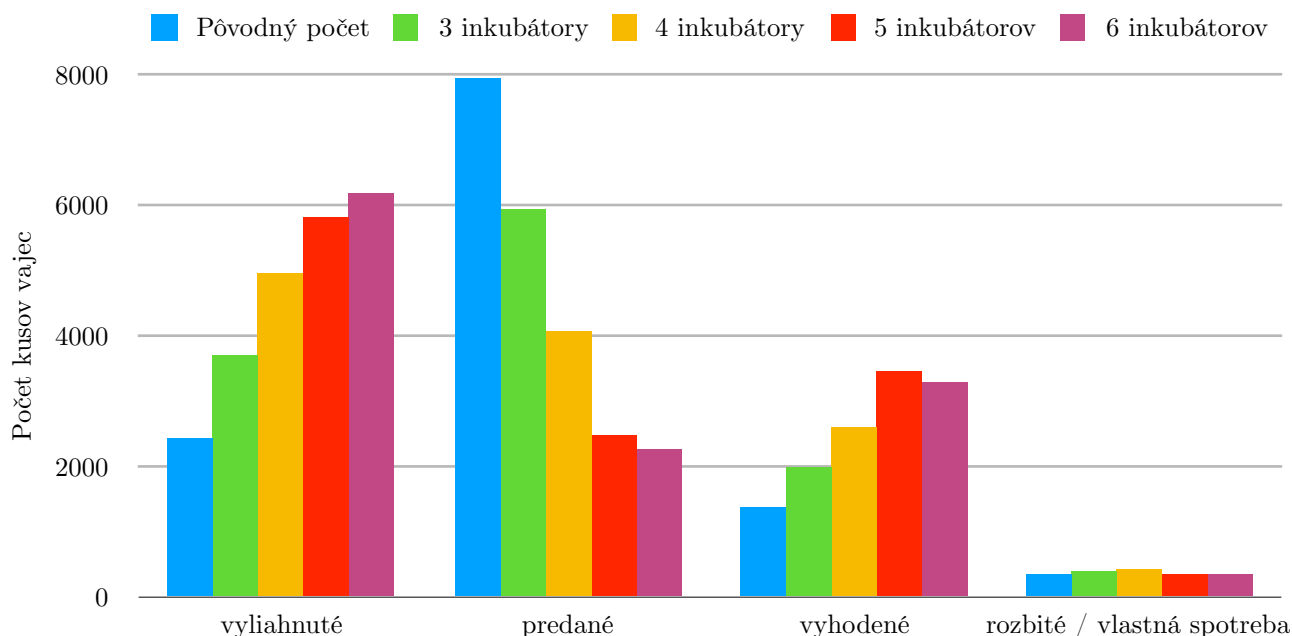
Prvý experiment spočíval v overení optimálnosti aktuálnych kombinácií počtov a kapacít jednotlivých komponentov modelovaného systému, pričom ako vstupné nastavenia boli využité údaje o počtoch zobrazené v tabuľke 1 a dobou prevádzky 5 rokov. Priemerné vyťaženosť a využívané kapacity jednotlivých komponentov, ktoré sme zistili pomocou simulácie, sú zobrazené v tabuľke 4 a 5.

Objekt	inkubátor
Počet zariadení	2
Priemerná vyťaženosť zariadení	1,90 (95 %)

Tabuľka 4 - priemerná vyťaženosť inkubátorov

Objekt	úschovňa
Kapacita zariadenia	60
Priemerne využívaná kapacita	44 (73 %)
Priemerný čas kusov strávený v úschovni	204 hodín

Tabuľka 5 - priemerne využitá kapacita úschovne



Graf 1 - štatistiky vajec pri rôznych počtoch inkubátorov

Z výsledkov simulácie vidíme, že kapacita úschovne je postačujúca, ale inkubátory sú pri ich momentálnom počte príliš vyťažené. Z tohoto dôvodu vajcia v úschovni trávajú príliš dlhý čas predtým, než prídu na rad na inkubáciu - vzhľadom na maximálnu dĺžku 240 hodín, ktoré môžu celkovo v úschovni stráviť. Môžeme skonštatovať, že pri aktuálnych nastaveniach systém nevyužíva svoj plný potenciál vzhľadom na počet nosníc a kapacitu úschovne, pretože počet inkubátorov nie je adekvátny a znesené vajcia nie sú spracovávané. Táto nerovnováha bude ďalej riešená v nasledujúcom experimente.

