

# Šíření hnědých kobylek na rozsáhlém území

Simulační studie - projekt do předmětu IMS

Vedoucí: Petr Kolouch (xkolou05@vutbr.cz)

Marek Havel (xhavel46@vutbr.cz)

Prosinec 2023

# Obsah

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod</b>   | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>Fakta</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1      | Mapový podklad . . . . .  | 3         |
| 2.2      | Účinnost pesticidů na BPH . . . . .   | 4         |
| 2.3      | Účinnost přirozených nepřátel na BPH . . . . .                                    | 4         |
| 2.4      | Schopnost migrace BPH . . . . .   | 4         |
| <b>3</b> | <b>Koncept a implementace</b>   | <b>5</b>  |
| 3.1      | Diskretizace času a prostoru . . . . .  | 5         |
| 3.2      | Abstrakce Stav . . . . .  | 5         |
| 3.3      | Přechodová pravidla modelu . . . . .  | 5         |
| 3.3.1    | Přechodové pravidlo s efektem přirozených nepřátel . . . . .                      | 6         |
| 3.3.2    | Přechodové pravidlo s efektem pesticidů . . . . .                                 | 6         |
| 3.3.3    | Přechodové pravidlo s efektem migrace . . . . .                                   | 6         |
| 3.4      | Implementace . . . . .  | 6         |
| 3.4.1    | Parser . . . . .  | 6         |
| 3.4.2    | Grid . . . . .  | 7         |
| 3.4.3    | Ward . . . . .  | 7         |
| 3.4.4    | Spouštění simulace . . . . .  | 7         |
| 3.4.5    | Vizualizace . . . . .   | 8         |
| 3.4.6    | Úprava pluginu v QGIS . . . . .   | 8         |
| 3.5      | Flow diagram . . . . .  | 9         |
| <b>4</b> | <b>Experimenty</b>  | <b>10</b> |
| 4.1      | Experiment A - Rozptyl BPH s působením přirozených nepřátel . . . . .             | 11        |
| 4.2      | Experiment B - Rozptyl BPH s působením pesticidů . . . . .                        | 12        |
| 4.3      | Experiment C - Rozptyl BPH s působením přirozených nepřátel a pesticidů . . . . . | 13        |
| 4.4      | Experiment D - Působení nepřátel na BPH . . . . .                                 | 15        |
| 4.5      | Experiment E - Působení pesticidů na BPH . . . . .                                | 15        |
| <b>5</b> | <b>Závěr</b>  | <b>16</b> |
|          | <b>Literatura</b>   | <b>17</b> |

# Kapitola 1

## Úvod

Hnědá kobylka (běžně zkracovaná jako BPH - brown planthopper) je hmyz, který v Asii absorbuje živiny z vegetace, zejména ze zemědělských plodin. Tento nedostatek má silný vliv na výnos rýžových polí, proto je včasná aplikace pesticidů klíčová. Na nebezpečnost BPH má vliv také výskyt přirozených nepřátel a míra migrace.

Pesticidy nejsou dokonalým řešením a jejich účinnost se mění v čase, takže farmářům často nestačí základní intuitivní představa a situaci je potřeba modelovat komplexněji.

Na základě těchto předpokladů lze sestavit celulární automat (CA), a pomocí něj předvídat jednak jejich šíření, jednak jejich úmrtnost po aplikaci pesticidů.

Na základě doporučení pana doktora Hrubého jsme se rozhodli validovat a verifikovat práci třetí strany. Jako vzor jsme zvolili práci *Simulating the spreading of brown plant hoppers based on cellular automata* od kolektivu autorů, který vedl *Hiep Xuan Huynh* [2]. Práce se zabývá předpovědí vývoje množství BPH na polích v okolí města Can Tho. Jakožto základ pro simulaci používají data z průletových a průchodových senzorů, pomocí kterých detekují BPH a jejich nepřátele.

