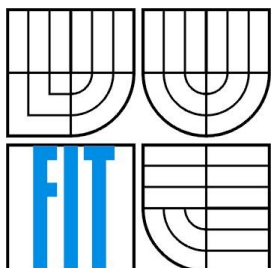


# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ



MODELOVÁNÍ A SIMULACE

PRŮBĚH ROKU JEDNOHO VČELÍHO ÚLU

AUTOR

LUKÁŠ VOKRÁČKO, XVOKRA00

MICHAL VESELÝ, XVESEL63

# Obsah

Obsah.....	2
1 Úvod.....	3
1.1 Autoři a zdroje informací.....	3
1.2 Ověřování validity modelu.....	3
2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií.....	3
2.1 Shrnutí faktů.....	3
2.1.1 Stádia života včely.....	4
2.1.2 Reprodukce.....	4
2.1.3 Potrava.....	5
2.1.4 Produkce medu.....	5
2.2 Použité postupy a technologie.....	5
2.3 Původ použitých technologií.....	5
3 Koncepce.....	6
3.1 Konceptuální vyjádření modelu.....	6
4 Architektura simulačního modelu.....	7
5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh.....	8
5.1 Ideální počet zimujících včel.....	8
5.2 Vykácení.....	9
5.3 Závěry experimentů.....	10
6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr.....	11
7 Použitá literatura.....	11

# 1 Úvod

V této práci je řešena implementace simulačního modelu [IMS, 10] reprezentující průběh roku jednoho včelího úlu. Na základě experimentů s vytvořeným simulačním modelem bude ukázán vliv počasí a úrody v akčním rádiu zkoumaného včelího úlu na produkci medu a množství včel obývajících úl. Smyslem experimentů je zjistit, jaký vliv na produkci medu má vykácení přilehlého lesa s výhradním výskytem lípy malolisté, a jaký je nejvhodnější počet zazimovaných včel z pohledu ziskovosti medu.

## 1.1 Autoři a zdroje informací

Na vytvoření simulačního modelu a experimentů spolupracovali Michal Veselý a Lukáš Vokráčko. Při ověřování validity modelu bylo využito konzultací s Milanem Vokráčkem, jenž se včelařením zabývá již 13 let. Pro získání konkrétních statistických údajů týkajících se života včel bylo čerpáno z [1][2][3][4].

## 1.2 Ověřování validity modelu

Validita modelu [IMS, 37] byla ověřována experimenty nad simulačním modelem, přičemž jako vstupní parametry reprezentující počasí a úrodu byly použity údaje z let 2012 a 2013. Po získání výsledků z experimentů probíhala konzultace výsledných hodnot s Milanem Vokráčkem, po níž následovala úprava modelu a další iterace experimentů.

# 2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

## 2.1 Shrnutí faktů

Ve včelím úlu se standardně vyskytuje pouze jedna matka, jejíž jedinou úlohou je kladení vajíček. Z vajíček se rodí trubci, dělnice a popřípadě nová matka. Trubci jsou včelí samci, kteří se rodí z neoplozených vajíček a jejich jedinou úlohou je oplodnit matku. Dělnice pak zajišťují veškeré činnosti nutné pro přežití včelstva.

### 2.1.1 Stádia života včely

Tato podkapitola vychází z informací publikovaných v [3].

Následující tabulka znázorňuje různá stádia vývoje včel podle jejich funkce.

Tabulka1: Životní cyklus včel			
Den	Matka	Dělnice	Trubec
1.	Oplozené vajíčko	Oplozené vajíčko	Neoplozené vajíčko
4.	Vylíhnutí larvy	Vylíhnutí larvy	Vylíhnutí larvy
6.		Změna potravy	Změna potravy
9.	Zavíčkovaní larvy		
10.		Zavíčkovaní larvy	
11.			Zavíčkovaní larvy
16.	Líhnutí matky		
21.		Líhnutí dělnice	
22.	páření	Včela uklízečka	
24.			Líhnutí trubce
25.		Včela krmička	
28.	Kladení vajíček	Včela kojička	
32.		Včela stavitelka	
33.			páření
39.		Včela strážkyně	
43.		Včela létavka	

Včely dělnice se mohou rodit jako dlouhověké nebo krátkověké. Dlouhověké včely se nedostávají do stádia létavky, v úlu se začnou rodit během července a dožívají se 7-9 měsíců. Krátkověké včely se vlivem létání značně vyčerpávají a umírají po 6-8 týdnech (od nakladení vajíčka).