### 5.2.2 Experiment 2

Na základe odhalenia nedostatkov v nastavení systému pri prvom experimente sme sa rozhodli postupne zvyšovať počet inkubátorov, zatiaľ čo ostatné nastavenia sme ponechali v pôvodnom stave. Počítali sme, že pridávané inkubátory budú rovnakého typu a kapacity, ako tie pôvodné. Ako je možné pozorovať v tabuľke 6, priemerný čas kusu strávený v úschovni klesal takmer pravidelne, až pri počte inkubátorov zvýšenom na 5 došlo k veľkému skoku, pričom priemerný čas odpovedajúci 95 hodinám sa javí ako vhodný (pri maximálnej hodnote 240). Pri zvýšení počtu na 6 bola priemerná vyťaženosť zariadení tak nízka, že jeden inkubátor bol takmer nevyužívaný, taktiež z grafu 1 je možné vyčítať, že pri použití 5 a 6 inkubátorov sú zmeny počtov jednotlivých kusov minimálne. Z tohto dôvodu sme sa rozhodli zvyšovanie ukončiť a považovať počet inkubátorov zvýšený na 5 za optimálny z hľadiska priemernej vyťaženia a priemerného času stráveného v úschovni.

Počet zariadení	Priemerná vyťaženosť zariadení	Priemerný čas strávený v úschovni
2	1,90 (95%)	204 hodín
3	2,83 (94%)	191 hodín
4	3,76 (93%)	174 hodín
5	4,55 (91%)	95 hodín
6	4,70 (78%)	52 hodín

Tabuľka 6 - porovnanie vyťaženia a času pri rôznych počtoch inkubátorov

Takto zistený optimálny počet sme ďalej overovali z ekonomickej stránky. Podľa cien jednotlivých položiek, ktoré sú zobrazené v tabuľke 3, sme určili približný zisk, ktorý systém s jednotlivými počtami inkubátorov dosahoval. Tieto približné hodnoty sú zobrazené v tabuľke 7, pričom táto tabuľka nezobrazuje sumy potrebné na prevádzku úschovne a ceny krmiva nosníc, keďže sa pri tomto experimente nemenia. Je možné vypožorovať, že po dobe 5 rokov je zisk maximálny pri počte 5 inkubátorov, čím potvrdzujeme náš predošlý predpoklad o optimálnosti tohto počtu aj z ekonomického hľadiska.

Počet zariadení	Tržby z produkcie	Náklady na elektrinu inkubátorov	Nákup inkubátorov	Celkový zisk
2	3435 €	572 €	už zakúpené, 0 €	2210 €
3	3930 €	853 €	35 €	2395 €
4	4460 €	1130 €	70 €	2610 €
5	4870 €	1389 €	105 €	2730 €
6	4880 €	1385 €	140 €	2705 €

Tabuľka 7 - prehľad ziskov za 5 rokov pri rôznych počtoch inkubátorov

### 5.2.3 Experiment 3

Cieľom tohoto experimentu bolo preskúmať možnosti navýšenia produkcie systému. Po naštudovaní údajov o veľkosti výbehu, ktorý je minimálny pre chov jednej nosnice (4 m<sup>2</sup>) [4], sme vykonali prieskum priestoru reálneho modelu, ktorý je využívaný na chov. Zistili sme, že tento priestor o veľkosti 200 m<sup>2</sup> by bol schopný poňať celkom 44 kusov hydiny, teda 40 nosníc a 4 kohútov, keďže ideálne má na 10 nosníc pripadať 1 kohút [4].

Pri navýšení počtu nosníc je opäť potrebné preskúmať optimálnosť počtov a kapacít ostatných komponentov. Počet inkubátorov sme nastavili na 5 na základe výsledkov predošlého experimentu, zatiaľ čo kapacita úschovne bola ponechaná.