# Kapitola 2

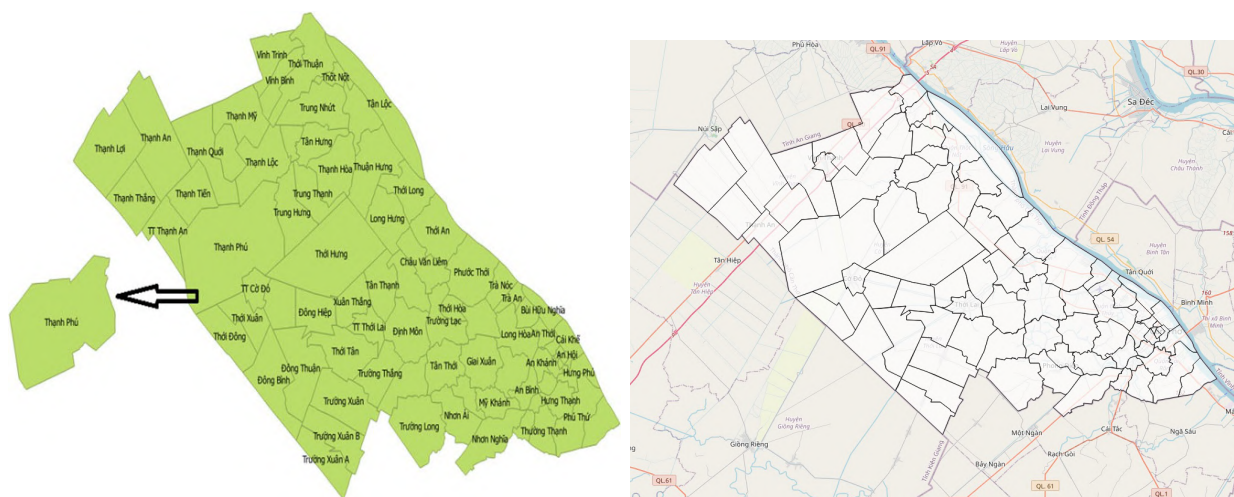
## Fakta

### 2.1 Mapový podklad

Základem pro úspěšnou reimplementaci je získat srovnatelný mapový podklad. Během posledních tří let se kvůli pandemii ocitlo velké množství expertů přes geologii doma a nemělo co dělat. Část z nich strávila svůj volný čas tvorbou podkladů do projektu OpenStreetMap, který jsme použili jako zdroj podkladové mapy, mapy hranic okrsků (ward) i plochy jednotlivých okrsků, které původní model i jeho reimplementace používají jako jeden z parametrů při výpočtech úbytku.

Standardní mapy OSM lze použít jako pozadí, ale mají zásadní problém - neobsahují hranice krajů, okresů ani okrsků. Pro tento účel jsme využili nástroj <https://osm-boundaries.com/Map>, který specificky generuje mapu okresů a okrsků až do vrstvy 13 a umožňuje její stažení.

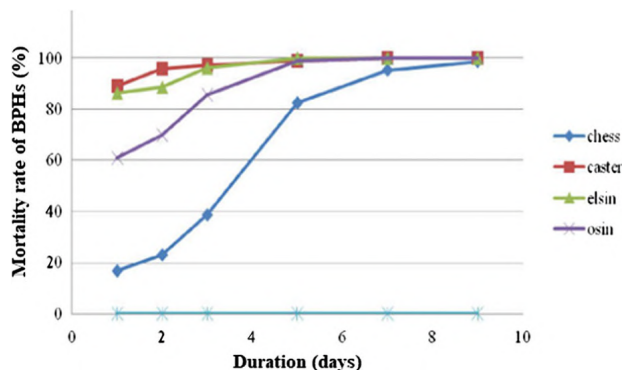
Na základě vizuálního srovnání (2.1) naší mapy s originálem lze objevit drobné nesrovnalosti - Vietnamská vláda v posledních 20 letech začala aktivně upravovat minimální a maximální velikosti okrsků vzhledem k počtu obyvatel, což má za následek rozdělování okrsků. V prvním datovém zdroji, který jsme si vybrali, jich bylo výrazně méně, v aktuálním datovém zdroji je situace srovnatelná, zejména na oblastech, ze kterých se BPH začínají šířit.



Obrázek 2.1: Srovnání originální mapy [2] s reimplementací

Pro zpracování dat využíváme implementace systému GIS (Geografický informační systém) - konkrétně implementaci QGIS.

