

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra systémového inženýrství**



**Bakalářská práce**

**Simulační model trofické aktivity včel**

**Hana Kratochvilová**

© 2021 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hana Kratochvilová

Systémové inženýrství a informatika  
Systémové inženýrství

Název práce

**Simulační model trofické aktivity včel**

Název anglicky

**Simulation Model of the Trophic Activity of Bees**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je návrh modelu popisujícího trofickou aktivitu včel, v podobě konceptuálního modelu a modelu dynamického, a to v souvislosti s úživností krajiny pro včely a běžně praxe včelařů.

### Metodika

Po studiu vybrané literatury bude navržen a zpracován nejdříve konceptuální model a poté model dynamický zachycující trofické aktivity včel. Model by měl např. zachycovat dynamiku mezi přírůstkem váhy úlu, vnitřní vlhkostí, vnitřní a vnější teplotou v úlu, případně dále mezi letovou aktivitou včel, charakterem počasí a úživností krajiny. Tvorba modelu bude probíhat v diskuzi se včelaři a dalšími odborníky. Případně budou užita reálná data z úlových vah z portálu Včelstva Online. Výsledky práce budou prezentovány případně veřejně v rámci projektu IGA PEF. Rešeršní část práce vznikne na základě témat části praktické.

Harmonogram:

leden až březen 2020: studium vybrané literatury související s tématem práce

březen až červen 2020: konzultace se včelaři a tvorba konceptuálního modelu

duben až září 2020: tvorba a verifikace modelu dynamického

září až listopad 2020: diskuze výsledků a výstupů v rámci projektu IGA

srpen až prosinec 2020: sepsání a finalizace praktické a rešeršní části práce

## Doporučený rozsah práce

30 – 50 stran

## Klíčová slova

Model systémové dynamiky; Trofické aktivity včel; Chov včel; Úlová váha; Konceptuální model; Úživnost krajiny;

---

## Doporučené zdroje informací

- ČERMÁK, Květoslav a Karel SLÁDEK, 2016. Ekologie chovu včel. Červený Kostelec: Pavel Mervart. ISBN 978-80-7465-215-8.
- HOLČÍK, J. a M. KOMENDA, 2015. Matematická biologie: e-learningová učebnice [online]. Brno: Masarykova univerzita [cit. 2020-02-05]. ISBN 978-80-210-8095-9. Dostupné z: <http://portal.matematickabiologie.cz/>
- HOLČÍK, Jiří, 2012. Analýza a klasifikace dat. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-7204-793-2.
- HŘEBÍČEK, Jiří a Michal ŠKRDLA, 2006. Úvod do matematického modelování [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/podzim2007/Bi3101/um/skripta.pdf>
- KAMLER, František, 2016. Správná praxe v chovu včel. 2., doplněné vydání. Dol: Výzkumný ústav včelařský. ISBN 978-80-87196-21-2.
- MEADOWS, D H. – WRIGHT, D. *Thinking in systems : a primer*. White River Junction, Vt.: Chelsea Green Pub., 2008. ISBN 978-1-60358-055-7.
- ŠMÍDKOVÁ, Jitka, 2019. Využití ICT nástrojů pro chov včel a prodej medu v regionu. Praha. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita.
- VESELÝ, Vladimír, 2003. Včelařství. Praha: Brázda. ISBN 80-209-0320-8.
- 

## Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – PEF

## Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Bartoška, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

## Konzultant

Ing. Dalibor Titěra

Elektronicky schváleno dne 29. 10. 2020

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 11. 2020

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 14. 03. 2021

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Simulační model trofické aktivity včel" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. 3. 2021

---

### **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu své bakalářské práce, panu doc. Ing. Janu Bartoškovi, Ph.D za rady a čas, který mi věnoval a za možnost být součástí tak perspektivního projektu, kterým Včelstva online jsou. Dále bych ráda poděkovala svému konzultantovi panu Ing. Daliboru Titěrovi, CSc. za cenné informace z oboru včelařství. Dále bych ráda poděkovala panu Ing. Janu Rydvalovi, Ph.D. za veškerou pomoc a rady při tvorbě modelu.

# Simulační model trofické aktivity včel

## Abstrakt

Včely jsou zásadní součástí naší krajiny a celý ekosystém by bez jejich přispění nemohl fungovat tak, jak jej známe. Kvůli jejich důležitosti se tato bakalářská práce zabývá úživností krajiny pro včely, přesněji trofickou aktivitou včel, za použití metod systémové dynamiky. V teoretické části je v první řadě pozornost věnována včelám a způsobům, jak měřit a zaznamenávat jejich aktivitu, včetně okolních vlivů, které působí na jejich denní rytmy. Dále pak jsou rozebrány základní principy systémové dynamiky a způsob jakým se sestavují modely. Praktická část práce se zabývá tvorbou diagramu stavů a toků na základě dříve vytvořeného konceptuálního modelu. Při tvorbě byly nejdříve revidovány prvky původního modelu a doplněny o podrobnější vzájemné souvislosti. Následně bylo přistoupeno k zohlednění vlivu cirkadiálních a cirkadiálních rytmů na život včel v modelu. Souběžně s těmito rytmy byly do modelu přidány vlivy přirozených cyklů v přírodě, jakými jsou změny teplot, délka slunečního svitu apod., protože s nimi úzce souvisí. Diagram stavů a toků popisující trofickou aktivitu včel byl vytvořen v softwaru Vensim, výstup byl zkontrolován dimenzionální analýzou a byla ověřena robustnost modelu.

**Klíčová slova:** model systémové dynamiky; trofické aktivity včel; chov včel; úlová váha; konceptuální model; úživnost krajiny; Včelstva online; cirkadiální rytmy; cirkadiální rytmy; Vensim

# Simulation Model of the Trophic Activity of Bees

## Abstract

Bees are an essential part of our landscape and without them the entire ecosystem could not function the way we know it. Due to their importance this bachelor thesis concentrates on the landscape fertility for bees, more precisely the trophic activity of bees, using the methods of system dynamics. In theoretical part attention is paid to bees and ways to measure and record their activity including outside influences that affect their daily rhythms. Furthermore, the basic principles in system dynamics are analysed and also the way models are built. The Practical part deals with the creation of a stock and flow diagram based on a previously created conceptual model. At first the elements of the original model were reviewed and supplemented with more detailed interrelationships. Subsequently, the influence of circannual and circadian rhythms on a life of bees was considered. Simultaneously with those rhythms the effects of cycles in nature, such as changes in temperature, length of sunlight etc. were added to the model, because they are closely related to them. The Stock and flow diagram describing trophic activity of bees was created in the Vensim software and the output was checked by dimensional analysis and robustness of the model was verified.

**Keywords:** system dynamics model; trophic activity of bees; beekeeping; hive scale; conceptual model; landscape fertility; Včelstva online; circadian rhythms; circannual rhythms; Vensim

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>12</b>
2.1 Cíl práce .....	12
2.2 Metodika .....	12
<b>3 Teoretická východiska .....</b>	<b>13</b>
3.1 Chov včel .....	13
3.2 Úživnost krajiny .....	13
3.3 Úlová váha .....	13
3.3.1 Vnitřní teplota .....	14
3.3.2 Hmotnost úlu.....	15
3.3.3 Senzor pohybu s GPS sledovačem.....	15
3.3.4 Vizualní monitoring úlu přes internetové připojení.....	16
3.3.5 Úlový deník.....	16
3.3.6 Hardware úlové váhy .....	16
3.3.7 Pořízení úlové váhy .....	16
3.3.8 Zobrazování dat z úlové váhy .....	17
3.3.9 Příklady zařízení .....	17
3.3.10 Ideální podmínky ve včelím úlu .....	19
3.3.11 Hodnocení změny dat z úlové váhy .....	20
3.4 Systém.....	20
3.4.1 Systémová dynamika .....	21
3.4.2 Příčně smyčkový diagram.....	21
3.4.3 Diagram stavů a toků .....	22
3.4.4 Zpětné vazby .....	24
3.5 Použité nástroje .....	24
3.5.1 Vensim .....	24
<b>4 Praktická část .....</b>	<b>27</b>
4.1 Včelstva online.....	27
4.1.1 Včelař.....	28
4.1.2 Pozorování včelstva – úlový deník .....	29
4.1.3 Zemědělec .....	31
4.1.4 Včelařský spolek.....	32
4.2 Konceptuální model .....	32



4.3	Tvorba diagramu stavů a toků.....	34
4.3.1	Dynamický model.....	34
4.3.2	Vstupní hodnoty.....	35
4.3.3	Včelstvo .....	37
4.3.4	Létání do krajiny .....	37
4.3.5	Zásoba medu .....	39
4.3.6	Aktivita včel v úlu.....	41
4.3.7	Aktivita včel v krajině.....	42
4.3.8	Vytvořený SFD .....	43
4.4	Ověření správnosti modelu .....	44
4.5	Robustnost modelu.....	44
<b>5</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>50</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1	Úlová váha BeeSpy.....	18
Obrázek 2	Úlová váha Bee in Contact .....	19
Obrázek 3	Úlová váha ProBee V .....	19
Obrázek 4	Schématické značení v diagramu stavů a toků .....	23
Obrázek 5	Software Vensim.....	25
Obrázek 6	Software Vensim, matematické vyjádření proměnných.....	25
Obrázek 7	Portál Včelstva online.....	28
Obrázek 8	Moje stanoviště se včelami.....	29
Obrázek 9	Úlový deník.....	30
Obrázek 10	Kontroly včelstva a úlu .....	30
Obrázek 11	Zobrazení dat z úlové váhy .....	31
Obrázek 12	Včelařský spolek .....	32
Obrázek 13	Příčně smyčkový diagram.....	33
Obrázek 14	SFD část I.....	35
Obrázek 15	Vnější teplota v zimním období.....	36
Obrázek 16	Vnější teplota v letním období.....	37
Obrázek 17	SFD část II .....	38
Obrázek 18	Počet včel v úlu v zimním období.....	39
Obrázek 19	Počet včel v úlu v letním období.....	39
Obrázek 20	SFD část III .....	40
Obrázek 21	Váha úlu v zimním období.....	41
Obrázek 22	Váha úlu v letním období.....	41
Obrázek 23	SFD část IV .....	42
Obrázek 24	SFD část V .....	43
Obrázek 25	Fyzická aktivita včel .....	43
Obrázek 26	Fyzická aktivita při časovém kroku 0.5 h .....	44
Obrázek 27	Fyzická aktivita při časovém kroku 0.125 h .....	44

## Seznam tabulek

Tabulka 1	Data úlové váhy .....	35
-----------	-----------------------	----

# 1 Úvod

Problém úživnosti krajiny se stále častěji stává předmětem odborných diskuzí, a to nejenom na tuzemské, ale i mezinárodní úrovni. Jedná se totiž o velmi důležité téma spojující oblasti moderní biologie a zemědělství, které úzce souvisí s biodiverzitou. Životní cyklus včel má existenční vliv na rostliny, stejně tak jako rostliny mají přímý efekt na život včel. Bez včel by biodiverzita zdaleka nedosahovala takového rozsahu, jaký má nyní. Přičemž platí, že z vyšší biodiverzity vyplývá vyšší úživnost krajiny pro včely. A zároveň platí, že jsou včely naprosto nezbytnou částí celého systému v zemědělství (Bartoška 2020, s. 2). V důsledku těchto faktů se jeví jako naprosto zásadní mít možnost co nejpřesněji modelovat celý proces úživnosti a vlivy jednotlivých zásahů do toto procesu.

Ke zkoumání a simulaci problematiky úživnosti krajiny pro včely byla použita metoda systémové dynamiky. Zvolený způsob je vhodný pro modelování chování komplexních systémů, umožňuje nastavit podmínky podle potřeb a zkoumání tendencí vývoje systému.

Systémová dynamika je určena pro zkoumání struktury systémů a jejich budoucích problémů a je možné ji použít pro simulování chování biologických systémů. Tyto simulace jsou často využívány v biologickém výzkumu pro jejich cenný přínos v podobě lepšího pochopení jinak obtížně pozorovatelných systémů, např. vnitřní prostor úlu, molekul, nebo krystalografie. V důsledku těchto přínosů vzrůstá obliba biologických simulací a celý obor se velmi rychle rozvíjí. (Dror, 2012, s. 429)

Postupem času přibývá řada technologií, které mají za cíl zlepšení života včel a usnadnění péče o ně. Mezi cenově a uživatelsky dostupné lze řadit např. úlovou váhu. Tato váha včelařům zprostředkovává informace o stavu včelstva v reálném čase a bez nutnosti osobní návštěvy, čímž umožňuje preciznější a efektivnější chov včel.

Tato bakalářská práce navazuje na publikovanou práci Bartoška a kol.: System Dynamic Conceptual Model for Landscape Fertility of Bees (Bartoška, 2020). Součástí publikované práce je příčně smyčkový diagram popisující základní koncept mechanismů úživnosti krajiny a jejich souvislostí. Publikovaný koncept je v této bakalářské práci rozšířen do diagramu stavů a toků doplněním proměnných a matematických funkcí závislostí jednotlivých částí diagramu. Toto rozšíření umožňuje lepší pochopení zavislostí mezi jednotlivými proměnnými a poskytuje možnost simulace s použitím reálných dat.

## 2 Cíl práce a metodika

### 2.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je návrh modelu popisujícího trofickou aktivitu včel v podobě konceptuálního modelu a modelu dynamického, a to v souvislosti s úživností krajiny pro včely a běžně praxe včelařů. Simulační model bude vycházet z příčné smyčkového diagramu publikovaného v práci Bartoška a kol.: System Dynamic Conceptual Model for Landscape Fertility of Bees (Bartoška, 2020). Tento rozšířený model bude vytvořen z diagramu stavů a toků v programu Vensim ve kterém bude také provedena simulace a výsledky v bakalářské práci analyzovány. Popis diagramu bude proveden v textové i grafické podobě .

### 2.2 Metodika

Po studiu vybrané literatury bude navržen a zpracován nejdříve konceptuální model a poté model dynamický zachycující trofické aktivity včel. Model by měl např. zachycovat dynamiku mezi přírůstkem váhy úlu, vnitřní vlhkostí, vnitřní a vnější teplotou v úlu, případně dále mezi letovou aktivitou včel, charakterem počasí a úživností krajiny. Tvorba modelu bude probíhat po diskuzi se včelaři a dalšími odborníky na problematiku. Případně budou užita reálná data z úlových vah z portálu Včelstva Online. Výsledky práce budou prezentovány případně veřejně v rámci projektu IGA PEF. Rešeršní část práce vznikne na základě témat části praktické.

Diagram stavů a toků bude vytvořen v programu Vensim a bude sloužit pro matematické vyjádření modelu v tomto programu.