Objekt	inkubátor
Počet zariadení	5
Priemerná vyťaženosť zariadení	4,79 (96 %)

Tabuľka 8 - priemerná vyťaženosť inkubátorov

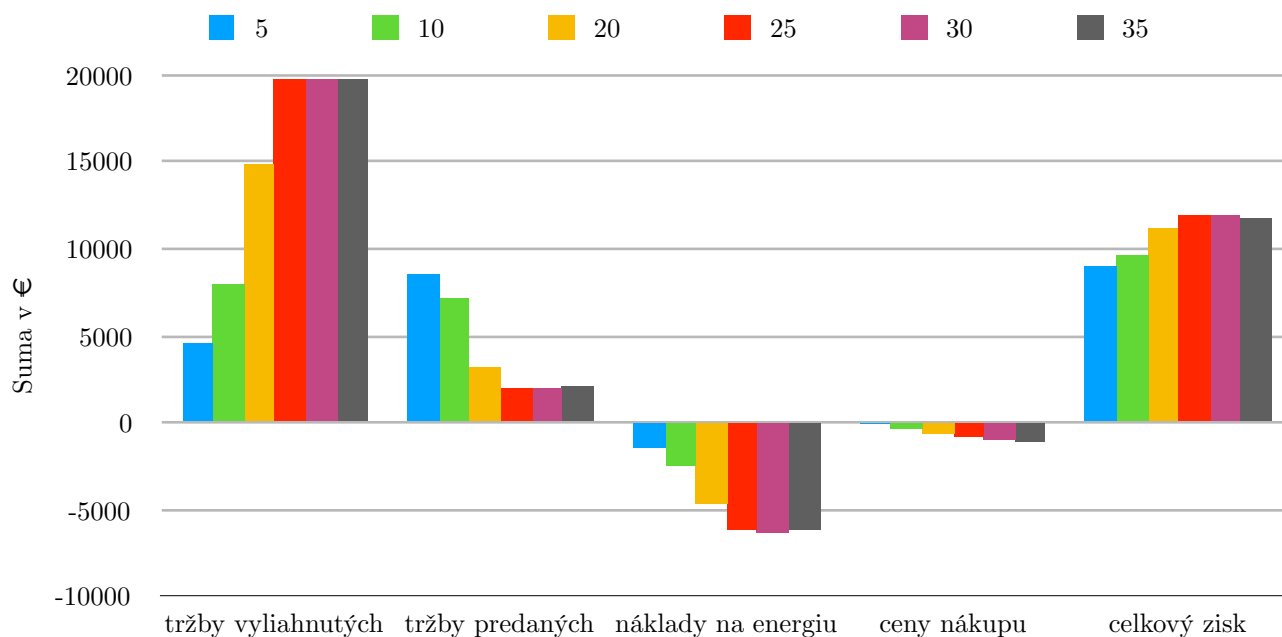
Objekt	úschovňa
Kapacita zariadenia	60
Priemerne využívaná kapacita	50 (83 %)
Priemerný čas kusov strávený v úschovni	146 hodín

Tabuľka 9 - priemerne využitá kapacita úschovne

Z tabuliek 8 a 9 je zrejmé, že inkubátory sú pri momentálnom počte opäť preťažené, ako sme očakávali. Vyťaženie úschovne je taktiež dosť vysoké, ale náš predpoklad je, že pri nasledujúcom experimente sa toto číslo pri zvýšení počtu inkubátorov taktiež upraví.