## 2.2 Účinnost pesticidů na BPH



Obrázek 2.2: Úmrtnost BPH po aplikaci pesticidu [2]

Vzorová práce pro účinnost pesticidů používá data z grafu 2.2. Data jsem ověřoval prohledáváním vědeckých publikací. Našel jsem knihu *Manual for testing insecticides on rice* od autora *Elvis Arden Heinrichs* a kol. [1, strana 80] který pro čtyři různé pesticidy ukazuje hodnoty, které po seřazení od nejmenšího po největší zhruba odpovídají obrazu, který lze sledovat na grafu. Používají také čtyři různé pesticidy, a některé jsou více, některé méně úspěšné.

## 2.3 Účinnost přirozených nepřátel na BPH

Jeden z procesů ve vzorové práci využívá účinnost přirozených nepřátel na likvidaci BPH. Samotná práce požadovanou hodnotu vůbec nezmiňuje, museli jsme si ji tedy najít sami. Našel jsem článek *Effectiveness of Brown Planthopper Predators: Population Suppression by Two Species of Spider* od autora *Visarto Preap* a kol. [3], který tvrdí, že během patnácti dnů měli pavouci 100% úspěšnost při poměru pavouk : BPH 1 : 5 až 1 : 14, úspěšnost klesala až při poměrech okolo 1 : 18.

Na základě těchto informací jsme rozhodli, že průměrný predátor spotřebuje mezi 0 a 2 BPH denně.

## 2.4 Schopnost migrace BPH

Poslední zásadní fakt na vstupu do modelu je schopnost migrace. Vědecká zpráva, kterou se inspi-rujeme, považuje letové schopnosti BPH za fakt, a nijak je nevaliduje.

Našel jsem článek *Predicting Windborne Displacements of the Brown Planthopper* od autorů *L. J. Rosenberg* a *J. I. Magor* [4]. Ve článku zmiňují, že za optimálních větrných podmínek uletí až 750 km, při horších větrných podmínkách spíše 100 km, zásadní je povšimnout si, že se bavíme o horizontu 10 - 15 dnů. Denně tak maximálně uletí 10 - 75 km, se silným zatížením k nižším hodnotám, kvůli povětrnostním vlivům a dalším aktivitám.

Tato informace je pro nás užitečná - není tedy pravděpodobné, že by BPH během jednoho regulačního cyklu byly schopny uletět přes více než dva větší okrsky.

# Kapitola 3

## Koncept a implementace

### 3.1 Diskretizace času a prostoru

Pro jednodušší srovnání reimplementace s originálem jsme ponechali původní metodu: čas je simulován po dnech a všechny vzorce jsou tomu uzpůsobeny, prostor je rozdělen na okrsky, viz 2.1

### 3.2 Abstrakce Stav

V některých procesech se lze setkat s abstrakcí zvanou stav  $S$ , která má za úkol obalit množství na jednotku prostoru a poskytnout zjednodušený pohled na situaci. Přesnou definici úrovní obsahuje tabulka 3.1. Dále tuto abstrakci využívá vizualizace formou podbarvení dlaždic na mapě.

| Stav | Úroveň napadení    | Množství $BPH/m^2$ | Barva původní | Barva reimplementace |
|------|--------------------|--------------------|---------------|----------------------|
| 0    | <i>nemáme data</i> | 0                  |               |                      |
| 1    | Standardní stav    | $< 500$            |               |                      |
| 2    | Mírná              | 500 – 1499         |               |                      |
| 3    | Střední            | 1500 – 2999        |               |                      |
| 4    | Vysoká             | 3000 – 9999        |               |                      |
| 5    | Velmi vysoká       | $> 9999$           |               |                      |

Tabulka 3.1: Abstrakce stav a její mapování na barvy

### 3.3 Přejchodová pravidla modelu

Model implementovaný podle vzoru má tři základní procesy:

- Proces přirozených nepřátel  $s_{i,t+1} = I_1 = f(v_{i,t+1})$
- Proces efektu pesticidů  $s_{i,t+1} = I_2(s_{i,t}) = f(v_{i,t+1})$
- Proces migrace BPH v prostoru  $s_{i,t+1} = I_3(s_{1,t}, s_{2,t}, s_{3,t}, s_{4,t}, s_{5,t}, s_{6,t}, s_{7,t}, s_{8,t}, s_{9,t})$

### 3.3.1 Přechodové pravidlo s efektem přirozených nepřátel

Hodnota  $v_{i,t+1}$  závisí na třech faktorech:

- hustota BPH okrsku  $I_1$  v čase  $t$
- plocha sousedních okrsků
- počet přirozených nepřátel na metru čtverečním sousedních okrsků v čase  $t$