Při vytváření bakalářské práce bylo postupováno dle následujícího harmonogramu:

- leden až březen 2020: studium vybrané literatury související s tématem práce
- březen až červen 2020: konzultace se včelaři a tvorba konceptuálního modelu
- duben až září 2020: tvorba a verifikace modelu dynamického
- září až listopad 2020: diskuze výsledků a výstupů v rámci projektu IGA
- srpen až prosinec 2020: sepsání a finalizace praktické a rešeršní části práce

## **3 Teoretická východiska**

### **3.1 Chov včel**

Včelařství má velmi dlouhou tradici. Nejdříve měli lidé zájem o včelí med a vosk, později začali využívat i mateří kašičku a pyl, kvůli jejich příznivým účinkům. Kvůli svým antibakteriálním vlastnostem začal být využíván také propolis (Veselý a kol., 2013, s. 3). Včely sbírají pyl a nektar. Pyl je pro ně zdrojem látek potřebných pro výživu, zatímco nektar sbírají primárně pro výrobu medu. Včela létavka nosí nektar do úlu a včely mladušky z něj vyrábí med. Pro výrobu 1 kg medu je přibližně zapotřebí 3 kg nektaru (Veselý a kol., 2013, s. 181). Přirozená potrava je pro včely nejvhodnější. Příkrmování cukerným roztokem je náhražka přirozeného zdroje v případě, že včelám chybí. Pro překonání horších podmínek, jakými jsou pro včely zimní období a chladné počasí, si včely vytvářejí zásoby. Shromažďují energickou potravu – med a stavební látky – pyl. Ty ukládají dobře zakonzervované a konzumují je odděleně (Veselý, 2013, s. 181).

### **3.2 Úživnost krajiny**

Nejen kvalita chovu, ale i okolí má vliv na zdravé a prospívající včely. Pro přežití nepříznivých podmínek je pro včely důležité mít nashromážděno dostatečné množství zásob. Zdrojem pro jejich vytváření je krajina v okolí včelího úlu, kam včely létají sbírat nektar a pyl. Dostupnost nektaru a pylu jsou kritické pro zdraví včel. Nedostatečné množství kvalitního pylu a nektaru mohou vést k poklesu populace kolonie, který zároveň vede ke snižování počtu včel sbírajících pyl a nektar. Studie ukazují důležitý vliv množství a široké diverzity rostlin na zdraví včel. Role těchto výživových látek je natolik kritická, že včelaři musí nedostatek doplňovat ve formě cukrového roztoku, nebo náhražek pylu, aby se předešlo hladovění, nedostatku potřebných živin a následnému zániku kolonie. Přesto ale náhražky cukru a pylu neposkytují stejné výživové vlastnosti jako přírodní pyl a nektar. (Decourtye, 2010, s. 265)

### **3.3 Úlová váha**

I přes dlouhou včelařskou tradici je možné v tomto oboru pozorovat nástup moderních technologií rozvíjejících klasický chov včel. Zásadní roli začínají zastávat

monitorovací systémy, které mohou být snadno implementovány do chovů všech kategorií a různých odborností včelařů, s cílem usnadnit jim péči u včelstvo. Začátečníci potřebují vědět, co se v úlu děje a rozpoznat neobvyklé stavy. Zkušení včelaři pak ocení, že nemusí pod stresem řešit závažné problémy. Profesionální včelaři chtějí přesně znát stav svých včelstev s minimálními požadavky na osobní kontrolu, aby tak mohly šetřit čas a náklady. Všechny tyto skupiny pak spojuje, že když nastane potřeba zakročit, ocení možnost dopředu zkontrolovat stav včelstva a tím reagovat rychleji a pružněji. Obecně většina včelařů nemá čas navštěvovat své včely často a ocení tak možnost vzdálené inspekce, aby mohli jistotu, že je vše v úlu v pořádku a mají jistotu zároveň obdržení zprávy s upozorněním na vznikající problém. Všechny tyto požadavky mohou být splněny při použití úlové váhy (ProBee, 2017).

### 3.3.1 Vnitřní teplota

Již dříve bylo prokázáno, že teplota uvnitř včelího úlu vypovídá o stavu a procesech včel (Veselý, 2013, s. 96). Mezi případy, kdy může být stav včelstva sledován jednoduchým senzorem teploty patří:

- 1) Napadení včel roztočem *Varroa destructor* se léčí fumigací (antiparazitiky v plynném skupenství) za přesně stanovených podmínek, tj. když včely nejsou shromážděny v zimním shluku a když mají jen minimum mládřat, kde by se roztoč mohl schovat. Nechceme opakovaně otevírat úl, abychom zkontrolovali situaci, protože každé otevření narušuje běžný chod celého úlu. Proto je snazší a výhodnější využít skutečnosti, že včely si potřebují uchovat teplotu úlu mezi 32-35 °C pro správný vývoj mládřat, zatímco pro přežití zimy bez mládřat potřebují jen okolo 20 °C. Lze tedy na základě poklesu teploty vytipovat správnou situaci a minimalizovat počet otevření úlu. (Veselý, 2013, s. 220).
- 2) Zřejmě nejdůležitějším parametrem pro zdravé včelstvo je přítomnost zdravé kladoucí královny. Protože když královna neklade, tak chybí mládřata a je nutný zásah včelaře. Tento stav je velmi snadno detekován regulací měření teplot, protože jak již bylo zmíněno výše, v případě přítomnosti mládřat udržují včely teplotu mezi 32-35 °C (Veselý, 2013, s. 54).
- 3) Může se také stát, že celé včelstvo uhynie. Když tuto situaci včelaři nezjistí včas, může se stát, že med najdou jiné včely, nebo škůdci jako myši a mravenci, kteří způsobí ještě

víc škody. V případě, že vnitřní teplota v úlu začne být shodná s venkovní, je téměř jisté, že včelstvo vymřelo (ProBee, 2017).

### **3.3.2 Hmotnost úlu**

Vývoj hmotnosti úlu přesně kopíruje vývoj zásob medu, jehož nárůst tak může být velmi detailně sledován. Mnoho včelařů má za to, že sledovat váhu je užitečné jen v období snůšky a následně váha pod úlem zbytečně leží po zbytek roku. To ale není vůbec pravda. Zkušený včelař však nesleduje váhu včelího úlu jen v čase snůšky, tedy v květnu a červnu, kdy tato informace pomáhá rozhodnout, jestli je potřeba další rámečky pro plástve, nebo je čas na stáčení medu (ProBee, 2017). V červenci informace o váze informují o stavu zásob medu, což pomáhá rozhodnout o nejlepším čase, kdy včely přikrmit, aby měly dostatek energetických zdrojů na zimu. Nebo v případě, že se objeví melecitóza (tzv. cementový med), váha ukáže neočekávaný přírůstek hmotnosti a včelař může rychle reagovat, protože takovýto med není dostupný včelám (Veselý, 2013, s. 233).

Když včelař ví, jak velké má včelstvo zásoby na zimu, může sledovat úbytek váhy i v zimních měsících. U včelstev je obvyklé, že zkonsumují polovinu svých zásob již během září a října, když je vše již odkvetlé. Tento trend velmi dobře pozorovatelný na datech z úlové váhy, protože med tvoří nezanedbatelnou část váhy úlu. Včelstvo musí přežít celou zimu s tou polovinou zásob, která zůstala. Během dlouhé a teplé zimy je pak konzumace abnormálně vysoká, což je možné rozpoznat během monitorování váhy včelstva. Díky tomu je možné předcházet nedostatku zásob přikrmováním a zabránit tak vyhynutí včelstva (ProBee, 2017).

### **3.3.3 Senzor pohybu s GPS sledovačem**

Stejně jako v mnoha jiných oblastech, kriminalita je velmi častá i mezi včelaři. Případy krádeže úlu jsou časté a včelaři čelí problému, jak ochránit včelstva před zloději. V poslední době je krádežím předcházeno zabudováváním GPS sledovače do úlů. Pro zvýšení přesnosti zabezpečení mohou být data z tohoto sledovače korelována s daty z úlové váhy. Pokud vidíme, že GPS pozice odesílaná sledovačem neodpovídá správné pozici úlu a zároveň vidíme nulovou váhu úlu, je možné s vysokou pravděpodobností vyloučit selhání sledovací techniky a předpokládat odcizení úlu (ProBee, 2017).

### **3.3.4 Vizuální monitoring úlu přes internetové připojení**

Mezi rutinní kontroly při příchodu k úlu, které většina včelařů provádí, je kontrola vnějšího pláště úlu a chování včel. Kontrola je standardně prováděna ještě před otevřením úlu, aby chování včel nebylo tak zásadně ovlivněno cizí přítomností. Tyto úkony mohou být efektivně nahrazeny jednoduchou kamerou sledující vstup nebo okolí úlu. Sledování tímto způsobem poskytuje včelaři stejně kvalitní informace i bez nutnosti osobní přítomnosti (ProBee, 2017).

### **3.3.5 Úlový deník**

Většina včelařů si zaznamenává své aktivity provedené pro včelstvo. Způsob zaznamenávání je různý, od psaní křídou na vnější plášť úlu až po deníky. Dnešní technologie ale přináší daleko více možností. Internetové aplikace představují poslední trend tvorby záznamů, protože umožňují přístup k datům odkudkoliv. Data navíc nejsou ohrožena, když se konkrétní zařízení rozbije, ani se není potřeba starat o zálohy. Jedinou možnou překážkou může být internetové připojení. V takovém případě je možné zapsat si vše na papír, nebo do vytisknutého formuláře a následně přepsat do systému (ProBee, 2017).

### **3.3.6 Hardware úlové váhy**

Úlové váhy jsou založeny na principu běžné váhy pro měření hmotnosti tenzometrem, ale jsou od počátku vývoje stavěny s ohledem na venkovními podmínky, kterým budou po celý rok vystaveny. Proto je cílem vyrábět úlové váhy, které jsou voděodolné a energicky soběstačné, tj. jejich součástí je nabíjecí panel nebo dobíjecí baterie. Funkcí úlových vah nemusí být pouze kontrola hmotnosti, proto bývají některé váhy doplněny o čidla pro měření teploty nebo relativní velikosti. Přenos dat z váhy probíhá přes mobilní operátory v IoT síti (ProBee, 2017).

### **3.3.7 Pořízení úlové váhy**

Včelař, který si pořizuje úlovou váhu, takto obvykle jedná za účelem zvýšení efektivity chovu včel, kvůli prevenci nenadálých situací nebo každodenního sledování stavu včelstva. Na trhu je dostupná celá řada vah, které se liší funkcemi a cenami. Záleží proto pouze na preferencích a potřebách včelaře. Každá úlová váha v základu měří



hmotnost. Mezi běžně dostupná rozšíření patří měření vlhkosti a teploty. Nicméně váha v některých případech může být například doplněna o GPS lokalizátor. V takovém případě může váha sloužit nejenom pro kontrolu stavu včelstva, ale i jako opatření proti krádeži, které je pro včelaře obávaným rizikem (ProBee, 2017).

### 3.3.8 Zobrazování dat z úlové váhy

Pro zobrazení dat naměřených úlovou váhou lze použít řadu různých softwarů. Je pouze na včelaři, který vyhovuje jeho potřebám nebo jazykovým schopnostem, protože ne každý z těchto softwarů je distribuován i v českém překladu. Bohužel softwary pro váhy pocházející od českých výrobců zatím nedosahují kvalit těch mezinárodních. Jsou sice schopny splnit účel a zobrazit data z úlové váhy, ale už nezvládají vypracovat předpověď dění v úlu, nebo zaslat upozornění v případě naměření výrazně nestandardních hodnot. Softwary k zobrazování dat mohou mít podobu webové stránky nebo aplikace pro počítač či mobilní telefon. V majoritě případů jsou nabízeny zdarma, ale pouze v případě, že včelař poskytuje svá data anonymizovaná pro výzkumné účely. V případě nesouhlasu s použitím dat dochází ke zpoplatnění (ProBee, 2017).

### 3.3.9 Příklady zařízení

Na internetu lze zakoupit celou řadu vah, nicméně u spousty z nich jsou informace překvapivě velmi strohé a neúplné, což může znesnadňovat nákup takového zařízení. Tím spíše, že se nejedná o levná zařízení, která by si včelař koupil tzv. na zkoušku.

#### *BeeSpy Sigfox*

Systém úlové váhy BeeSpy (obrázek 1) je navržen pro konstantní sledování stavu včelstva, a proto je konstruován s ohledem na celoroční použití. Dle výrobce bylo hlavním záměrem vytvořit systém, díky kterému bude včelař mít včelstvo neustále pod dohledem, a proto je v případě této váhy kladen velký důraz na bezdrátové komunikační technologie. Stav včelstva je tedy umožněno sledovat z osobního počítače, tabletu, nebo mobilního telefonu. Nejdůležitější z měřených veličin je hmotnost úlu poskytující důležité informace o množství zásob v zimním období, resp. o medové snůšce v letním období. Nicméně výrobce neuvádí maximální měřitelnou hmotnost, ani přesnost váhy. Kromě hmotnosti je zaznamenávána i vnitřní a vnější teplota, relativní vlhkost vzduchu v úlu, ale také aktivitu včel na základě počítání průchody přes vstup do úlu (česno) (ProBee, 2017).

Obrázek 1 Úlová váha BeeSpy



Zdroj: ProBee, 2017

### *Bee In Contact*

Vzdálenou kontrolu včelího úlu nabízí také váha Bee In Contact (obrázek 2). Maximální hmotnost měřitelná touto váhou je 200 kg, a proto lze kontrolovat kolik medu včely vyrobily. Přidružené senzory váhy jsou schopny měřit vnitřní teplotu s přesností 0,1 °C, proto je možné váhu využívat pro sledování nenadálých změn teploty v úlu, jak v letním, tak v zimním období. Dále je měřena venkovní teplota a vlhkost, protože tyto parametry mají vliv na velikost snůšky. Důležitou výhodou tohoto zařízení je možnost osobního nastavení posílání upozornění e-mailem nebo SMS zprávou. Uživatel si sám může určit při jak velké změně váhy, teploty, počasí nebo pohybu včelstva dojde k odeslání upozornění (Bee In Contact RC1).

### *ProBee*

Systém úlové váhy ProBee (obrázek 3) obsahuje mimo základních komponent jako je tenzometr pro měření hmotnosti i celou řadu rozšiřujících modulů. Předně se jedná o GPS sledovač, který je umístěn uvnitř úlu. Základní funkcí sledovače je dohledání úlu při jeho zcizení, protože v případě změny aktuální pozice úlu dochází k odeslání upozornění majiteli. Sledovač funguje i po zcizení úlu, posílá aktuální pozici úlu a zobrazí jej na mapě. A je tak možné lokalizovat zloděje i s úlem. Mezi další dostupná rozšíření úlové váhy ProBee patří jednoduchá kamera sloužící ke kontrole okolí vstupu do úlu.

Mimo hardwarových rozšíření mají majitelé těchto vah k dispozici i elektronický úlový deník, kam mohou nahrávat fotografie o stanovišti, úlu a inspekci (ProBee, 2017).