### 2.1.2 Reprodukce

Matka se na jaře páří s 6-10 trubci a oplodněna zůstává po celý život, který trvá 3-5 let. Po oplodnění klade vajíčka, přičemž nejvíce nakladených vajíček je v květnu (až 2500/den). V [1] jsou uvedeny průměrné hodnoty nakladených vajíček za měsíc březen (11 533), duben (30 447) a květen (60 116).

Dále autor uvádí výpočet, který ovlivňuje počet nakladených vajíček na základě teploty posledních 3 dnů (viz Tabulka 2).

	Teplota všech dní > 15 °C	Teplota všech dní < 15 °C
<b>Poslední 3 dny</b>	+ 20% nakladených vajíček	- 10% nakladených vajíček
<b>Poslední 2 dny</b>	+ 10% nakladených vajíček	- 5% nakladených vajíček

Tabulka 2: výpočet koeficientu nakladených vajíček.

V období své největší síly (v období června) včelstvo obvykle čítá 50-60 tisíc včel [2].

### 2.1.3 Potrava

Včelí matka je krmena celý život pouze mateří kašičkou, včely dělnice jsou touto kašičkou krmeny pouze do stádia larvy. Poté jsou již krmeny směsí pylu a medu. Za rok jedno včelstvo průměrně spotřebuje 100 kg medu a 30 kg pylu. Každá včela spotřebuje 1 mg/hod medu pokud je v klidu, 10 mg/hod pokud létá. Denní spotřeba vody včelstvem je závislá na teplotě a pohybuje se v rozmezí 200 ml – 2l [4].

### 2.1.4 Produkce medu

O sbírání nektaru, pylu a vody se starají včely létavky. Dokáží pokrýt rádius o ploše až 400 km<sup>2</sup>, tj. dolet až 10 km. Nektar a vodu sbírají do medového váčku s kapacitou 40-70 mg. Ten však nikdy není naplněn úplně a do úlu je přinášeno pouze 20-40 mg surovin. Létavka podniká 7-16 letů denně, přičemž jeden let trvá 7-80 minut. Z nasbíraného nektaru vznikne 30-50% medu v závislosti na kvalitě nektaru (množství cukrů apod.) [3][4].

## 2.2 Použité postupy a technologie

Pro vytvoření simulačního modelu je použita knihovna C++ SIMLIB verze 3.0.2. Program je psán v jazyce C++ dle normy C++11 a je přeložitelný programem gcc verze 4.7.4. Pro automatické generování grafů je použit program gnuplot verze 4.6.

## 2.3 Původ použitých technologií

1. Linux - distribuce Ubuntu/Arch - <http://www.ubuntu.com> (GNU GPL)  
<https://www.archlinux.org> (GNU GPL)
2. C++ <https://isocpp.org/std/the-standard>
3. SIMLIB - <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB> (GNU LGPL)
4. Gnuplot - <http://www.gnuplot.info> (Open source)

### 3 Koncepce

Model uvažuje pouze včely medonosné, chované zkušeným včelařem v prostředí České republiky. Hlavním zkoumaným aspektem je množství vyprodukovaného medu, aktuální množství medu a včel v úlu v závislosti na teplotě, úrodě a počátečním stavu včelstva. Mezi další zkoumatelné aspekty patří přežití včel v těchto podmínkách, počet včel, které budou v úlu na konci roku zimovat a zajistí tak přežití včelstva pro další sezónu.