$v_{i,t+1}$  je definován následovně:

$$v_{i,t+1} = v_{i,t} - e_{i,t} * r(0, n)$$

kde

- $v_{i,t}$  je hustota BPH okrsku  $i$  v čase  $t$
- $r(0, n)$  určuje počet sněžených BPH přirozenými nepřáteli v jednom dni; hodnota se pohybuje v rozmezí 0 až  $n$  (v našem případě 0 až 2)
- $e_{i,t}$  je počet přirozených nepřátel na metru čtverečním, který se nachází na okrsku  $w_i$  v čase  $t$ .  $e_{i,t}$  se počítá následujícím způsobem:

$$e_{i,t} = \frac{(a_{sni} * e_{sni,t})}{a_i}$$

kde

- $e_{sni,t}$  je počet přirozených nepřátel na metru čtverečním na okrsku  $w_{sni}$  v čase  $t$  a  $e_{sni,t} = \max(e_{2,t}, e_{3,t}, e_{4,t}, e_{5,t}, e_{6,t}, e_{7,t}, e_{8,t}, e_{9,t})$ , tudíž  $sni$  je jedna z hodnot 2, 3, ..., 9 a  $w_{sni}$  nabývá hodnoty největšího počtu přirozených nepřátel na metru čtverečním v čase  $t$ .
- $a_{sni}$  je plocha  $w_{sni}$
- $a_i$  je plocha okrsku  $w_i$ .

### 3.3.2 Přechodové pravidlo s efektem pesticidů

Hodnota  $v_{i,t+1}$  okrsku  $w$  v tomto případě závisí na stavu v čase  $t$  a úmrtnosti BPH  $r_{i,t+1}$  v čase  $t+1$ .  $v_{i,t+1}$  se počítá následovně:

$$v_{i,t+1} = v_{i,t} * (1 - r_{i,t+1})$$

### 3.3.3 Přechodové pravidlo s efektem migrace

$s_{i,t+1}$  se počítá následovně:  $s_{i,t+1} = \Delta(\sum_{i=1}^m s_{i,t})$ , kde  $s_{i,t} > 0$  a  $m \leq 9$ .

## 3.4 Implementace

### 3.4.1 Parser

Vstupní data pro náš model jsou uložena jako csv dokument, který uchovává oblasti včetně jejich vstupních informací. Pro účel práce s tímto dokumentem byla implementována třída Parser, která obsahuje jedinou statickou metodu, a to pro transformaci vstupního souboru na vektor instancí třídy Ward, který je dále vstupem pro vytvoření instance gridu.

### 3.4.2 Grid

Úkolem gridu v CA simulacích je simulovat mapu oblastí, která dovoluje přechod mezi stavy vlivem stavů samotných buněk a jejich sousedností. V našem případě pracujeme s n-dimenzionálními mapovými oblastmi, a tak bylo nutné grid koncipovat odlišně, nežli pomocí dvou dimenzí. Pro naši simulaci slouží grid jako kontejner pro jednotlivé buňky (oblasti), a tak jsme zvolili mapu, kde klíčem je ID této oblasti a hodnotou je instance třídy Ward (popsaná v následující sekci). Tato koncepce nám dovoluje iterovat skrze všechny oblasti a provádět nad ní hromadné operace, jako například krok samotné simulace, ukládání stavu v daném čase do výstupního souboru.

### 3.4.3 Ward

Ward reprezentuje jednu reálnou oblast a uchovává následující vlastnosti v daném čase:

- identifikátor
- jméno oblasti
- velikost oblasti
- počet nepřátel na metru čtverečním
- úmrtnost
- populace na metru čtverečním
- vektor sousedících oblastí
- stav v daném čase

Dále obsahuje metody pro přechod mezi stavy pro jednotlivá přechodová pravidla.

### 3.4.4 Spouštění simulace

Před samotným spuštěním je třeba program zkompileovat pomocí příkazu `make`. Následně je možné realizovat simulaci, která se spouští následovně: `./ca_simulation -s steps [-1] [-2] [-3]`, kde argumenty jsou následující:

- `-s` = počet kroků simulace
- `-1` indikuje použití prvního pravidla přechodu (přirození nepřátelé)
- `-2` indikuje použití druhého pravidla přechodu (pesticidy)
- `-3` indikuje použití třetího pravidla přechodu (migrace)



### 3.4.5 Vizualizace

Vizualizace probíhá pomocí python scriptu, kde probíhá načtení výstupů z modelu simulace a zobrazení jednotlivých stavů oblastí pro daný čas na mapě, která se exportuje ve formátu HTML dokumentu.