Obrázek 2 Úlová váha Bee in Contact



Zdroj: Bee In Contact RC1

Obrázek 3 Úlová váha ProBee V



Zdroj: ProBee

### 3.3.10 Ideální podmínky ve včelím úlu

Pokud má živý organismus prospívat, je zapotřebí udržení určitých životních podmínek. Stejně tak tomu je i v případě včel, pro které ideální podmínky jsou: vnitřní teplota úlu 22-34.5 °C, relativní vlhkost v úlu 40-100 %, celková hmotnost zásob v úlu 15-120 kg. Přičemž je mezi včelaři známo, že ke snížení teploty k dolní hranici dochází pouze v případě, že včely neplodují. Zatímco horní hranice teploty je v úlu při plodování (Veselý, 2013, s. 54, 117). Dále bylo stanoveno, že pro průměrné včelstvo je zapotřebí mít před zimou alespoň 15 kg zásob medu, pokud mají přežít (Kamler, 2016, s. 10).

### 3.3.11 Hodnocení změny dat z úlové váhy

Na základě dat ze senzorů lze určit, co se v úlu děje a rozhodnout o dalším postupu.

Příklady scénářů:

- Klesne-li vnější teplota a zároveň klesne hmotnost. Došlo k ochlazení na stanovišti, včely se zahřívají pohybem a spotřebovávají zásoby medu. Možná bude potřeba dokrmit včelstvo podle stavu zásob.
- Roste hmotnost, blíží se vhodný okamžik pro stočení medu. Je potřeba nadále sledovat denní přírůstek a určit vhodný okamžik ke stočení medu.
- V případě, že roste teplota na stanovišti a zároveň klesá vlhkost uvnitř úlu, znamená to, že se včely mohou přehřát, jelikož jim chybí voda. Včelám je potřeba zajistit zdroj vody v blízkosti úlu.
- Při poklesu teploty na stanovišti a zároveň poklesu vnitřní teploty a relativní vlhkosti, došlo k ochlazení na stanovišti. Znamená to pokles teplot v úlu, včely se nestačí zahřát a zřejmě nemají zásoby. Je potřeba dokrmit včely a zaizolovat úl.
- Klesá-li pouze hmotnost, pozvolna včely spotřebovávají zásoby. Znamená to, že včely již nemají snůšku, pozvolna spotřebovávají zásoby nektaru i pylu. Bude potřeba dokrmit včely dle potřeby a stavu zásob (ProBee, 2017).

## 3.4 Systém

„Systém je propojená sada prvků, které spolupracují za účelem dosažení nějakého cíle. Systém se skládá z prvků, vztahů a cíle.“ (Meadows, 2009, s. 11). Systémy se mohou měnit, adaptovat a reagovat na události, vyhledávat cíle, regenerovat a účastnit se procesů, přestože většina systémů se skládá z neživých věcí. Systémy se mohou samy organizovat jako součást obrany proti entropii a opravují některé své závady samy. Mnoho systémů je odolných, protože se přizpůsobují vývoji. Zároveň z dlouho běžícího systému může vzniknout úplně nový, který bude zcela odlišný (Meadows, 2009, s. 17).

Systémy fungují samostatně velmi dobře. Když je po nich vyžadováno příliš, rozpadnou se, nebo začnou vykazovat neočekávané chování. Fungují tak dobře díky těmto vlastnostem: odolnost, samostatná organizace a hierarchie. Odolnost znamená schopnost uchovat se a vytrvat v proměnlivém prostředí (Meadows, 2009, s. 75). Samostatná organizace je vlastnost učit se, diverzifikovat a vyvíjet se. Hierarchie je generována

samostatnou organizací při vývoji, rozšiřování a vytváření nových struktur. Systémová hierarchie je přirozenou součástí ve všech systémech, dávají systému stabilitu a odolnost a zároveň redukuje množství informací, které každá část systému musí sledovat (Forrester, 2000, s. 3).

Prvky systému jsou většinou snadno rozpoznatelné a jsou mezi sebou propojeny vazbami a vztahy, které je drží pohromadě. Funkce a cíle systému jsou velmi obtížně rozpoznatelné. Funkce systému nemusí být exaktně určena, ale například vyjádřena operacemi systému (Meadows, 2009, s. 12).

### **3.4.1 Systémová dynamika**

Systémová dynamika je aplikovatelná na problémy ze všech oblastí. Chování systému vychází z jeho struktury. Tato struktura se skládá ze smyček – vztahů, stavových a tokových proměnných (Sterman, 2000, s. 21).

V systémové dynamice je používáno několik nástrojů pro tvorbu diagramů zachycujících strukturu systému. Mezi tyto diagramy se řadí příčně smyčkový diagram a diagram stavů a toků (Sterman, 2000, s. 36).

### **3.4.2 Příčně smyčkový diagram**

Důležitým nástrojem pro reprezentaci vztahů struktury systému je příčně smyčkový diagram (CLD z *angl.* Casual loop diagram). Je to nástroj, který je výhodný pro rychlé zachycení hypotézy o příčině dynamiky. Dále pak pro tvorbu a zachycení mentálních modelů vytvářených individuálně, nebo při práci v týmu a pro zachycení důležitých vazeb, které jsou zodpovědné za vytváření problému (Sterman, 2000, s. 137).

Příčně smyčkový diagram se skládá z proměnných propojenými šipkami značícími vlivy na proměnné. Každý vztah/šipka má také přiřazenu polaritu, která může být pozitivní (+), nebo negativní (-) pro vyjádření, jak se proměnná změní v závislosti na změně proměnné. Důležité cykly/smyčky jsou označeny identifikátorem, který vyjadřuje, jestli se jedná o posilující, nebo balanční smyčku (Sterman, 2000, s. 138).

Pozitivní vazba vyjadřuje, že když příčina vzroste, vzroste celkový efekt. Když příčina klesne, klesá i celkový efekt. Negativní vazba naopak znamená, že když příčina vzroste, tak efekt klesne. A když příčina klesne, efekt vzroste (Sterman, 2000, s. 139).

Polarity spojení popisují strukturu. Nepopisují tak chování proměnných, ale popisují, co se změní, když nastane změna. A proto nepopisují, jak ta změna skutečně vypadá (Sterman, 2000, s. 139).

Existuje řada situací, kdy jsou příčně smyčkové diagramy velmi dobře použitelné, protože vhodně reprezentují vztahy v procesech. Například jsou efektivní během počátečních fází modelování projektu, kde slouží pro zachycení mentálního modelu. Přes své klady mají i nedostatky. Tím nejzávažnějším bývá neschopnost vyjádření stavů a toků ve struktuře systému (Sterman, 2000, s. 140).

### **3.4.3 Diagram stavů a toků**

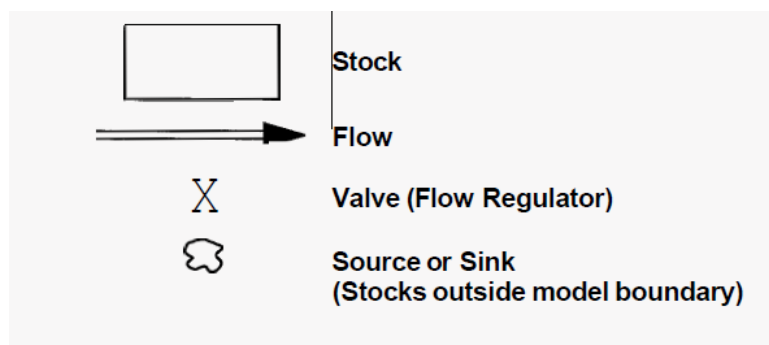
#### *Stavy a toky*

Stavové proměnné jsou základem každého systému. Jedná se o prvky systému, které jsou viditelné, počítatelné a měřitelné v kterémkoliv čase. Pokud bychom zastavili čas, v modelu přímo uvidíme prvky samotné a jejich aktuální množství (Meadows, 2008, s. 17). Stavová proměnná je množství materiálu nebo informací, které byly v průběhu času nashromážděny. Tato akumulace je v průběhu času měněna skrze tokové proměnné. Stavové proměnné zároveň charakterizují stav systému, který je generován na základě toho, které rozhodnutí a akce jsou provedeny. Mimo to dávají systému setrvačnost a poskytují paměť. Stavové proměnné vytvářejí zpoždění akumulací rozdílů mezi přítoky a odtoky procesů (Sterman, 2000, s. 191).

V diagramu jsou stavové proměnné reprezentovány obdélníky (obrázek 4). Jejich přítoky jsou schematicky znázorněny trubicí s šipkou mířící ke stavové proměnné. Odtok je reprezentován trubicí mířící ze stavové proměnné. Obláčky reprezentují zdroje a uskladnění toků. Struktura diagramů se stává z těchto elementů (Sterman, 2000, s. 192).

Stavová proměnná ukládá průběh tokových proměnných v systému, a proto je výsledkem tokových proměnných (Meadows, 2008, s. 17). Tyto tokové proměnné mohou být vyjádřeny také v grafické podobě v diagramu. Graficky se lépe znázorní průběh v čase než jednotlivé události. Z grafu je také možné určit, jestli je proměnná divergující, nebo konvergující k nějaké hodnotě (Meadows, 2008, s. 26). Dynamika stavových a tokových proměnných zajišťuje chování komplexního systému.

Obrázek 4 Schématické značení v diagramu stavů a toků



Zdroj: Sterman, 2000, s. 193

### *Proces, komplex procesů*

Systém je tvořen procesem, nebo komplexem procesů, které jsou představovány zákonitými, navazujícími a vnitřně propojenými změnami objektů. V objektu, který může být konkrétní nebo abstraktní, je přiřazen vstupní proces, který je stejného nebo odlišného typu. Tento proces přiřazování se nazývá chování systému a charakterizuje reakce výstupů na vstupy. Kromě názvu „přiřazení“ je také používán termín „transformace“, který vystihuje stav lépe, jelikož systémy často transformují vstupní procesy ve výstupy (Holčík, 2015). „Zpracováním dat se obecně snažíme zkoumat vztahy mezi stavy, jevy a procesy, které charakterizují určitý objekt a jsou charakterizovány naměřenými daty“ (Holčík, 2012, s. 3).

### *Biologické systémy*

Biologickými systémy jsou myšleny živé organismy a všechno, co je s nimi spojeno. Probíhají v nich vzájemně navazující procesy, od chemických na atomární úrovni, až po plné ekosystémy, tedy biologická společenství, která jsou tvořena více populacemi rozdílných organismů. „Biologickým společenstvem rozumíme biologický systém populace lidí, populace chovaných zvířat, nebo rostlin z důvodů ekonomických, nebo ekologických, stejně tak populace škůdců, parazitů, bakterií, nebo i nádorových buněk pro potřeby medicíny“ (Holčík, 2015).

„V užším slova smyslu bychom v biologii mohli popsat systémy jako organismy od úrovně subcelulární, tedy od úrovně jednotlivých buněčných organel se vším, co s nimi souvisí, přes úrovně buněk, tkání, orgánů a jedinců až po úroveň populací, společenstev, ekosystémů a biomů“ (Holčík, 2015).

### *Matematický model*

Pro popis chování systému je používán matematický model systému, tzn. abstraktní model pozorovaného systému. Při vytváření matematického modelu je většinou postupováno od množiny vstupních a výstupních proměnných, následně parametrů a dále množiny matematických struktur. Tyto množiny determinují stavy systému, jeho vazby a vztahy mezi parametry a proměnnými. Na model je také možné pohlížet skrze množinu funkcí, která charakterizuje vztahy mezi proměnnými. Matematický model je možné rozdělit na 3 skupiny objektů, které tvoří model: parametry a proměnné, matematickou strukturu a řešení (Holčík, 2015).

„Matematické modelování proniklo do různých oborů přírodních, technických, ekonomických i sociálních věd a stalo se důležitým pomocníkem při modelování a simulacích systému, analýzách a předvídání různých procesů, jevů, chování druhů a stavů společenstev... Matematické modely poskytují srozumitelný popis všech relevantních faktorů dané situace a umožňují odhalit podstatné vztahy mezi prvky studovaného systému... Použití matematického modelu umožňuje zjistit informace o chování systému, i když učinit závěry přímo z originálu je nemožné nebo obtížné“ (Hřebíček, 2006, s. 1). Všechny modely, ať už mentální, nebo matematické jsou zjednodušení reálného světa (Meadows, 2008, s. 17) .

#### **3.4.4 Zpětné vazby**

„Systémové informační zpětné vazby jsou kontrolami a základem pro lidské úsilí a úsilí v přírodě, od biologické evoluce po vypouštění satelitů do vesmíru. Vše, co jako jedinci, nebo jako společnost konáme, je konáno v souvislosti s informačními zpětnými vazbami“ (Forrester, 1961, s. 15). Ne každý systém obsahuje zpětné vazby, protože systém může být ovlivňován i vnějšími faktory (Meadows, 2008, s. 25).