Pro potřeby modelu je možno zanedbat život včelí matky a trubců, jelikož se nijak nepodílí na produkci medu, který je hlavním zkoumaným aspektem. Dále je zanedbáno sbírání a spotřeba pylu, jelikož neovlivňuje množství medu a jeho sbírání je vedlejším produktem sbírání nektaru.

Spotřeba vody je modelována jako spotřeba celého včelstva za jeden den. Toto množství je závislé na teplotě a ovlivňuje, kolikrát musí včely létavky vyrazit pro vodu, než začnou nosit nektar. Jedná se o další zjednodušení, kdy voda a nektar nejsou přinášeny paralelně, ale včely létavky do úlu vždy nanosí potřebné množství vody, než začnou sbírat nektar. Toto zjednodušení nemá žádný vliv na validitu modelu, jde pouze o přednostní zpracování požadavků na sběr vody.

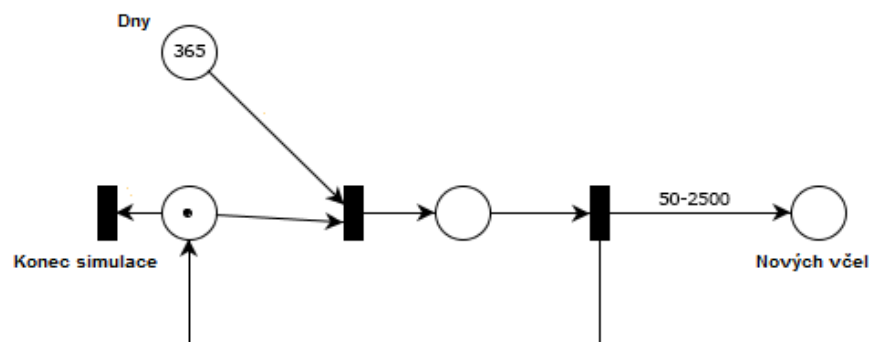
Model předpokládá počasí, které je na území České republiky reálné. V případě nastavení extrémních podmínek počasí se model může chovat nevalidně. Experimentovat s takto nereálnými parametry však není účelem této práce. Za extrémní podmínky lze považovat nepřiměřené průměrné teploty v jednotlivých měsících (například v lednu průměr 30 °C, nebo naopak 0 °C v červenci), abnormální výkyvy teplot mezi dny (například změna o 50 °C z jednoho dne na druhý), či velice nízká minimální nebo naopak velice vysoká maximální teplota v daném roce (např. - 60°C nebo +60°C).

Je předpokládán ideální přístup včelaře, který v případě nedostatku potravy včelám poskytuje dostatek cukerného roztoku nutný pro jejich přežití, vhodně preventuje onemocnění včel a vykonává vhodná opatření pro zabránění vyrojení (odebrání nově narozené matky a vytočení medu ve správnou chvíli). Takovýto přístup je u zkušeného včelaře naprosto běžný.