Před spuštěním vizualizace je potřeba nainstalovat balíčky pro Python pomocí příkazu `pip install -r requirements.txt` (je třeba se nacházet ve složce `src` v repozitáři projektu). Následně stačí pouze spustit script pro vizualizaci pomocí příkazu `python visualization.py`.

Jednotlivé HTML výstupy se nachází ve složce `/output`.

### 3.4.6 Úprava pluginu v QGIS

Po spuštění QGIS vstoupíme do sekce `Plugins - Manage and Install Plugins - All - QNeighborhood` a plugin nainstalujeme. Po instalaci v podrobnostech pluginu klikneme na hodnotu u řádku `Installed version`.

Ve složce otevřeme soubor `neighborhood.py`, na začátek řádků 261, 265 a 279 vložíme znak `#` - komentář, a poté na řádek 266 vložíme následující kód, včetně odsazení:

```
out_text = ""
for geom in self.cLayer.getFeatures():
    out_text += str(geom.attribute(self.features[0].fieldNameIndex(cField)))
    for f in self.cLayer.getFeatures():
        if f != geom:
            if (geom.geometry().touches(f.geometry())) == True:
                out_text += ", "
                out_text += f[cField]
    out_text += "\n"

self.dlg.txtNeighborhood.appendPlainText(out_text)
```

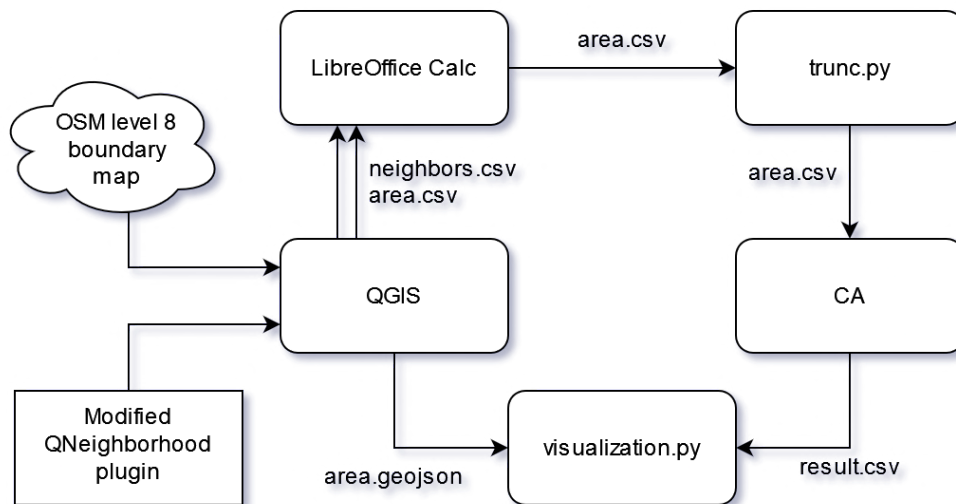
Po úpravě program restartujte, označte jeden okrsek, a pro všechny okrsky v rámci vybrané vrstvy se vypíše seznam sousedů.

## 3.5 Flow diagram

Příprava celé simulace probíhá zhruba následovně:

- Stažení level 8 administrative mapy z OSM-Boundaries
- Přidání vlastnosti area okrskům pomocí QGIS
- Export CSV s okrsky z QGISu
- Export GeoJSON s mapou okrsků pomocí QGIS
- Úprava pluginu QNeighbor pro QGIS, export dat o sousedství
- Sloučení souborů (ručně pomocí Libreoffice, následná oprava CSV)
- spuštění CA proti sloučenému CSV
- vizualizace pomocí `visualization.py`

Stejný princip je popsán také na diagramu 3.1.