### **3.5 Použité nástroje**

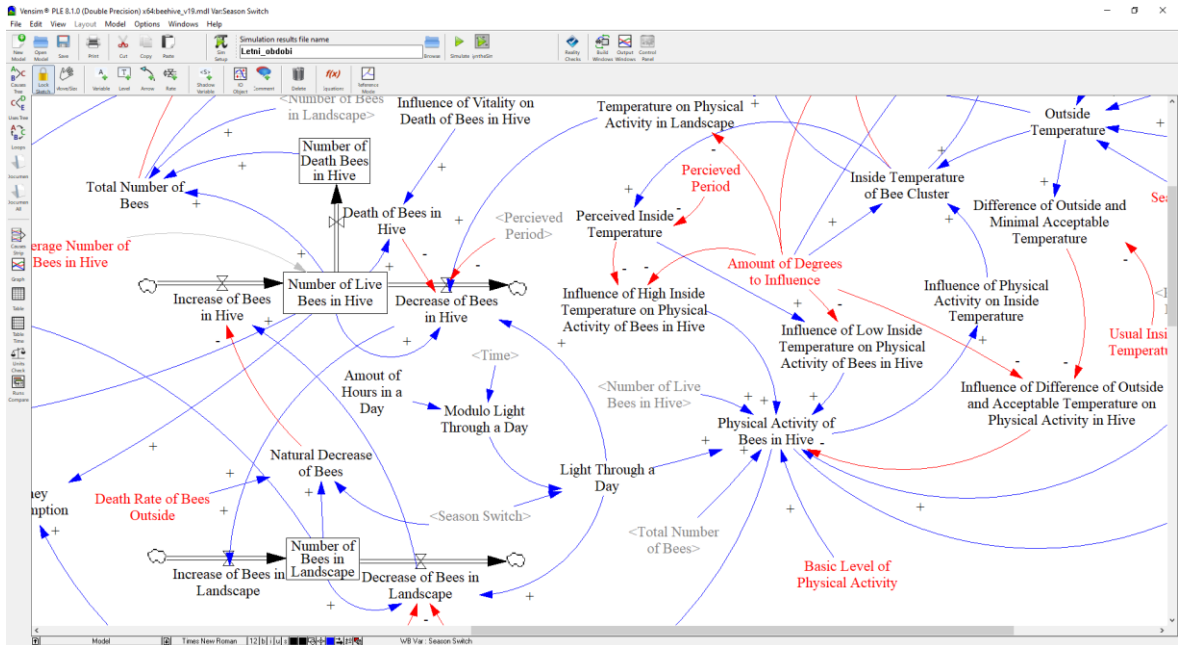
#### **3.5.1 Vensim**

Vensim je simulační software, který klade důraz na kvalitu modelu, datové propojení a pokročilé algoritmy. Bývá obvykle používán pro vývoj a analýzu dynamických modelů. V softwaru je možné vytvářet příčně smyčkový diagram nebo diagram stavů a toků



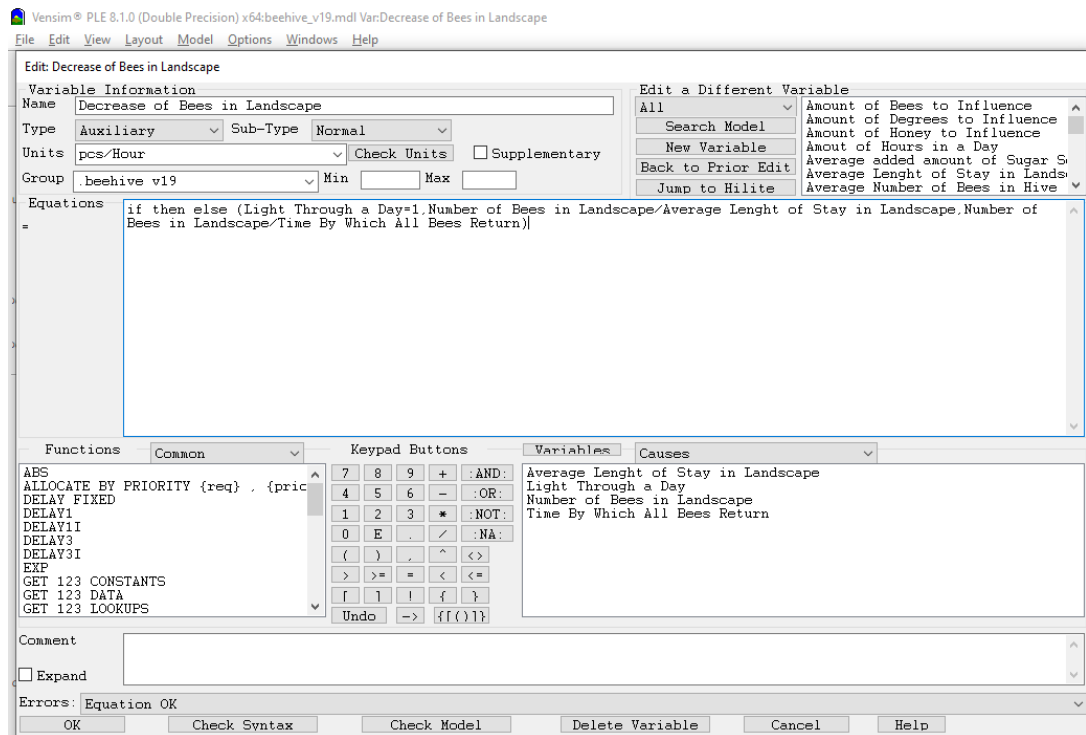
(obrázek 5), který se skládá z proměnných a vztahů mezi nimi a tyto vztahy je možné matematicky vyjádřit (obrázek 6) (Vensim, 2015).

Obrázek 5 Software Vensim



Zdroj: Vensim PLE 8.1.0, vlastní zpracování

Obrázek 6 Software Vensim, matematické vyjádření proměnných



Zdroj: Vensim PLE 8.1.0, vlastní zpracování

Software je nabízen v několika variantách, dle množství funkcí a účelu použití. Základní varianta se nazývá Vensim PLE (Personal Learning Edition – distribuce pro vzdělávání) je vhodný pro začínání s modelováním systémové dynamiky a je poskytován zdarma pro vzdělávání a levně pro komerční použití. Druhou nabízenou variantou je Vensim DSS, která mimo funkcí obsažených ve variantě PLE navíc poskytuje rozhraní pro externí funkce, makra a sestavené simulace. Nejobsáhlejší je třetí varianta nazývaná Vensim Professional, která je vhodná především pro modely velkého rozsahu a složitosti. Velikou předností pak je u této varianty citlivostní analýza provedených simulací metodou Monte Carlo (Vensim, 2015).

Pro používání softwaru Vensim je nutné souhlasit s podmínkami užití. Licence softwaru je stejná pro všechny varianty. Součástí licenčních podmínek, je i deklarace autora softwaru, firmy Ventana Systems Inc., že si nenárokuje právo na žádné simulační modely ani vygenerované výsledky a vlastníkem těchto modelů je pouze jejich tvůrce. Tato deklarace však platí pro PLE variantu pouze v případě, že tvůrce publikuje nejenom samotný výstup, ale i postup a model (Vensim, 2015).

## 4 Praktická část

### 4.1 Včelstva online

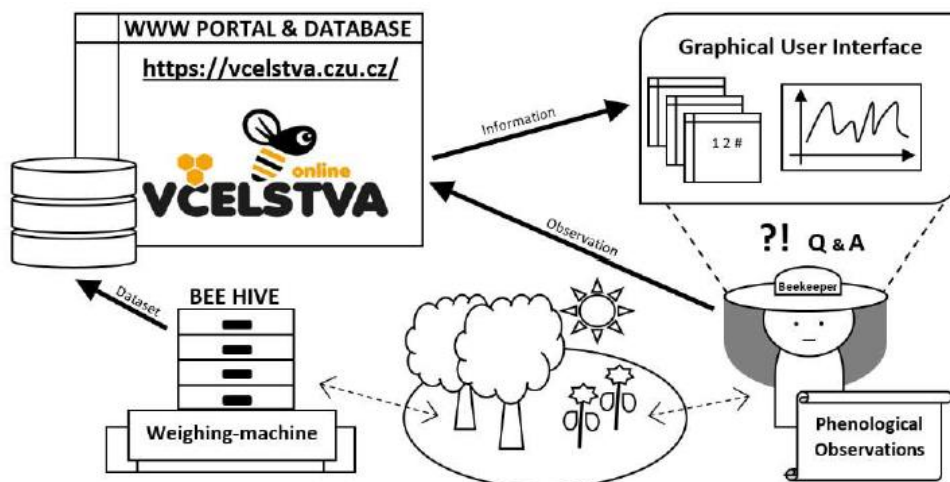
Včelstva online je portál, který nabízí individuální evidenci včelstev a termínů zemědělských postřiků pro hobby včelaře. Je plně poskytován zdarma pro odbornou i laickou veřejnost. Účelem je podpora chovu a ochrana včel v krajině na území ČR. Portál nabízí uživatelské funkce včelařům a zemědělcům, aby jim usnadnil vzájemnou komunikaci. Z dlouhodobého hlediska je cílem portálu umožnění rozvoje aplikací moderních technologií v oblasti chovu včel, aby bylo podpořeno precizní zemědělství v ČR.

Mezi zásadní funkce portálu od počátku patří vytvoření platformy pro anonymní komunikaci mezi včelaři a zemědělci. A proto je možné anonymní dohledávání včelstev v okolí plánovaných postřiků podle půdních bloků. Do systému Portál Včelstva online je možné zasílat i data z úlových vah, přičemž portál není zaměřen jen na jednoho výrobce vah a dalších zařízeních, ale kterýkoliv výrobce zařízení může být zařazen do seznamu úlových vah pro připojení.

Pro laickou veřejnost má portál především informační funkci. Je možné v mapě vyhledávat prodejny medu, sledovat data z úlových vah referenčních včelařů, případně si přečíst o včelách a o medu. Více funkcí je dostupných po přihlášení. Na portál je možné se zaregistrovat jako včelař, zemědělec nebo včelařský spolek.

Následující obrázek (obrázek 7) schematicky znázorňuje rozložení portálu Včelstva online. Včelař (Beekeeper), který se rozhodne zaregistrovat na webový portál Včelstva online, tak činí skrze grafické rozhraní (Graphical User Interface). Portál mu slouží k získávání informací, sledování dat ze svého úlu a také k zápisu fenologických pozorování (Phenological Observation). Portál (www.portal & database) se skládá z webové stránky (<https://vcelstva.czu.cz>) a databáze. V databázi jsou uložena veškerá data, která se zobrazují uživateli a zároveň data, která včelař zapíše, jsou zde uložena. Do databáze se zároveň ukládají data z úlové váhy (Weighing-machine). Ta je posílá technologií IoT (Internet of Things) skrze mobilní síť, a následně jsou rozšifrována podle algoritmu od výrobce, uložena a zobrazována na vyžádání včelaři.

Obrázek 7 Portál Včelstva online



Zdroj: Bartoška, 2020

#### 4.1.1 Včelař

Pro včelaře nabízí portál možnosti evidence stanovišť včelstev, vedení úlových karet, dále také usnadnění komunikace se státními úřady prostřednictvím tisku PDF formulářů pro hlášení na „Hradištko“ (tzn. Českomoravské společnosti chovatelů), nebo na obecní úřad.

Včelař po registraci může využívat dostupné funkce. Přidá si stanoviště se svými včelstvy, ke stanovištěm si přidělí počty včelstev. Po přidání je možné kdykoliv stav upravit, při přemístění včelstva, nebo změny počtu včelstev. Na stránce stanoviště se zobrazují aktuální včelstva, základní informace o nich, také včelstva, která zde byla v minulosti umístěna před přesunem na jiné stanoviště a také včelstva v okolí tohoto stanoviště. Tento údaj je anonymní, včelaři se zobrazí pouze informace, kolik je v okolí do 10 km od jeho stanoviště cizích stanovišť se včelami a kolik se tam nachází včelstev.

Na stanovišti (obrázek 8) je také k dispozici možnost zápisu fenologických pozorování. Tato pozorování si někteří včelaři zapisují, aby mohli zaznamenávat souvislosti s velikostí snůšky medu. Zapsáním na portál je možné pozorování přehledně ukládat. Záznamy o pozorování jsou uchovávány a budou použity pro další výzkum, při kterém se bude zkoumat úživnost včel v krajině, tedy porovnávat data z úlové váhy s daty o fenologickém pozorování v okolí stanoviště.

Obrázek 8 Moje stanoviště se včelami

Název	Reg. číslo	Kat. území a obec	Včelstva
Kolin	788211	Kořenice, Chotouchov	2

Stanoviště	Včelstvo	Matka	Barva
Kolin	10		Bílá
Kolin	8		

Zdroj: <https://vcelstva.czu.cz/stanoviste/>, dostupné po přihlášení

#### 4.1.2 Pozorování včelstva – úlový deník

Každý včelař chce svá včelstva chovat co nejefektivněji. Včelařství je precizní činnost, při které se sleduje mnoho parametrů. Včelaři tato svá měření a pozorování zapisují do úlového deníku (obrázek 9) a vytvářejí si tak záznamy.

Pravidelné kontroly (obrázek 10) jsou zapisovány do úlového deníku. Sleduje se, kolik je obsedáno uliček, nebo rámečků, dále jak velké si vytvářejí zásoby, jestli u včel probíhá nějaké onemocnění a čím se léčí, někteří se také zaměřují na chování včel, rojivost, mírnost, sezení a další. Záznamy jsou uchovávány a na základě dlouhodobých sbírání je možné vytvářet predikce.

Zapisování do úlového deníku je možné na papír, nebo za využití některého z dostupných softwarů, jako je například portál Včelstva online. Někteří včelaři jsou vybavení technologiemi, např. tabletem, a mohou zapisování provádět přímo na stanovišti. Jiní včelaři preferují zápis na papír a následné přepsání doma. Portál Včelstva online úzce spolupracuje s včelaři a úlový deník byl vytvořen s jejich spoluprací. Na základě požadavků včelařů je také možné přidat nové parametry, nicméně jejich stávající rozsah je již velmi obsáhlý. Dále je možné zvlášť zapisovat na portále záznamy o léčení. Někteří včelaři nezapisují na portál záznamy o kontrolách, ale pouze záznamy o léčení, jelikož ty je možné si následně uložit, ve formátu PDF vytisknout a uchovávat je v přehledné

formě pro případ kontroly Krajské veterinární správy, která dohlíží na kontrolu plnění mimořádných veterinárních opatření.

Obrázek 9 Úlový deník

Úlová karta: Včelstvo č. 10

Přidat kontrolu Přidat léčení Upravit včelstvo Zpět na stanoviště Zpět na seznam stanovišť

Tisk záznamů o kontrolách Tisk záznamů o léčení

Číslo matky	Původ matky	Barva matky	Typ úlu	Rámková míra	Stav včelstva
	<i>Není uvedeno</i>	Bílá	r	39x40	Zdravé

Aktuální umístění od	Název stanoviště	Reg. číslo	Katastrální území a obec	Předpokládaný konec stanoviště
26.12.2020	Kolin	788211	Kořenice, Chotouchov	<i>Nebyl stanoven</i>

Kontroly Léčení Data z úlové váhy

Zdroj: <https://vcelstva.czu.cz/vcelstva/detail/2697>, dostupné po přihlášení

Obrázek 10 Kontroly včelstva a úlu  
Kontroly včelstva a úlu

Kontrola ze dne 02.05.2019

Počet nástavků: 4 Matka klade: *Ano* Obsedají uliček: -- || Mírnost: 1 Sezení: 1 Rozvoj: 1 Hygiena: 1

Plod: -- Zásoby: -- Pyl: --

Medný výnos: -- Příště: *nevyplněno*

---

Kontrola ze dne 01.05.2019

Počet nástavků: 4 Matka klade: *Ano* Obsedají uliček: -- || Mírnost: 1 Sezení: 1 Rozvoj: 1 Hygiena: 1

Plod: -- Zásoby: -- Pyl: -- Poznámka: *Odebral jsem 2 pl.plodu i s matkou + 2 pl. D1/2 se včelama do prezentačního úlu pro ČT2 - Dpbré ráno*

Medný výnos: -- Příště: *nevyplněno*

---

Kontrola ze dne 21.04.2019

Počet nástavků: 4 Matka klade: *Ano* Obsedají uliček: -- || Mírnost: 1

Plod: -- Zásoby: -- Pyl: -- Poznámka: *Přidán nást. D1/1 - 6 pl. + 4 st.r. jako 2 od spodu - Stav 1D1/2 + 1D1/1 + 2 x D1/2*