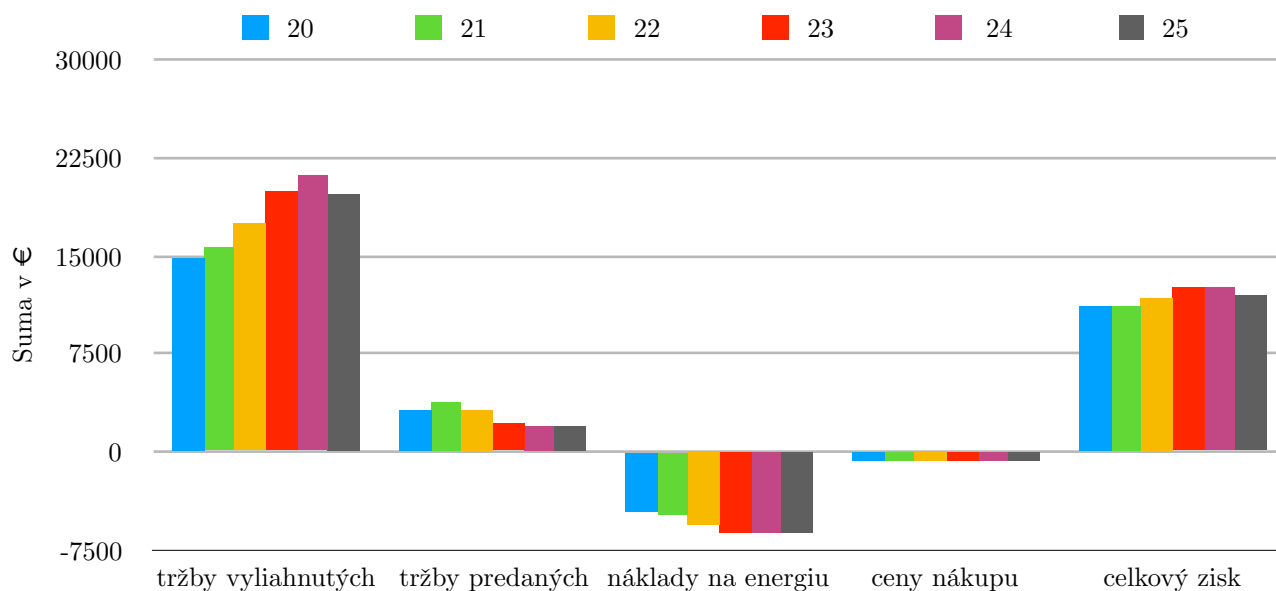
#### 5.2.4 Experiment 4

Na základe výsledkov z predošlého experimentu sme sa rozhodli zopakovať postup využité pri druhom experimente, avšak sme sa zamerali rovno na ekonomickú stránku. Z grafu 2 je možné vypočítavať, že pri prekročení počtu 25 sa finančné výsledky prestali zlepšovať, z čoho sme usúdili, že ideálny počet sa nachádza v rozmedzí 20 až 25 inkubátorov. Tento interval sme bližšie preskúmali, výsledky sú zobrazené v grafe 3.



Graf 2 - štatistiky ziskov pri rôznych počtoch inkubátorov (rozmedzie 5 - 35)

Z grafu 3 vyplýva, že ideálny počet inkubátorov pre krdeľ nosníc o veľkosti 40 je 24. V tabuľkách 10 a 11 sú vypísané náklady a zisky pri 5 ročnom chode takéhoto systému. Z týchto čísel vyplýva, že celkový zisk je približne 12369 €, čo považujeme za maximálny zisk, ktorý je možné dosiahnuť pri navýšení produkcie systému s daným obmedzením na počet chovaných nosníc a typ inkubátorov.



Graf 3 - štatistiky ziskov pri rôznych počtoch inkubátorov (rozmedzie 20 - 25)

Objekt	Počet	Prevádzkové náklady	Jednorazové dokúpenie
inkubátor (kapacita 24 kusov)	24	cca 6255 €	770 €
úschovňa (kapacita 60 kusov)	1	cca 200 €	0 €
nosnice	40	cca 2000 €	202 €
kohúty	4	cca 200 €	15 €
Celkom	cca 9642 €		