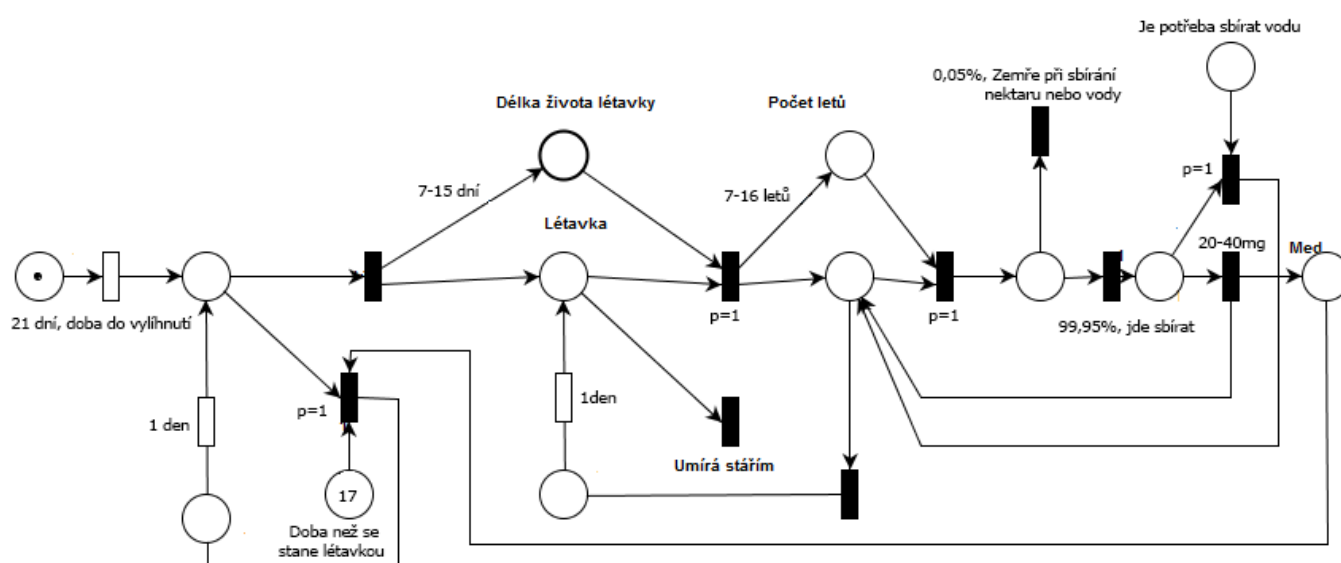
#### 3.1 Konceptuální vyjádření modelu

Na obrázku Obr1 lze vidět událost reprezentující den a způsob vytváření nových instancí včel, což přenesením do reálného systému znamená naklazení vajíček.

Obrázek Obr2 znázorňuje chování včely během jednoho dne pro všechny životní cykly, které mají vliv na sledované veličiny. Pro jednoduchost jsou ostatní vývojová stádia spojena.



Obr1: Znáznornění události nový den Petriho síti.



Obr2: Znáznornění chování procesu včely Petriho síti

## 4 Architektura simulačního modelu

Základním stavebním prvkem simulačního modelu jsou třídy *Day* a *Bee*. Třída *Day* modeluje jeden den, který odpovídá