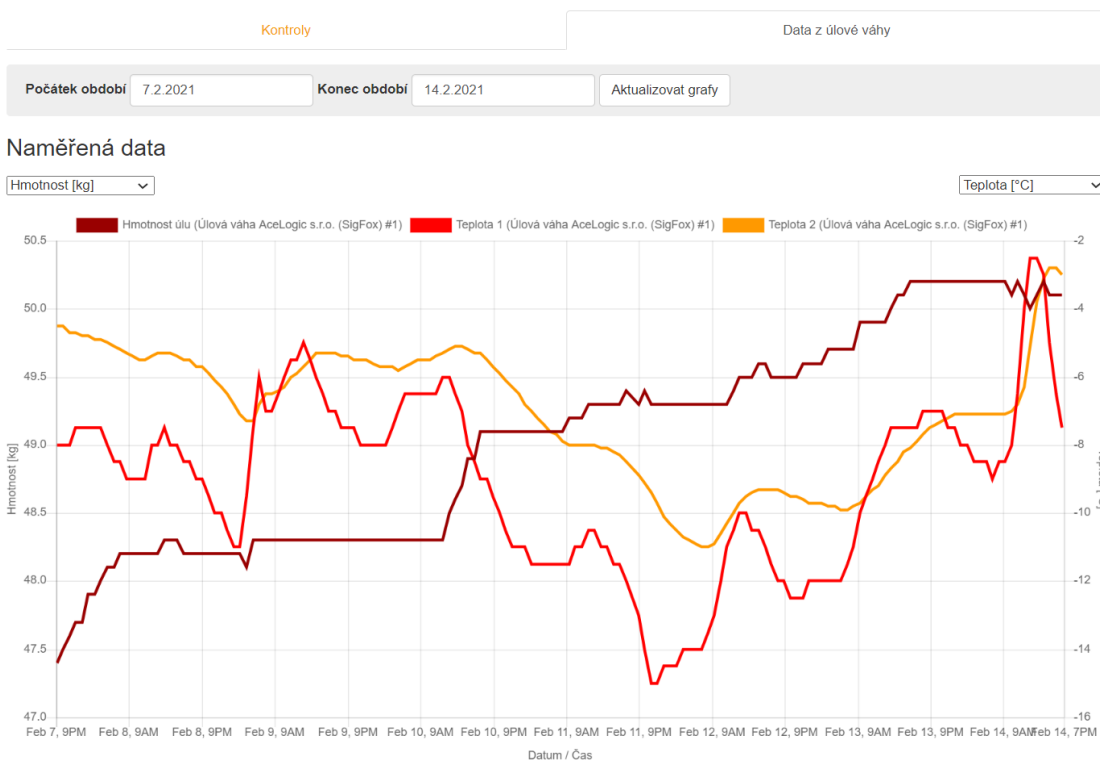
Medný výnos: -- Příště: *nevyplněno*

Zobrazit starší kontroly

Zdroj: <https://vcelstva.czu.cz/vcelstva/detail/2697>, dostupné po přihlášení

Pro preciznější sledování parametrů (obrázek 11) týkající se včelstev je dále možné poříditi si úlovou váhu. Ta měří parametry, které není možné kontrolovat pouhým pozorováním. Množství měřených parametrů závisí na úlové váze. V základu každá měří hmotnost, ale tento základ může být doplněn o měření dále vnější teploty, teplotu uvnitř úlu, vlhkosti a dalších. Výrobci vah je mnoho, včelař si vybírá podle svých potřeb, co chce sledovat a také kde bude váha umístěna.

Obrázek 11 Zobrazení dat z úlové váhy



Zdroj: <https://vcelstva.cz.cz/homepage/mereni/1869>, Včelstva online

### 4.1.3 Zemědělec

Moderní hospodářská rostlinná výroba se kvůli požadavkům na co největší produkci neobejde bez použití hnojiv a pesticidů na ochranu rostlin. Často však dochází k neuváženému používání pesticidů, které vede k poškození, nebo úhynu včel (Čermák, 2016, s. 151). Na portále se zemědělci se mohou zaregistrovat, aby mohli snadno včelaře ve svém okolí upozorňovat na termín provádění postřiků. Toto upozornění je anonymní a pro včelaře velmi užitečné, jelikož jim to umožňuje své včely chránit.

#### 4.1.4 Včelařský spolek

Řada včelařů je členem včelařského spolku. Tato příslušnost je výhodná zejména pro začínající včelaře, jelikož jim včelařský spolek bude nápomocný se zvládnutím legislativy, upozorňuje své včelaře na nadcházející změny a také pro ně pořádá školení.

Na portále Včelstva online je možné se zaregistrovat jako včelařský spolek (obrázek 12). Zde funguje jedna, nebo více osob jako administrátor. Spolek si pak k sobě přiřadí své včelaře. Ti mají možnost si dále spravovat svůj online úlový deník sami, nebo mohou nechat správu na včelařském spolku. Přiřazení ke svému včelařskému spolku je tak výhodné pro včelaře, kteří nechtějí portál používat sami, ale zároveň chtějí využít některé jeho funkce. Spolek jim může pomoci s formulářem pro „Hradištko“, kontrolovat data z jejich úlové váhy a zadávat léčení včelstva. Spolek má také možnost snadno poslat svým přiřazeným členům upozornění o plánovaném postřiku.

Obrázek 12 Včelařský spolek

Příjmení	Jméno	E-mail	Registrační číslo				
Jet	Regio	ha.kratochvilova+sppp@gmail.com	788996	Odebrat	Stanoviště	Hlášení pro Hradištko	
Kkk	H	ha.kratochvilova+sp@gmail.com	788999	Editovat	Odeslat heslo	Stanoviště	Hlášení pro Hradištko
Nna	A	ha.kratochvilova+spo@gmail.com	877889	Editovat	Odeslat heslo	Stanoviště	Nemá vytvořené stanoviště.

Zdroj: <https://vcelstva.czu.cz/zo-clenove/>, dostupné po přihlášení

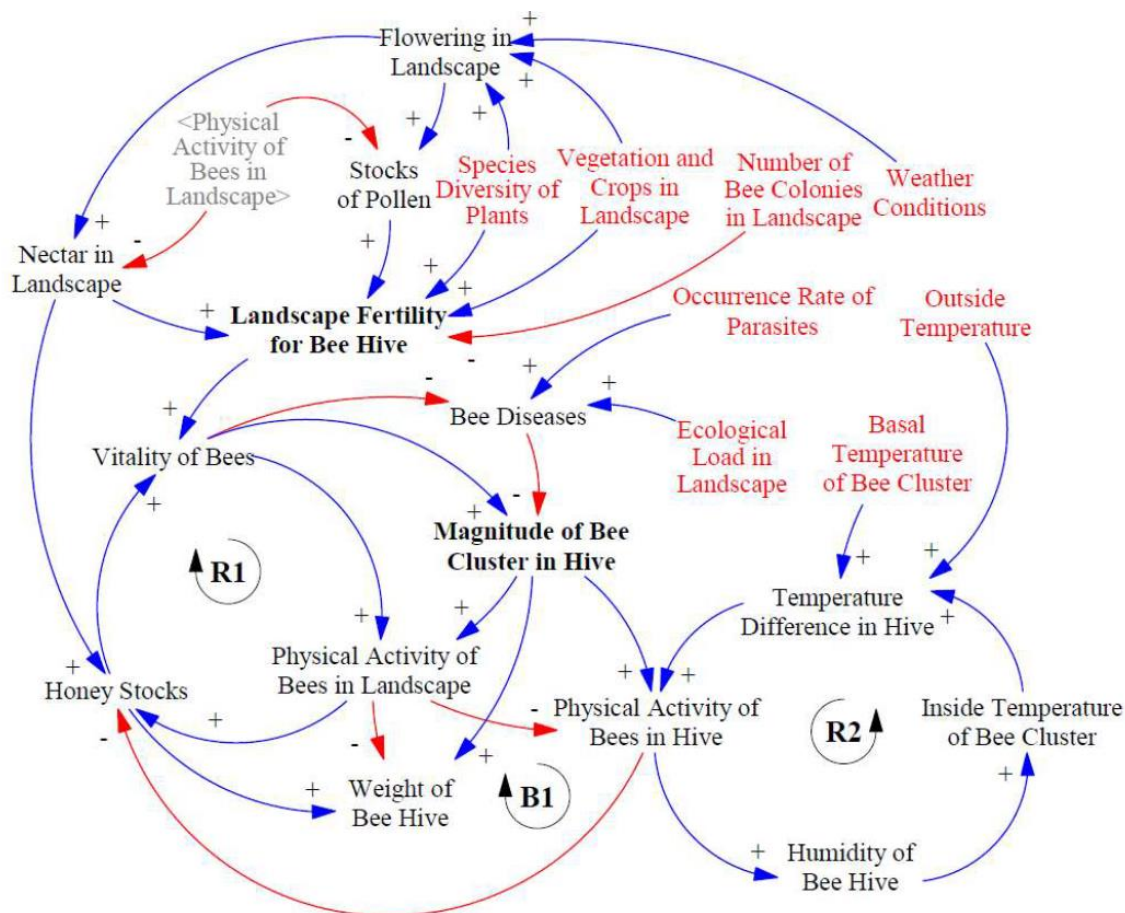
## 4.2 Konceptuální model

Tato práce vychází z návrhu konceptuálního modelu (obrázek 13) dle příčně smyčkového diagramu (casual loop diagram) publikovaného Bartoška a kol., 2020 v článku System Dynamic Conceptual Model for Landscape Fertility of Bees (Bartoška,



2020). Model zachycuje dynamiku mezi přírůstkem váhy úlu, vnitřní vlhkostí, vnitřní a vnější teplotou v úlu, dále charakterem počasí a úživností krajiny.

Obrázek 13 Příčně smyčkový diagram



Zdroj: Bartoška, 2020

Model systémové dynamiky pro úživnost krajiny včel byl navržen na základě výsledků výzkumu a znalostí včelařů. Příčně smyčkový diagram obsahuje exogenní a endogenní proměnné, které popisují vazby a vztahy mezi rostlinami a včelami.

Ústředním bodem modelu (obrázek 13) je velikost včelího roje v úlu (Magnitude of Bee Cluster in Hive), která má vliv na fyzickou aktivitu včel (Physical Activity of Bees in Hive, Physical Activity of Bees in Landscape). Seběposilující smyčka R1 popisuje závislost fyzické aktivity včel v krajině (Physical Activity of Bees in Landscape), která ovlivňuje růst produkce medu, a tudíž i růst zásob medu (Honey Stocks). Množství zásob medu také pozitivně působí na vitalitu včel (Vitality of Bees), která je důležitá pro fyzickou aktivitu včel v krajině. Z diagramu je patrné, že R1 je posilující smyčka. Fyzická aktivita včel se odehrává také uvnitř úlu (Physical Activity of Bees in Hive),

kde její zvýšení může být způsobeno např. velkým rozdílem (Temperature Difference in Hive) venkovní a vnitřní teploty v úlu (Inside Temperature of Bee Cluster). Vysoký teplotní rozdíl oproti běžné vnitřní teplotě způsobí zvýšení fyzické aktivity včel uvnitř úlu (Physical Activity of Bees in Hive). Včely se snaží vyrovnat s příliš nízkou teplotou konzumací medu a příliš vysokou teplotu zvýšením vlhkosti. Fyzická aktivita v úlu také ovlivňuje vlhkost a vnitřní teplotu (sebeopisující smyčka R2). Přesto ale příliš vysoká fyzická aktivita včel v úlu způsobí konzumaci vyprodukovaného medu, a to může způsobit pokles vitality včel kvůli nedostatku zásob medu. Příliš nízká vitalita včel povede k jejich umírání a bude se snižovat velikost včelího roje, a tedy i fyzická aktivita včel v úlu (vyvažující smyčka B1). V modelu je také vidět vliv vitality na fyzickou aktivitu a na zásoby medu, jejichž množství je určeno úživností krajiny (Landscape Fertility for Bee Hive) a množstvím nektaru (Nectar in Landscape) v blízkém okolí. Úživnost krajiny pro včely je určena druhovou diverzifikací rostlin (Species Diversity of Plants), vegetace a plodin (Vegetation and Crops in Landscape), dále množstvím pylu (Stocks of Pollen) a nektaru (Nectar in Landscape) a také množstvím včelích rojů v krajině (Number of Bee Colonies in Landscape) (Bartoška, 2020, s. 4). Na základě konceptuálního modelu je v této práci vytvořen dynamický model.

### **4.3 Tvorba diagramu stavů a toků**

Z publikovaného příčně smyčkového diagramu byla určena část, která se bude modelovat do diagramu stavů a toků. Vybrané parametry byly: množství zásob medu, úroveň fyzické aktivity včel v krajině a vliv teplot.

#### **4.3.1 Dynamický model**

Dynamický model (příloha 1), neboli diagram stavů a toků (SFD z *angl.* Stock and Flow Diagram) byl vypracován dle příčně smyčkového diagramu, přesto ale nebyly použity všechny jeho proměnné. Některé z proměnných jsou barevně odlišeny, červená značí, že se jedná o vstupní proměnné, často to jsou také konstanty, které jsou známé na základě měření a pozorování včelstev.

### 4.3.2 Vstupní hodnoty

Pro tvorbu diagramu stavů a toků byly použity znalosti odborníků z oboru včelařství, výsledky výzkumů a také data z úlových vah (tabulka 1). Vstupními daty do modelu jsou teploty v zimním a v letním období naměřené vahami na stanovišti.