Obrázek 3.1: Průběh simulace - datový model

# Kapitola 4

## Experimenty

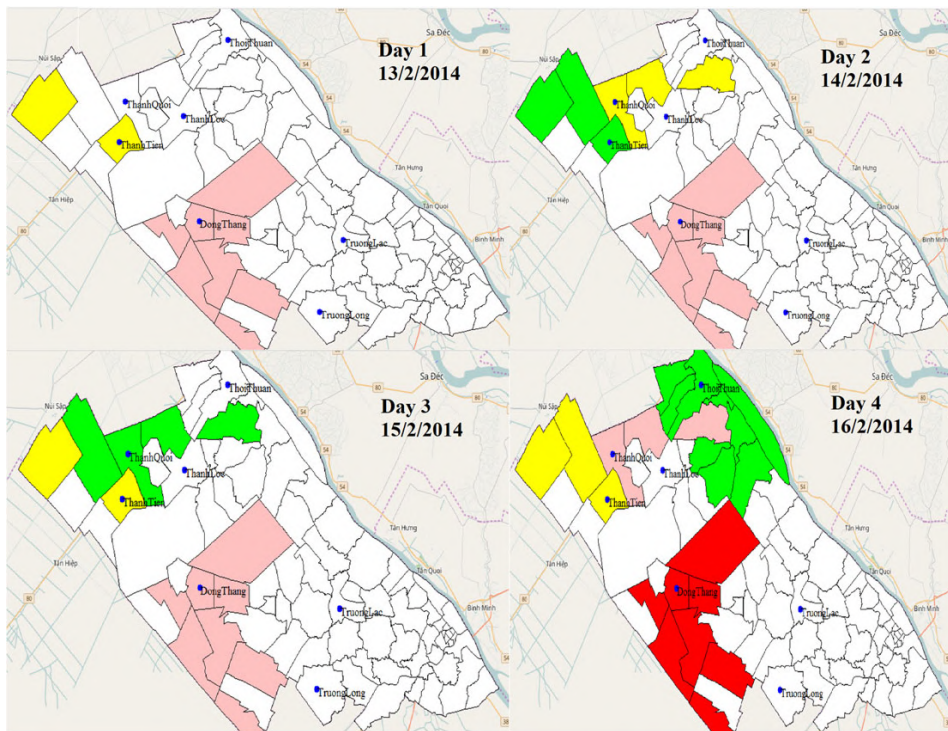
Referenční článek používá stejná data pro všechny pokusy - viz tabulka 4.1.

| Okrsek      | BPH/ $m^2$ | nepřátelé/ $m^2$ | Typ pesticidu<br>(aplikován pouze v některých pokusech) |
|-------------|------------|------------------|---|
| Thanh Quoi  | 322        | 47               | Chess 50 WP   |
| Thoi Thuan  | 66         | 28               | Chess 50 WP   |
| Thanh Tien  | 1510       | 41               | Chess 50 WP   |
| Thanh Loc   | 215        | 160              | Chess 50 WP   |
| Dong Thang  | 70000      | 0                | Chess 50 WP   |
| Truong Lac  | 22         | 14               | Chess 50 WP   |
| Truong Long | 0          | 0                | Chess 50 WP   |

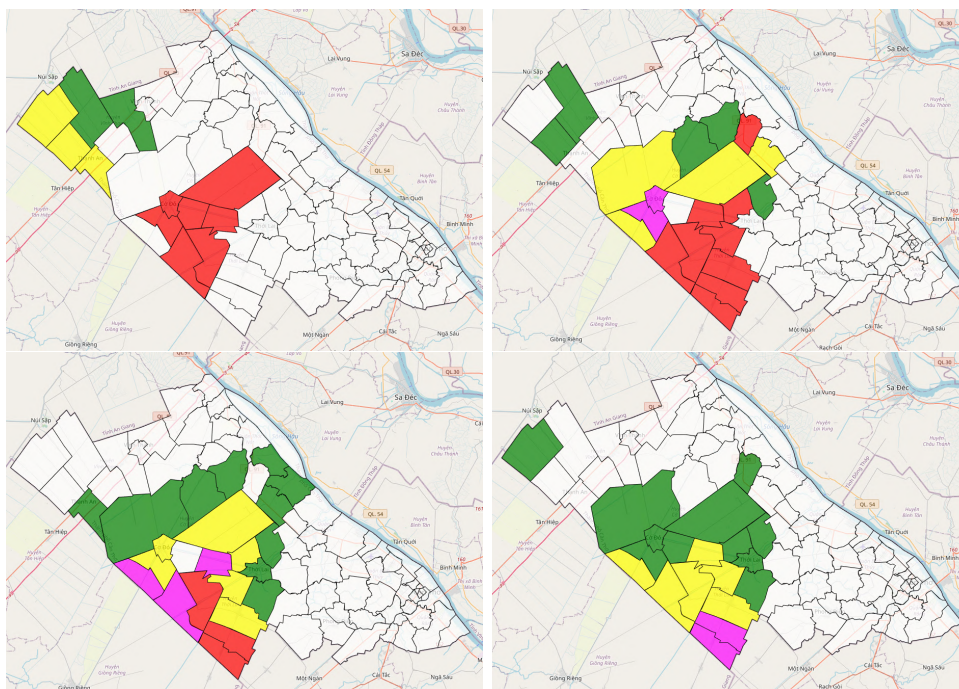
Tabulka 4.1: vstupní data - společná pro všechny simulace (viz zdrojový projekt [2])