Tabuľka 10 - náklady pri 40 nosniciach a 24 inkubátoroch

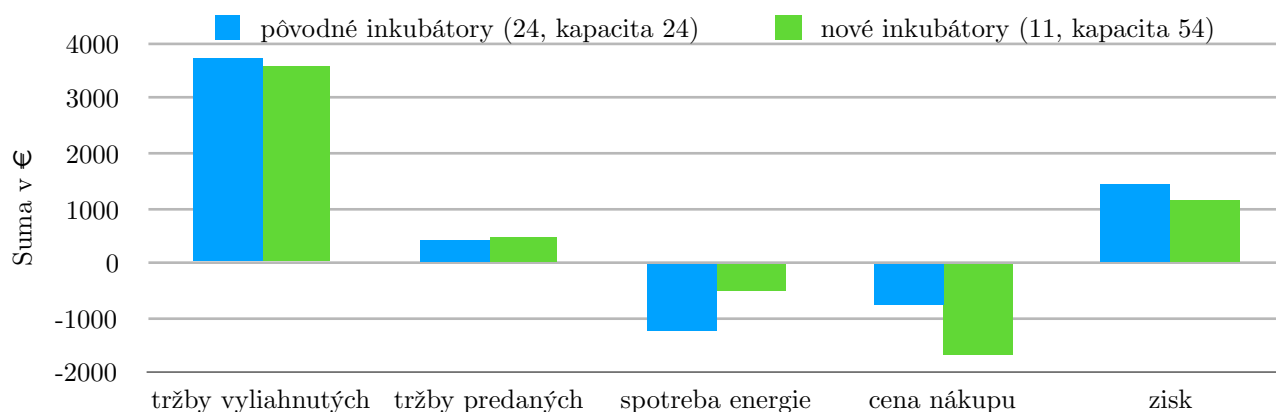
Stav vajec	Počet	Tržby
rozbité/vlastná spotreba	1558	0 €
predané	9889	1978 €
vyhodené pri inkubácii	14409	0 €
úspešne vyliahnuté	27447	20033 €
Celkom	53303	22011 €

Tabuľka 11 - zisk pri 40 nosniciach a 24 inkubátoroch

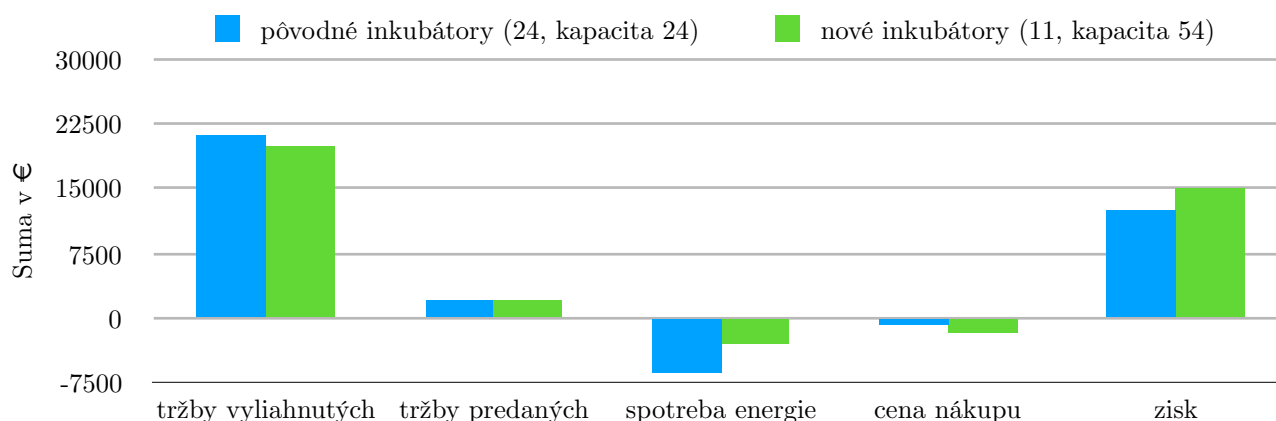
### 5.2.5 Experiment 5

V tomto experimente sme sa snažili vyhodnotiť, ako by vyzerala situácia po jednom roku a po piatich rokoch od značnej investície do nákupu nových inkubátorov vyššej cenovej kategórie s vyššou kapacitou, ale rovnakou spotrebou elektrickej energie. Pri tomto experimente využívame údaje získané z predošlých experimentov, teda počítame s krdľom nosníc o veľkosti 40 a úschovňou

s kapacitou 60, pričom kapacita nových inkubátorov je 54. Kúpna cena jedného inkubátora je 150€, čo je o 115 € viac ako cena pôvodného. Využitím postupu z predošlých experimentov sme určili číslo 11 ako optimálny počet inkubátorov s takouto kapacitou. V grafe 4 a 5 je zobrazené porovnanie výsledkov pôvodných a nových inkubátorov. Graf 4 ukazuje, že po prvom roku sa investícia ešte nevrátila. Z grafu 5 je možné vyčítať, že investícia sa po piatich rokoch vrátila a riešenie je výhodnejšie vďaka svojej úspornosti.