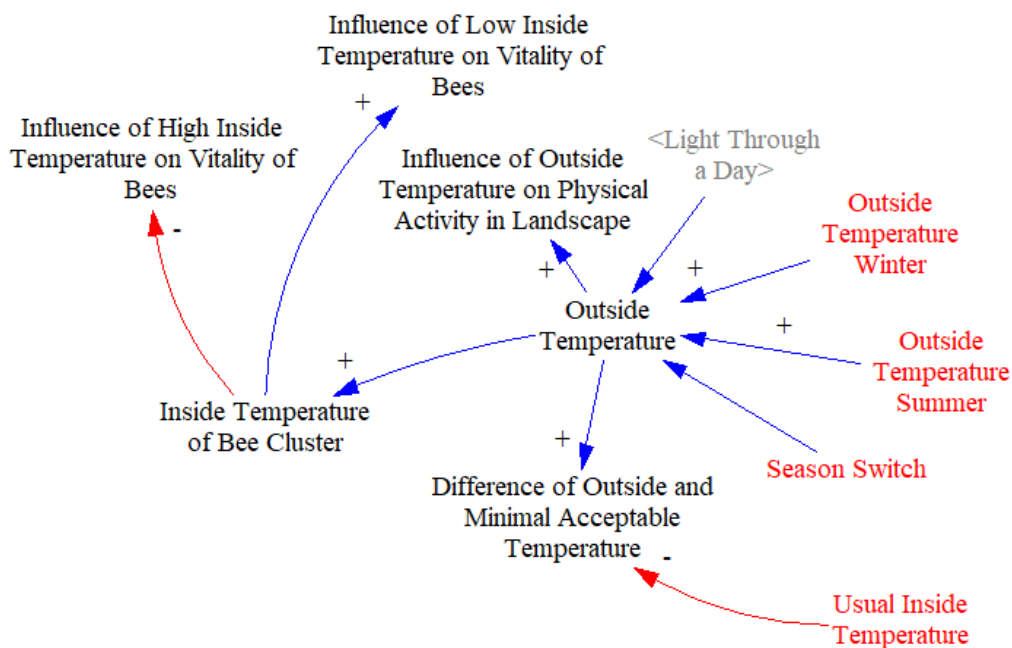
Tabulka 1 Data z úlové váhy na stanovišti 430

Čas	Teplota vnitřní (°C)	Teplota vnější (°C)	Relativní vlhkost v úlu (%)	Hmotnost úlu (kg)
2021-03-05 08:19:21	24,2	2,5	59,1	13,6
2021-03-05 09:28:39	23,6	2,5	59,3	13,6
2021-03-05 11:47:23	24,3	3,5	59,9	13,5
2021-03-05 12:56:49	24,1	4	60,0	13,5
2021-03-05 14:06:10	23,9	3,5	60,1	13,5
2021-03-05 16:24:54	23,5	3,0	60,1	13,5

Zdroj: databáze Včelstva online

Do modelu (obrázek 14) vstupuje venkovní teplota na stanovišti (Outside Temperature), kde je umístěn včelí úl. Tuto teplotu bylo potřeba rozdělit na letní (Outside Temperature in Summer) a zimní (Outside Temperature in Winter), jelikož teplota významně ovlivňuje chování včel v úlu. Přepínačem (Season Switch) je možné vybrat

Obrázek 14 SFD část I



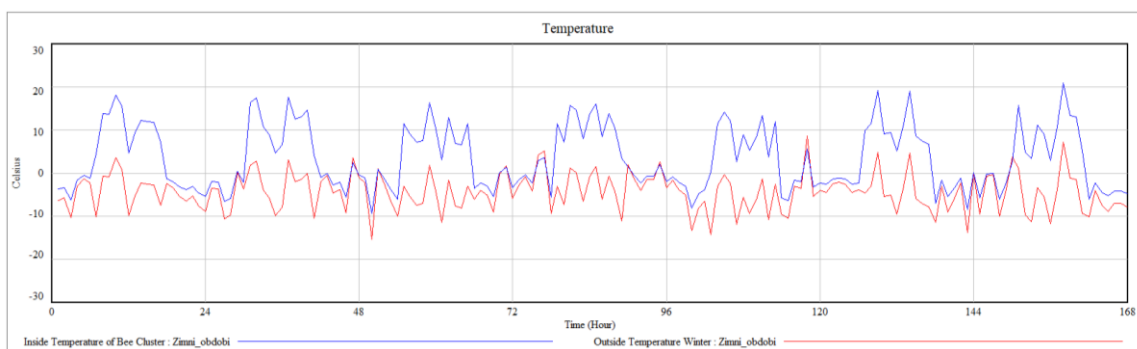
Zdroj: vlastní zpracování

variantu. Pro hodnoty teplot byla použita data z úlových vah a funkce programu Vensim RANDOMNORMAL, kterou jsou hodnoty náhodně generovány. Jejimi parametry jsou: minimální teplota, maximální teplota, průměr, směrodatná odchylka a počáteční hodnota. Pro zimní teploty bylo počítáno s teplotami v lednu a únoru, protože typické zimní hodnoty jsou v této době nejkonzistentnější, a pro letní teplotu měření v květnu, jelikož nastává čas snůšky.

Jestliže venkovní teplota přesáhne 12 °C, včely vyletí ven z úlu. Proto má venkovní teplota (Outside Temperature) vliv (obrázek 14) na fyzickou aktivitu včel v krajině (Physical Activity of Bees in Landscape). Venkovní teplota dále ovlivňuje vnitřní teplotu v úlu (Inside Temperature of Bee Cluster), a to tak, že vnitřní teplota je dána součinem venkovní teploty, vlivu fyzické aktivity na vnitřní teplotu (Influence of Physical Activity on Inside Temperature) a množstvím stupňů pro ovlivnění (Amount of Degrees to Influence), který značí kolik °C je potřeba pro ovlivnění teploty.

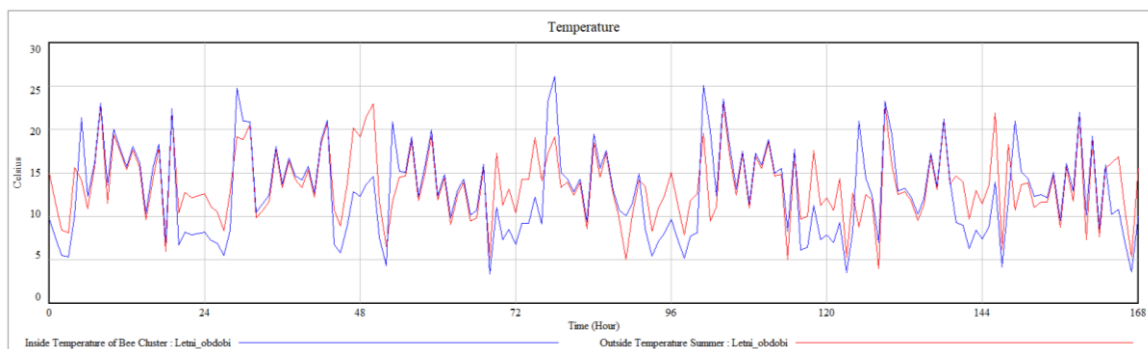
Optimální teplota uvnitř včelího úlu se pohybuje mezi 22-34.5 °C. V zimním období se venkovní teplota, která ovlivňuje vnitřní teplotu, pohybuje okolo 0 °C (obrázek 15), a proto se včely snaží zahřívát fyzickou aktivitou. Snahu o zvýšení teploty je možné vidět na obrázku 15. V letním období se teplota často dostává nad 20 °C, a proto se včely nemusí snažit ohřívát (obrázek 16).

Obrázek 15 Vnější teplota v zimním období



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 16 Vnější teplota v letním období



Zdroj: vlastní zpracování

### 4.3.3 Včelstvo

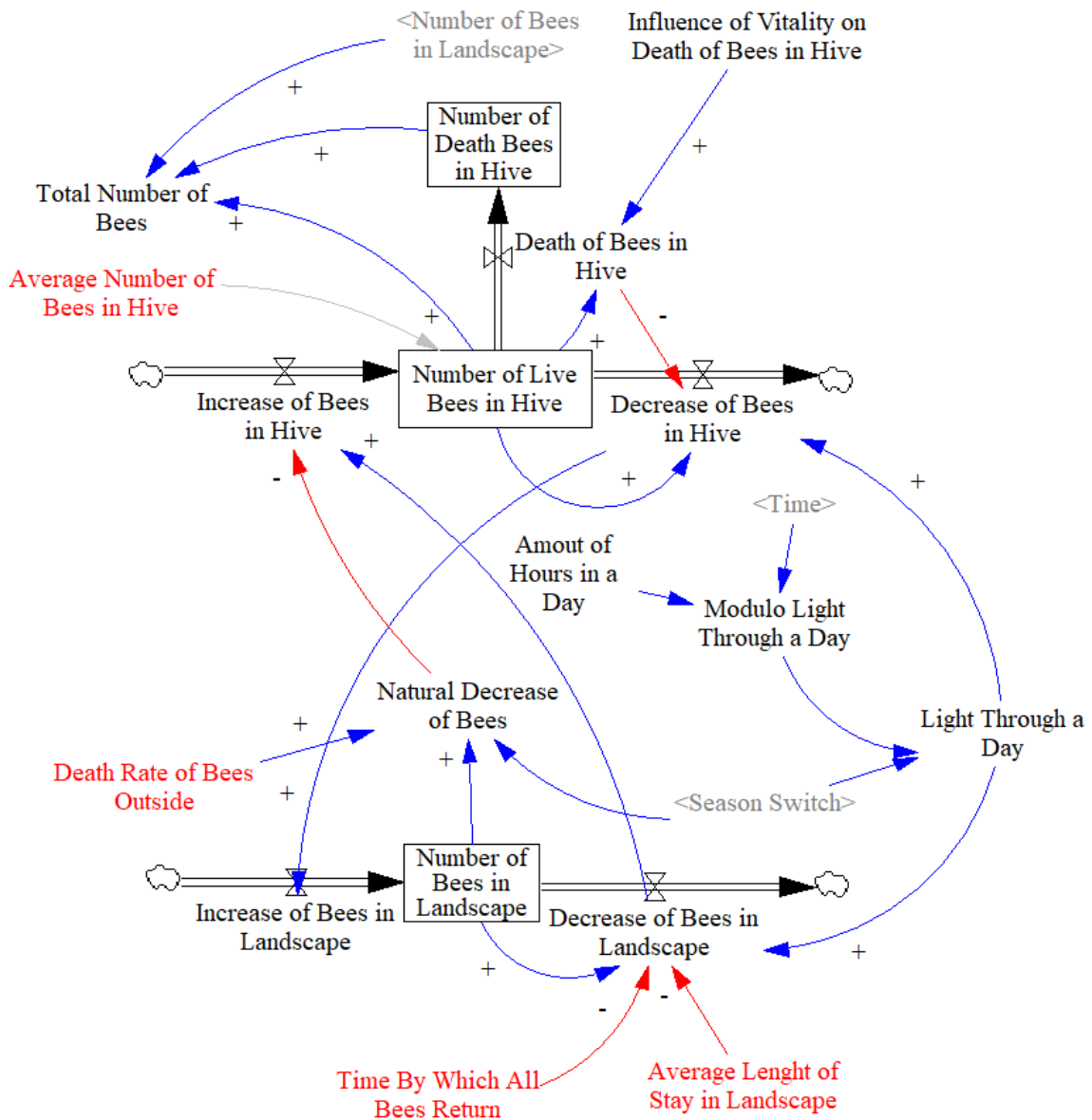
Základní částí modelu je včelstvo (obrázek 17), které je v modelu reprezentováno stavovou proměnnou počet včel v úlu (Number of Live Bees in Hive). Přítok do počtu včel je tvořen přírůstkem včel v úlu (Increase of Bees in Hive). Odtoky jsou pokles včel v úlu (Decrease of Bees in Hive) a umírání včel (Death of Bees in Hive), které vede do další stavové proměnné počet zemřelých včel (Number of Death Bees in Hive). Celkový počet včel (Total Number of Bees) je dán součtem včel, které se nacházejí v úlu, a to jak živých, tak mrtvých a počtem včel v krajině (Number of Bees in Landscape).

Úmrtí včel (Death of Bees in Hive) je dáno vlivem vitality včelstva na úmrtnost (Influence of Vitality on Death of Bees in Hive), která dále ovlivňuje pokles počtu včel ve včelstvu.

### 4.3.4 Létání do krajiny

Další proměnnou, která přispívá k aktuálnímu množství včel v úlu, je počet včel, které vylétají do krajiny pro sběr (Number of Bees in Landscape). Včely, které vylétají do krajiny (obrázek 17), jsou popisovány proměnnou přírůstek včel v krajině (Increase of Bees in Landscape), který je dán poklesem včel v úlu. Když počet včel v krajině klesne (Decrease of Bees in Landscape), má to za následek přírůstek včel v úlu, jelikož se vrátily z krajiny do úlu. Pro počet včel v krajině je dále důležitý přirozený úbytek včel (Natural Decrease of Bees). Ten je dán úmrtností v krajině (Death Rate of Bees Outside), která závisí na počtu včel vylétajících ven. Zároveň je ovlivňována ročním obdobím (Season Switch), jelikož se v závislosti na ročním období mění délka dne (Light Through a Day).

Obrázek 17 SFD část II

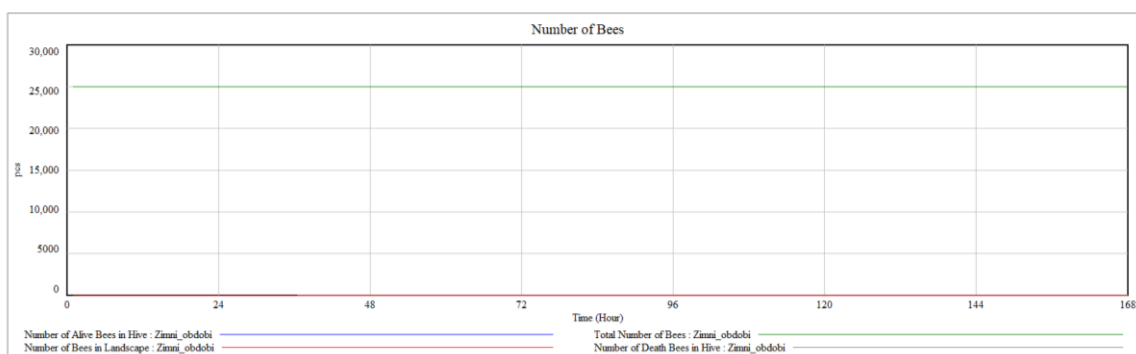


Zdroj: vlastní zpracování

Počet včel v úlu v zimním období je stálý, jelikož se teplota nedostává nad 12 °C potřebných pro vylétnutí včel a je počítáno s tím, že mrtvé včely zůstávají v úlu (obrázek 18). Z grafu je patrné, že všechny včely se vyskytují v úlu a žádné v krajině.

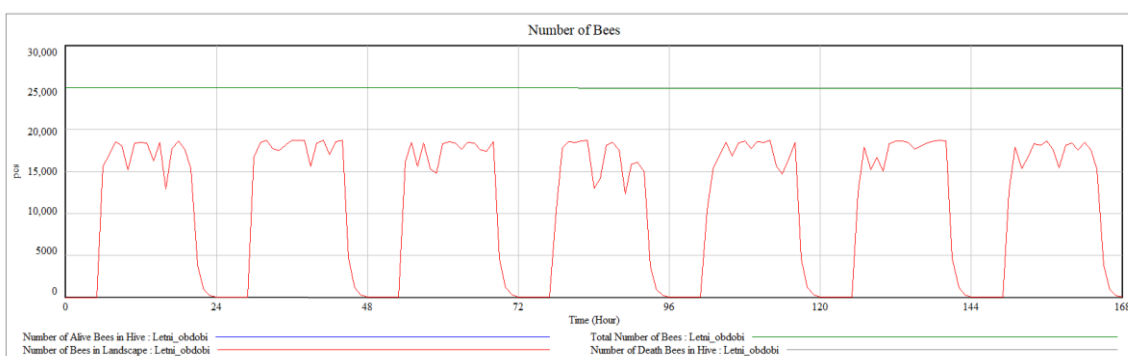
V letním období včely létají do krajiny ráno po východu slunce. Včela vyletí několikrát za den, proto počet včel v krajině přes den není konstantní (obrázek 19). Když se začne stmívat, včely již nevlétají ven, pouze se vrací a zůstávají všechny v úlu.