Nachystané soubory `.geojson` a `.csv` lze najít ve složce `/data`

#### 4.1 Experiment A - Rozptyl BPH s působením přirozených nepřátel



Obrázek 4.1: Experiment A - rozptyl + přirození nepřátelé (originál)



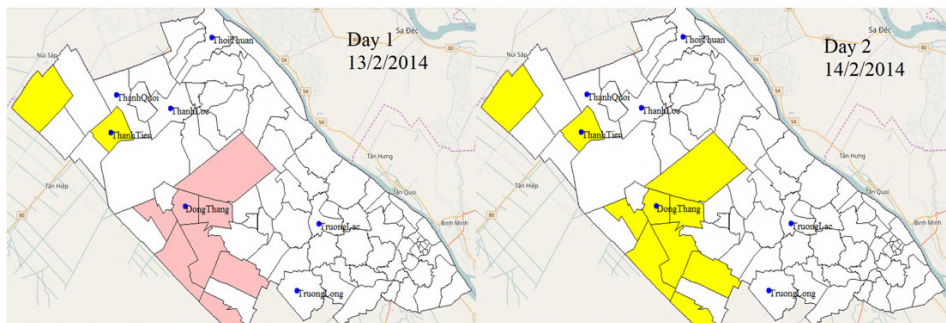
Obrázek 4.2: Experiment A - rozptyl + přirození nepřátelé (reimplementace)

Z prvního experimentu je patrných hned několik věcí.

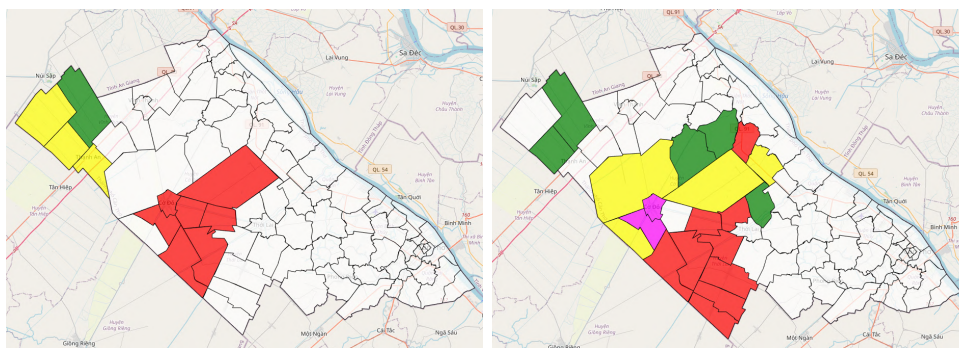
První patrný jev je, že algoritmus šíření se nechová optimálně. Implementován je přesně podle popisu výše, který jsme převzali z původního článku, nicméně i pro větší množství pokusů se nám šíření chová výrazně jinak než autorům původního článku. Nápadný je také fakt, že ačkoliv množení v tomto modelu nikde zahrnuto není, ve zdrojovém papíru došlo k výraznému zvýšení výskytu BPH. V důsledku došlo ke zvýšení i v reimplementaci modelu, jen ve značně nižší míře.

Druhý patrný jev je, že po několika krocích dojde k vyprázdnění zdrojové buňky, nezávisle na tom, jestli v ní je hustota 1500 nebo 70000 BPH/ $m^2$ .