jednotce modelového času [IMS, 21]. Tato třída si uchovává hodnoty teplot posledních 3 dnů, které používá pro úpravu koeficientu kladení vajíček v aktuálním měsíci (viz Tabulka 2). Na základě této hodnoty vytváří odpovídající počet instancí třídy *Bee*.

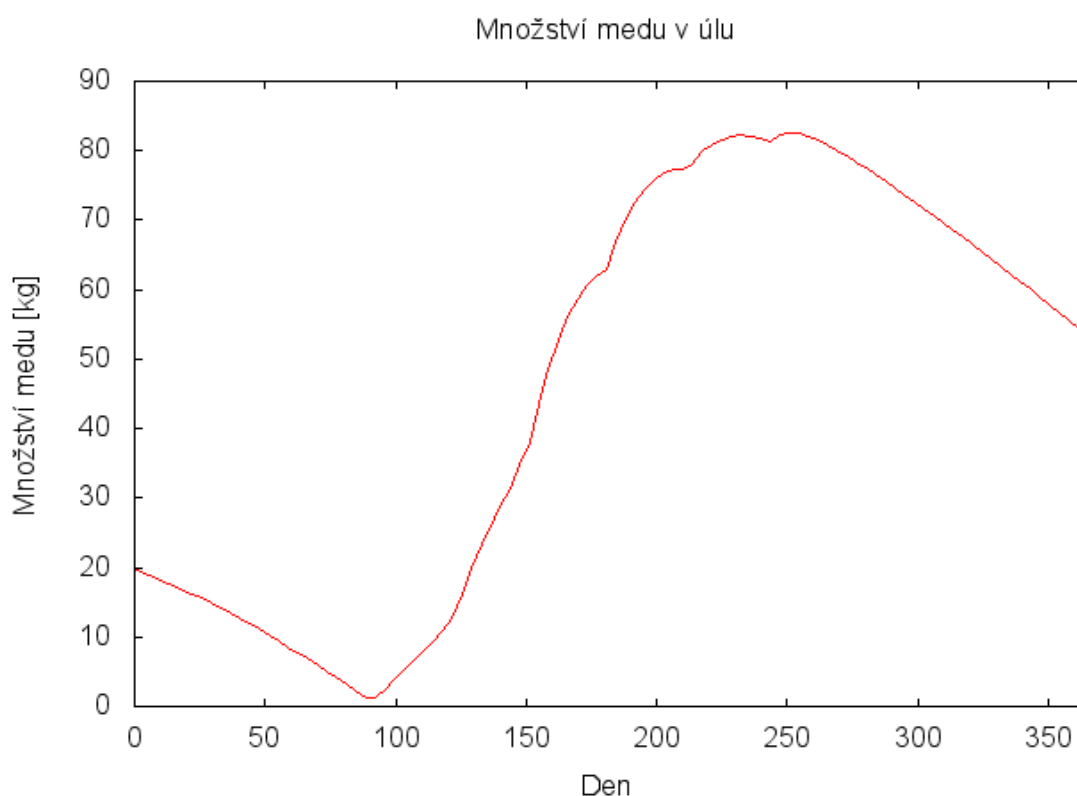
Třída *Bee* modeluje životní cyklus jedné včely. Ta postupně v závislosti na čase mění svůj stav, který odpovídá jednotlivým životním stádiím včely (viz Tabulka 1). Od 21. dne svého života včela spotřebovává medové zásoby, od 39. dne může zemřít při ochraně úlu a od 43. dne se stává létavkou a sbírá vodu a nektar, při čemž může také zemřít (zašlápnutí, bodnutí, chycení do pavučiny).