Obrázek 18 Počet včel v úlu v zimním období



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 19 Počet včel v úlu v letním období



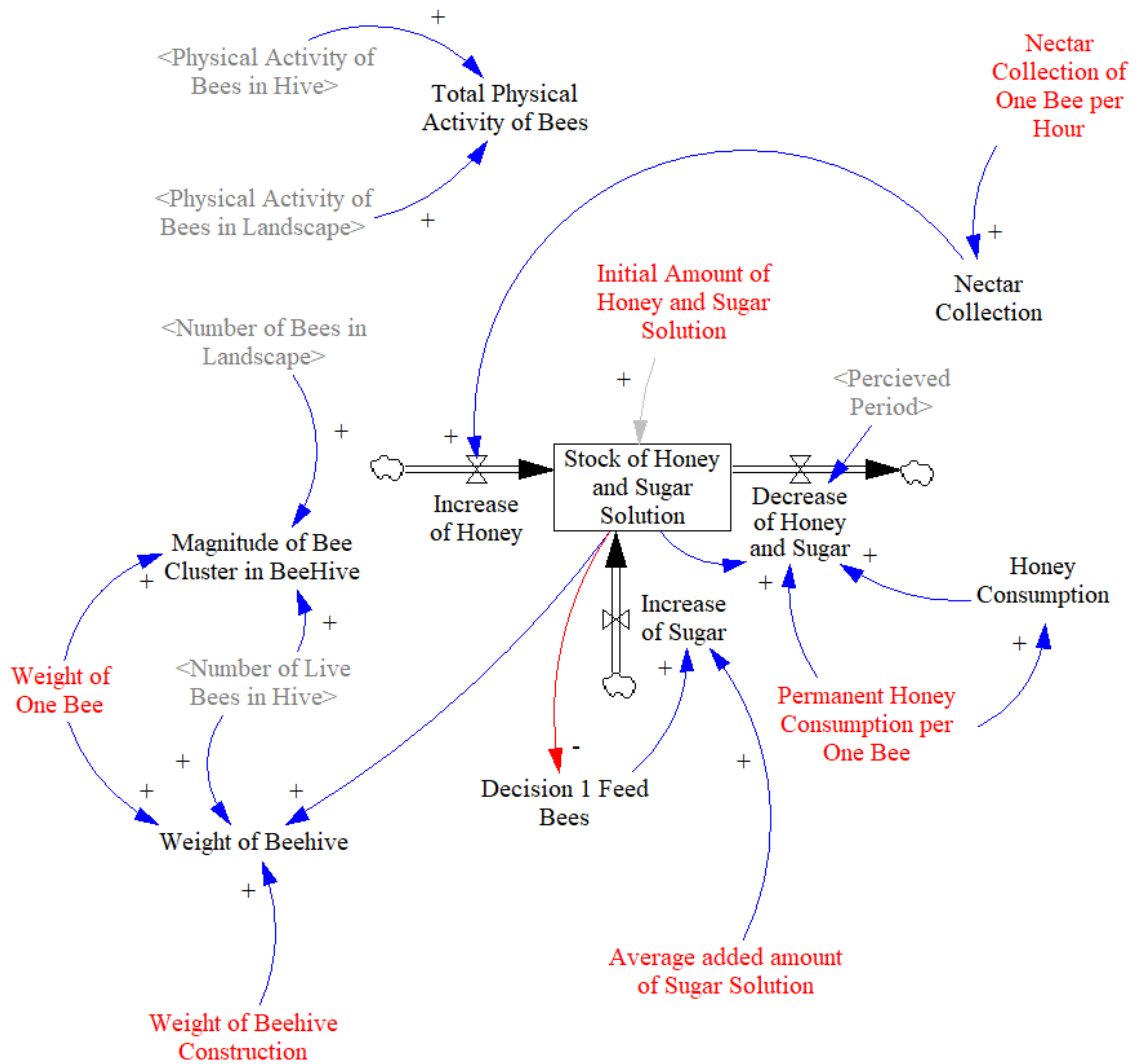
Zdroj: vlastní zpracování

### 4.3.5 Zásoba medu

Další stavovou proměnnou (obrázek 20) je zásoba medu, který včely vytvářejí z nektaru, nebo cukerného roztoku, který je přidáván včelařem (Stock of Honey and Sugar Solution). Proměnná přírůstek medu (Increase of Honey) závisí na proměnné množství nasbíraného nektaru (Nectar Collection), přičemž z 3 kg nektaru včely vyrobí 1 kg medu. Zároveň množství medu a cukerného roztoku se zvětšuje s přírůstkem proměnné přidávání cukru (Increase of Sugar), tedy příkrmováním včelařem. Úbytek zásob medu a cukru (Decrease of Honey and Sugar) je dán konzumací včelami.

Minimální množství zásob medu pro včelstvo potřebných na přežití zimy je 15 kg (jedná se o průměr, liší se podle velikosti včelstva). Včelař může dle dat z úlové váhy kontrolovat, jak velké mají včely množství zásob a jestli je potřeba je příkrmít. Do modelu (obrázek 20) byla přidána proměnná rozhodování (Decision 1 Feed Bees). Ta upozorní na nedostatek medu v úlu a včelař doplní zásoby cukerným roztokem (Increase of Sugar).

Obrázek 20 SFD část III

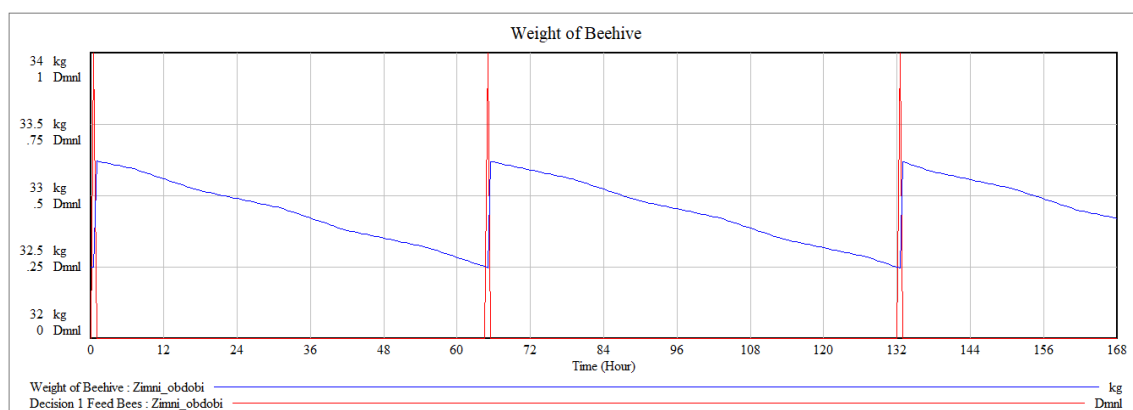


Zdroj: vlastní zpracování

Efekt úbytku zásob v zimním období je zobrazen na obrázku 21, kde je ukázán úbytek zásob medu a cukerného roztoku a vliv doplnění zásob cukerného roztoku na jejich zvýšení. V modelu je hmotnost úlu tvořena hmotností konstrukce, včelstva a zásob. Průběžný přírůstek zásob v čase snůšky je pak zobrazen na obrázku 22, ze kterého je zřejmé, že není lineární. To je způsobeno především tím, že v noci včely nevy létají.

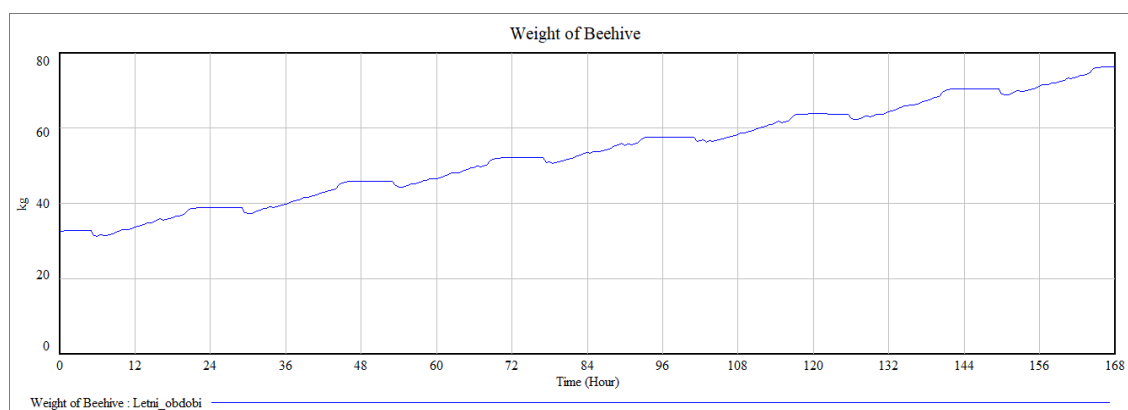


Obrázek 21 Váha úlu v zimním období



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 22 Váha úlu v letním období

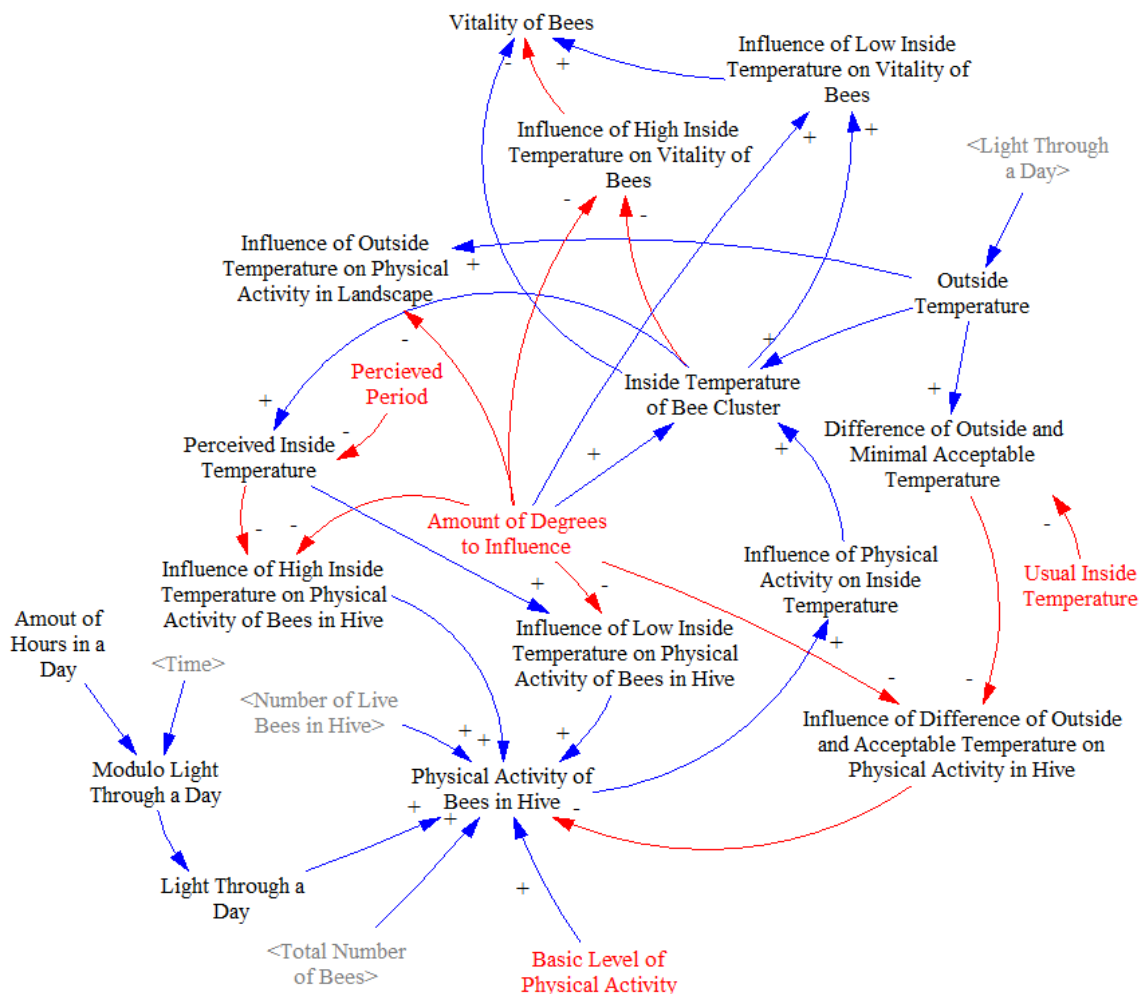


Zdroj: vlastní zpracování

#### 4.3.6 Aktivita včel v úlu

S vnitřní teplotou v úlu (Inside Temperature of Bee Cluster) je dále spojena fyzická aktivita včel uvnitř úlu (Physical Activity of Bees in Hive), která je determinována multifaktoriálně (obrázek 23). Fyzická aktivita včel uvnitř úlu závisí na počtu včel ve včelstvu (Total Number of Bees), počtu žijících včel v úlu (Number of Live Bees in Hive), dále na délce slunečního svitu přes den (Light Through a Day), která je odlišná pro letní a zimní období, na vlhkosti v úlu (Percieved Inside Humidity) a na vnitřní teplotě v úlu. Jestliže vnitřní teplota v úlu je příliš nízká (Influence of Low Inside Temperature on Physical Activity of Bees in Hive), fyzická aktivita včel v úlu začne klesat.

Obrázek 23 SFD část IV

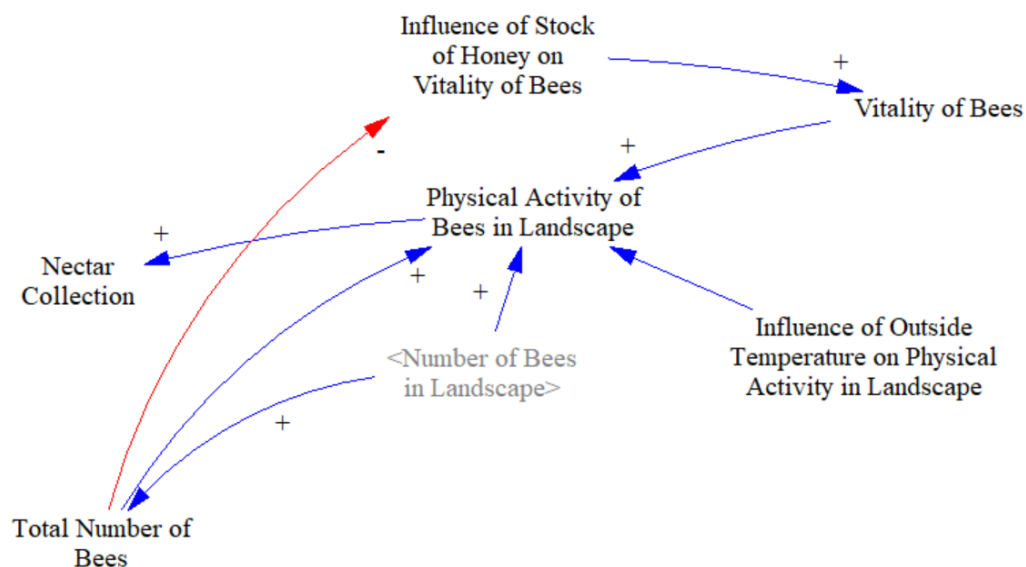


Zdroj: vlastní zpracování

#### 4.3.7 Aktivita včel v krajině

Aktivita včel se neodehrává jen v úlu, ale včely také vylétají do krajiny. Tato skutečnost je v modelu (obrázek 24) vyjádřena proměnnou fyzická aktivita včel v krajině (Physical Activity of Bees in Landscape). Létání včel ven z úlu je ovlivňováno vitalitou včel (Vitality of Bees), tedy jak jsou včely zdravé, dále vlivem venkovní teploty na fyzickou aktivitu (Influence of Outside Temperature on Physical Activity in Landscape), celkovým počtem včel (Total Number of Bees) a počtem včel nacházejících se v krajině (Number of Bees in Landscape). Úroveň fyzické aktivity potom určuje sběr nektaru (Nectar Collection), tedy jak moc jsou včely aktivní, tzn. kolik toho jsou schopny nasbírat.