Graf 4 - porovnanie výsledkov s pôvodnými a novými inkubátormi po jednom roku



Graf 5 - porovnanie výsledkov s pôvodnými a novými inkubátormi po piatich rokoch

	Pôvodné inkubátory	Nové inkubátory
Množstvo strojov	24	11
Kapacita jedného	24	54
Čas strávený v úschovni	12 hodín	27 hodín
Vyťaženie inkubátorov	20,90 (87%)	9,26 (84%)
Využívaná kapacita úschovne	11,50 (19%)	26,4 (44%)

Tabuľka 12 - rozdiely prejavene na ostatných častiach systému

### **5.3 Záver plynúci z experimentov**

Celkovo bolo vykonaných 18 experimentov. Niektoré experimenty boli zamerané na overenie efektívnosti systému a detekciu možných slabších článkov, v prípade ich identifikácie boli vykonané experimenty snažiace sa tento systém vylepšiť. Z prvotne vykonaných experimentov skutočne vyplynulo, že za momentálnych nastavení systém nevyužíva svoj plný potenciál a nasledujúcimi experimentami sme sa tento stav pokúsili upraviť.

## **6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver**

V tejto práci bol popísaný postup pri tvorení simulačného modelu procesu liahnutia slepačích vajec za pomoci plne automatizovaných inkubátorov. Pre vytvorenie základnej koncepcie tohoto modelu bolo potrebné získať odborné údaje a dôkladne naštudovať samotný proces liahnutia. Na základe týchto informácií sme vytvorili abstraktný model, ktorý bol následne pretransformovaný do simulačného modelu. Validita tohoto modelu bola overená za pomoci simulačných experimentov, ktorých výsledky boli porovnávané s výstupnými údajmi skutočného systému. Po overení validity boli následne vykonávané simulačné experimenty, ktorými sme overovali momentálnu efektívnosť daného systému. Za pomoci týchto experimentov sme taktiež skúmali dopad zmien jednotlivých komponentov na správanie systému z dlhodobého hľadiska.

## 7 Referencie

- [1] PERINGER, Petr. *Modelování a simulace* [online]. [cit. 2017-28-11]. Dostupné z: <https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/course-files-st.php/course/IMS-IT/lectures/IMS.pdf>
- [2] LENCSEŠ, Peter. 2011. *Porovnanie technických parametrov obohatených a neobohatených klieťok pre nosnice* : diplomová práca. Nitra : SPU, 2011. 80 s.
- [3] CLAUER, Philip. *Incubating Eggs* [online]. [cit. 2017-28-11]. Dostupné z: [http://pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs\\_ext\\_vt\\_edu/2902/2902-1090/2902-1090\\_\\_pdf.pdf](http://pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/2902/2902-1090/2902-1090__pdf.pdf)
- [4] Diskusné fórum s príspevkami chovateľov  
<https://www.backyardchickens.com/forums/incubating-hatching-eggs.5/>
- [5] Oficiálna stránka veľkochovateľa  
<http://dominant-cz.cz/produkty/>
- [6] HRNČÁR, BUJKO. *Vplyv predhriatia násadových vajec pred skladovaním na liahnutie hydiny* [online]. [cit. 2017-28-11]. Dostupné z: [http://www.acta.fapz.uniag.sk/journal/index.php/on\\_line/article/viewFile/31/14](http://www.acta.fapz.uniag.sk/journal/index.php/on_line/article/viewFile/31/14)
- [7] Odporúčania k liahnutí v liahni  
<https://www.poctivepotraviny.sk/magazin/clanok/ako-liahnut-kuriatka-v-liahni>
- [9] PERINGER, Petr. 2011. *SIMulation LIBrary for C++* [online]. [cit. 2017-28-11]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>