## 5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Mezi sledované veličiny patří množství medu v úlu, celková produkce medu a množství včel v průběhu roku. Cílem je zjistit, jaký vliv bude mít změna přírodních podmínek a počet zimujících včel na zkoumané veličiny.

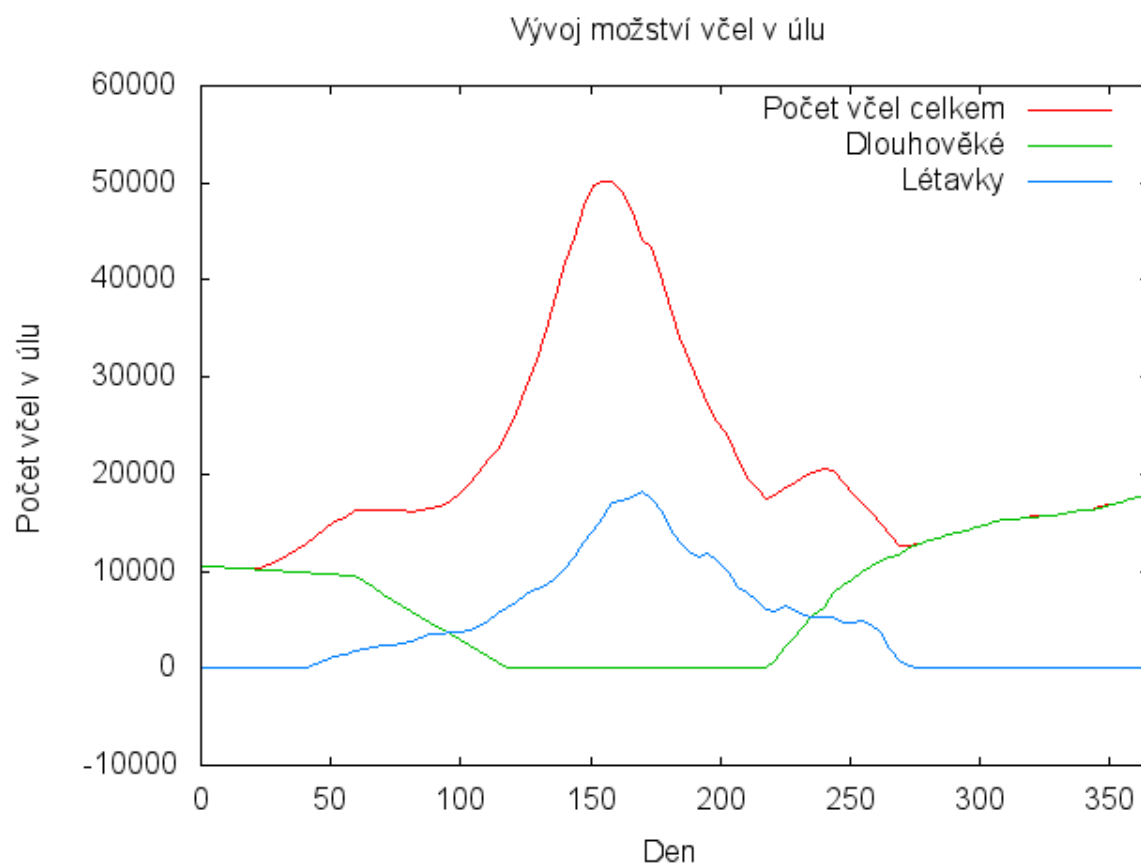
### 5.1 Ideální počet zimujících včel

Experimentování probíhalo úpravou množství včel, které se v úlu nacházejí první den v roce. Pro zjištění ideálního počtu včel byla využita metoda půlení intervalů (zaokrouhlováno na 100 včel). Jako počáteční množství medu bylo zvoleno 20 kg. Toto množství se ukázalo jako ideální, jelikož nebyl nutný zásah včelaře. Jako teplotní podmínky a úroda byly zvoleny hodnoty z roku 2013 v oblasti Královéhradeckého kraje.



Obr3: Množství medu v úlu při ideálním počtu zimujících včel.