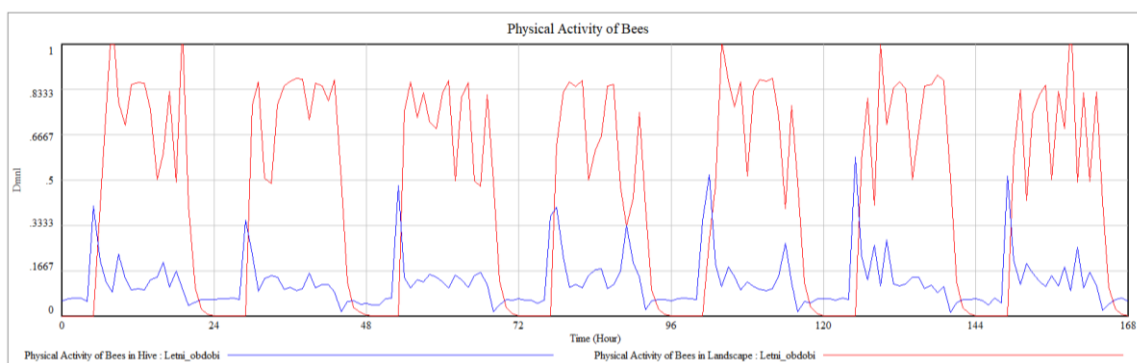
Obrázek 24 SFD část V



Zdroj: vlastní zpracování

V letním období se fyzická aktivita včel v krajině (obrázek 25) odehrává téměř denně. Venkovní teploty dostatečně vysoké pro včely, aby vylétly, a zároveň mají včely k dispozici dostatek nektaru a pylu ke sběru.

Obrázek 25 Fyzická aktivita včel



Zdroj: vlastní zpracování

### 4.3.8 Vytvořený SFD

Jednotlivé části modelu popsané v kapitole 4.4 byly následně spojeny v jeden souhrnný diagram stahů a toků (příloha 1). Vztahy mezi jednotlivými částmi byly následně vyladěny, aby fungovaly v rámci celku, a ne pouze jako samostatné části bez kontextu.

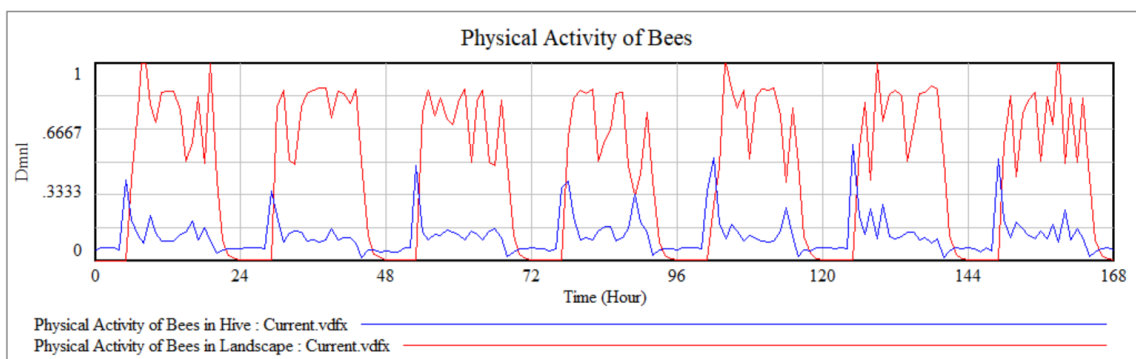
## 4.4 Ověření správnosti modelu

Pro ověření správnosti byla provedena dimenzionální analýza, která spočívá v kontrole rovnic podle jednotek vstupních a výstupních proměnných. Výstup této kontroly potvrdil správnost modelu.

## 4.5 Robustnost modelu

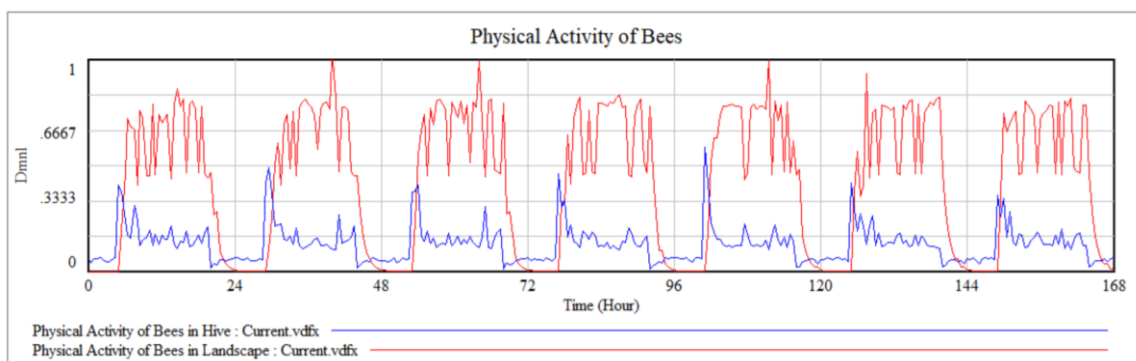
Model je robustní, při změně časového kroku se hodnoty výrazně nezmění, změní se jen jejich četnost. Tento stav je patrný z obrázků 26 a 27, kde proměnná fyzická aktivita včel v krajině (Physical Activity of Bees in Landscape) a fyzická aktivita včel v úlu (Physical Activity of Bees in Hive) je v obou případech během letního období. V případě obrázku 26 se jedná o časový krok 0,5 h a u obrázku 27 byl časový krok nastaven na 0,125 h.

Obrázek 26 Fyzická aktivita při časovém kroku 0,5 h



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 27 Fyzická aktivita při časovém kroku 0,125 h



Zdroj: vlastní zpracování

## 5 Diskuze

Tato bakalářská práce byla tvořena jako součást obsáhlejšího projektu Včelstva online, který probíhá již od roku 2017. Cílem projektu je především pomoci včelařům s digitalizací a modernizací celého oboru. Historie tohoto oboru je velmi dlouhá a některé tradiční postupy se tudíž příliš nemění, přestože technologický pokrok by to již umožňoval. Výrazným posunem směrem k implementaci moderních technologií v posledních letech přinesly úlové váhy, které umožnily revoluci v kontrole včelstev a jejich nejbližšího okolí. Před vyvinutím těchto speciálních vah bylo jen obtížně proveditelné zvážit si celý úl, protože v době snůšky může vážit i více než 120 kg. Takto vysoká hmotnost prakticky vylučuje jakoukoliv manipulaci s úlem, a to nemluvě o stresu jaký by včelstvu otřesy při vážení způsobily. Dnes je však možné s jejich pomocí inovovat celý proces chovu a sledování včel.

V této práci byl navržen model, který by mohl umožnit sledování přírůstku medových zásob z dat o celkové váze úlu. Tato informace by byla užitečná nejenom v průběhu snůšky ke stanovení vhodného období pro odebrání snůšky, ale i pro kontrolu včelstev a jejich zásob v zimě, jak bylo demonstrováno v kapitole 4.3.5 Zásoba medu. Nicméně jak bylo v návrhu popsáno informace o váze by mohly být využity i méně intuitivním způsobem, tj. pro kontrolu vylétání včel do krajiny a jejich návratu, například když se blíží noc. Tato informace by mohla přispět k důkladnějšímu pochopení denních cyklů včel a jejich chování.

Postupným vývojem se funkce úlových vah rozšiřují z původních zařízení zaměřených pouze na měření hmotnosti do podoby multifunkčních přístrojů schopných měřit i parametry jako jsou relativní vlhkost vzduchu a teplotu, snímat prostor jednoduchou kamerou nebo hlídat pozici úlu pomocí GPS sledovače. Teplota a vlhkost, které byly zapracovány do návrhu modelu, mohou také představovat zdroj cenných informací pro včelaře a pro lepší pochopení procesů v úlu. Protože pokud v letních obdobích dochází ke snížení venkovní teploty po dobu několika dnů, tak včely nevlétají ven a konzumují zásoby medu. Zvyšuje se tedy riziko, že je bude nutné dokrmit. Na základě modelu, který byl navržen, by bylo možné stanovit, jak moc je zapotřebí včely dokrmit pro přečkání zimy, pokud je již období po snůšce a med je odebrán. Stejně tak by navržený model mohl být použit k přesnému určení množství medu, které po snůšce pro ponechání dostatečného množství zásob medu na zimu.

Popsané výstupy v případě implementace návrhu modelu do komplexnějšího systému, jaký představují Včelstva online, mohou pozitivně přispět ke usnadnění práce zkušeným včelařům a otevření včelařství novým lidem, kteří by jinak měli obavy z absence zkušeností. Protože po implementaci by model mohli využít k ověření, jak jejich zásah ovlivní celé včelstvo. Případně při automatickém zpracování dat z úlových vah a jejich korelování s dalšími parametry, za pomoci navrženého modelu by mohla být generována doporučení. Tato doporučení by sloužila jako upozornění na potenciální situace, které jako důsledek aktuálně panujícího stavu, mohou nastat.

## 6 Závěr

Celý ekosystém naší přírody je silně provázaný napříč všemi částmi a kdybychom odstranili byť jen tak drobnou součást jako je včela, tak způsobíme nedozírné následky. Proto bylo cílem této práce sestavit model systémové dynamiky, který umožňuje simulaci a pozorování vlivů působících na včelstvo a jeho úživnost v krajině.

V teoretické části je rozebrán chov včel a způsobům, jak měřit a zaznamenávat jejich aktivitu, včetně okolních vlivů, které působí na jejich denní rytmy. Velká pozornost je věnována úlovým váhám s technologií IoT, které jsou příkladným průnikem moderních technologií do tradičního odvětví zemědělství umožňující jeho efektivnější a preciznější provedení. Tyto váhy poskytují cenné informace o vývoji včelstva v průběhu celého roku. Následně tato kontinuálně měřená data mohou být použita pro vytvoření modelu chování včelstva v závislosti na okolních vlivech. Druhá polovina teoretické části je věnována systémové dynamice, popisu modelů obecně a programu pro tvorbu modelů Vensim.

Praktická část se nejdříve zabývá popisem portálu Včelstva online, včetně jeho funkcí a možností, jelikož data z tohoto portálu jsou podkladem pro tvorbu diagramu stavů a toků. Tvorba tohoto diagramu je rozebrána v druhé polovině praktické části. Původní konceptuální model byl revidován a rozšířen o podrobnější souvislosti. Následně byly na základě reálných dat z portálu Včelstva online přidány proměnné a souvislosti vycházející z cyklů a pochodů běžně se vyskytujících v přírodě, jako jsou změny teplot, délka slunečního svitu apod.

Byl vytvořen návrh dynamického modelu trofické aktivity včel na základě konceptuálního modelu obsahující souvislosti s úživností krajiny. Tento návrh vytváří základ, který by měl být v budoucnu validován na reálných datech a implementován do portálu Včelstva pro přispění k preciznějšímu zemědělství.

## 7 Seznam použitých zdrojů

Bee In Contact RC1. Sigfox Partner Network: The IoT solution book [online].  
Dostupné z: <https://partners.sigfox.com/products/bee-in-contact>

ČERMÁK, Květoslav a Karel SLÁDEK, 2016. Ekologie chovu včel. Červený Kostelec: Pavel Mervart. ISBN 978-80-7465-215-8.

DECOURTYE, Axel, Eric MADER a Nicolas DESNEUX, 2010. Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie*. 41(3), 264-277. ISSN 0044-8435. Dostupné z: doi:10.1051/apido/2010024

DROR, Ron O., Robert M. DIRKS, J.P. GROSSMAN, Huafeng XU a David E. SHAW, 2012. Biomolecular Simulation: A Computational Microscope for Molecular Biology. *Annual Review of Biophysics*. 41(1), 429-452. ISSN 1936-122X. Dostupné z: doi:10.1146/annurev-biophys-042910-155245

FORRESTER, J W, 1961. *Industrial Dynamics*. Cambridge: MA: The MIT Press. ISBN 0262560011.

FORRESTER, J W, 2000. *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*. USA: McGraw-Hill Higher Education. ISBN 0-07-231135-5.

HOLČÍK, J. a M. KOMENDA, 2015. *Matematická biologie: e-learningová učebnice* [online]. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-8095-9. Dostupné z: <http://portal.matematickabiologie.cz/>

HOLČÍK, Jiří, 2012. *Analýza a klasifikace dat*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-7204-793-2.

HŘEBÍČEK, Jiří a Michal ŠKRDLA, 2006. *Úvod do matematického modelování* [online]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/podzim2007/Bi3101/um/skripta.pdf>

KAMLER, František, 2016. *Správná praxe v chovu včel. 2., doplněné vydání*. Dol: Výzkumný ústav včelařský. ISBN 978-80-87196-21-2.

MEADOWS, D H. -- WRIGHT, D. *Thinking in systems : a primer*. White River Junction, Vt.: Chelsea Green Pub., 2008. ISBN 978-1-60358-055-7.

ProBee [online], 2017. Plzeň. Dostupné z: <https://www.probee.cz/>

ŠMÍDKOVÁ, Jitka, 2019. *Využití ICT nástrojů pro chov včel a prodej medu v regionu*. Praha. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita.

Včelstva online [online]. Dostupné také z: <https://vcelstva.czu.cz/>

Vensim [online], 2015. Dostupné také z: <https://vensim.com/>



VESELÝ, Vladimír, 2003. Včelařství. Praha: Brázda. ISBN 80-209-0320-8.

## **8 Přílohy**

Příloha 1: Návrh diagram stavů a toků trofické aktivity včel.....	51
---	----

Příloha 1: Návrh diagram stavů a toků trofické aktivity včel