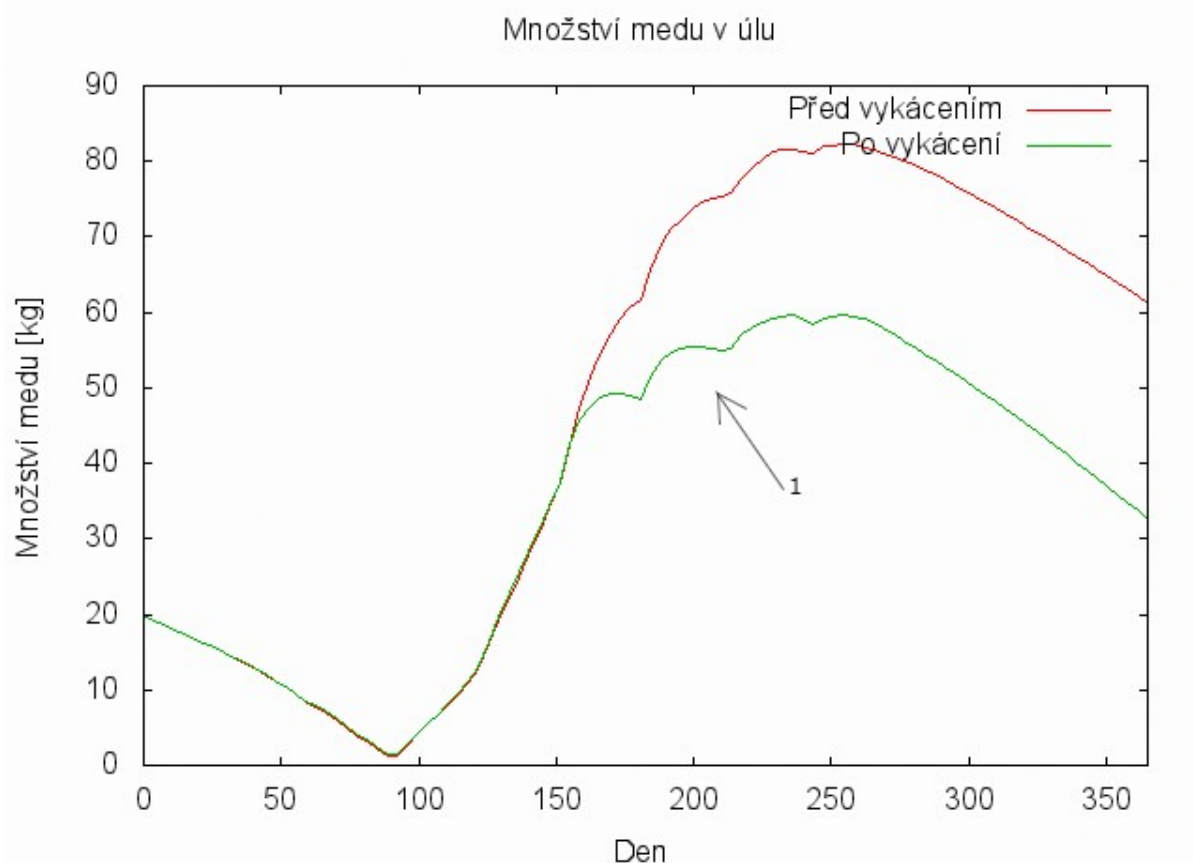




Obr4: Vývoj počtu včel

## 5.2 Vykácení

Tento experiment simuluje situaci, ve které došlo k vykácení velmi plodného lesa s výhradním zastoupením lípy malolisté (kvetoucí v období června až července), který se nachází v těsné blízkosti modelovaného úlu a je hlavním zdrojem nektaru v tomto období.



Obr5: Vliv vykácení lesa (s výhradním výskytem lípy) na produkci medu

1-poukazuje na jev, kdy včely vysbírají blízkou potravu a musí létat dále, tudíž let provedou méněkrát za den a tím pádem nashromáždí méně nektaru.

## 5.3 Závěry experimentů

V průběhu experimentování byla odhalena chyba ve výpočtu množství vody (způsobená chybným převodem jednotek), kterou včelstvo potřebuje na jeden den. Tato chyba ovlivňovala množství nasbíraného medu na téměř dvojnásobek.

Na základě experimentování se silou včelstva na začátku roku se jako ideální počet zimujících včel jeví číslo 10 500. Pro vyšší i nižší počet včel byla produkce medu menší.

Při provádění experimentů s vykácením lesa nacházejícího se v těsné blízkosti včelstva, byl zjištěn hypotetický pokles produkce medu o 27,72 kg.

## 6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Z výsledků experimentů vyplývá, že ideálním počtem včel vyskytujících se v úlu k datu 1.1. je 10 500. Pro tento počáteční počet včel je možné dosáhnout nejvyššího množství vyprodukovaného medu. Dále bylo zjištěno, že produkci medu výrazným způsobem ovlivňují nejbližší zdroje nektaru. V případě vykácení lipového lesa dojde k poklesu získaného medu o více než polovinu.

Validita modelu byla ověřována opakovaným experimentováním a konzultováním získaných hodnot se zkušeným včelařem. Nicméně výsledný model nelze s jistotou prohlásit za plně validní z důvodu komplexnosti reálného systému.

V rámci projektu vznikl nástroj umožňující provádět experimenty demonstrující externí vlivy na produkci medu a životaschopnost včelstva. Tento nástroj je implementován v jazyce C++ s použitím knihovny SIMLIB.

## 7 Použitá literatura

- [1] Odborné včelařské překlady. Praha 1, Křemencova 8: Český svaz včelařů, 2006, roč. 2006, č. 1. ISSN 0322-8851.
- [2] Odborné včelařské překlady. Praha 1, Křemencova 8: Český svaz včelařů, 2007, roč. 2007, č. 1. ISSN 0322-8851.
- [3] VESELÝ, Vladimír. Včelařství. Vyd. 2., upr. a dopl. Praha: Brázda, 2003, 270 s. ISBN 80-209-0320-8.
- [4] TAUTZ, Jürgen. Fenomenální včely: biologie včelstva jako superorganizmu. Vyd. v češtině 2. Překlad Olga Matyásková. Praha: Ve spolupráci s Českým svazem včelařů vydalo nakl. Brázda, 2010, 286 s. ISBN 978-80-209-0379-2.