## 4.2 Experiment B - Rozptyl BPH s působením pesticidů



Obrázek 4.3: Experiment B - rozptyl + pesticidy (originál)



Obrázek 4.4: Experiment B - rozptyl + pesticidy (reimplementace)

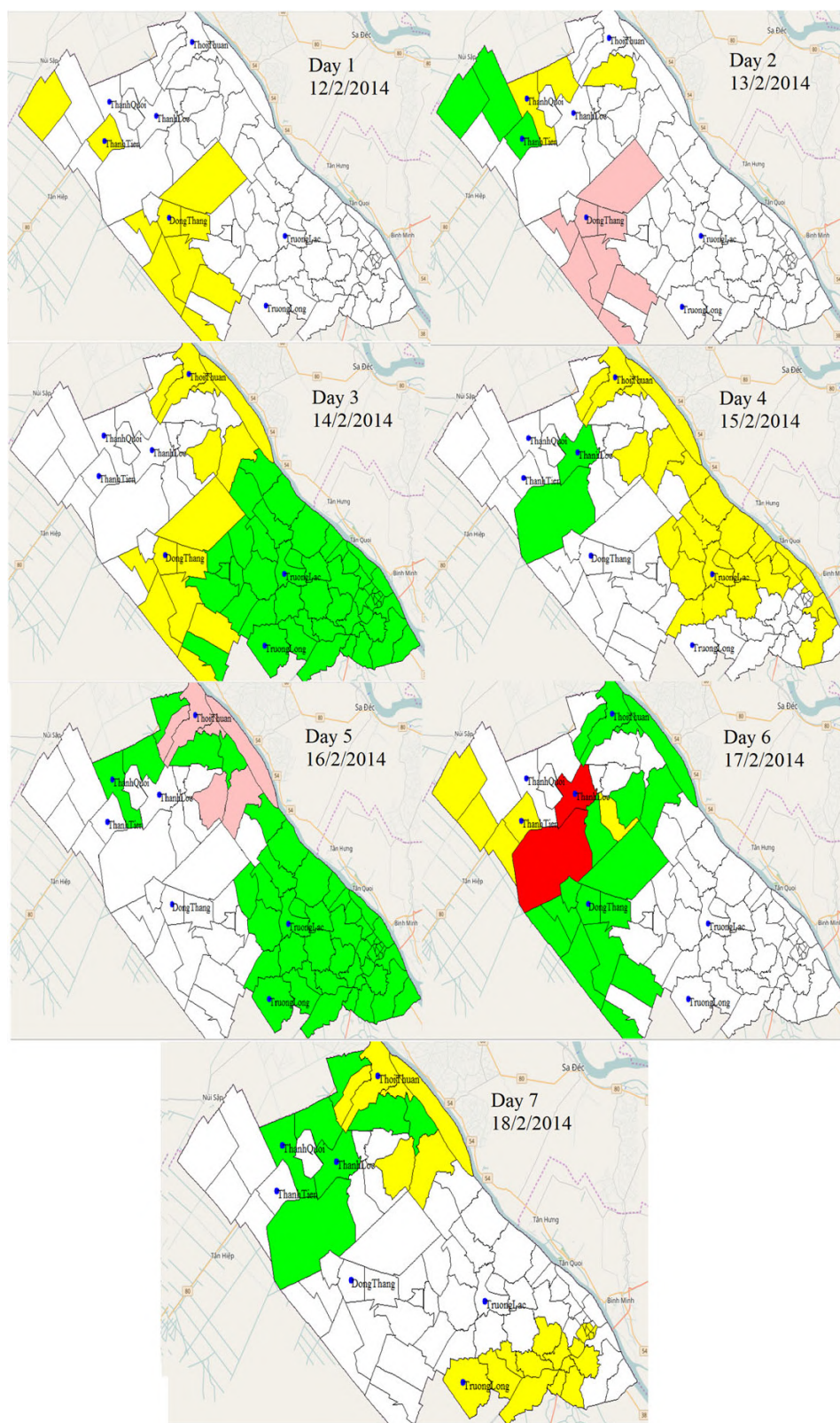
Druhý experiment je také nápadně odlišný od originálu.

Opět došlo k vyprázdnění zdrojové buňky - takže lze předpokládat, že tato chyba vychází z procesu rozptylu, což je jediný společný proces pro experimenty A a B.

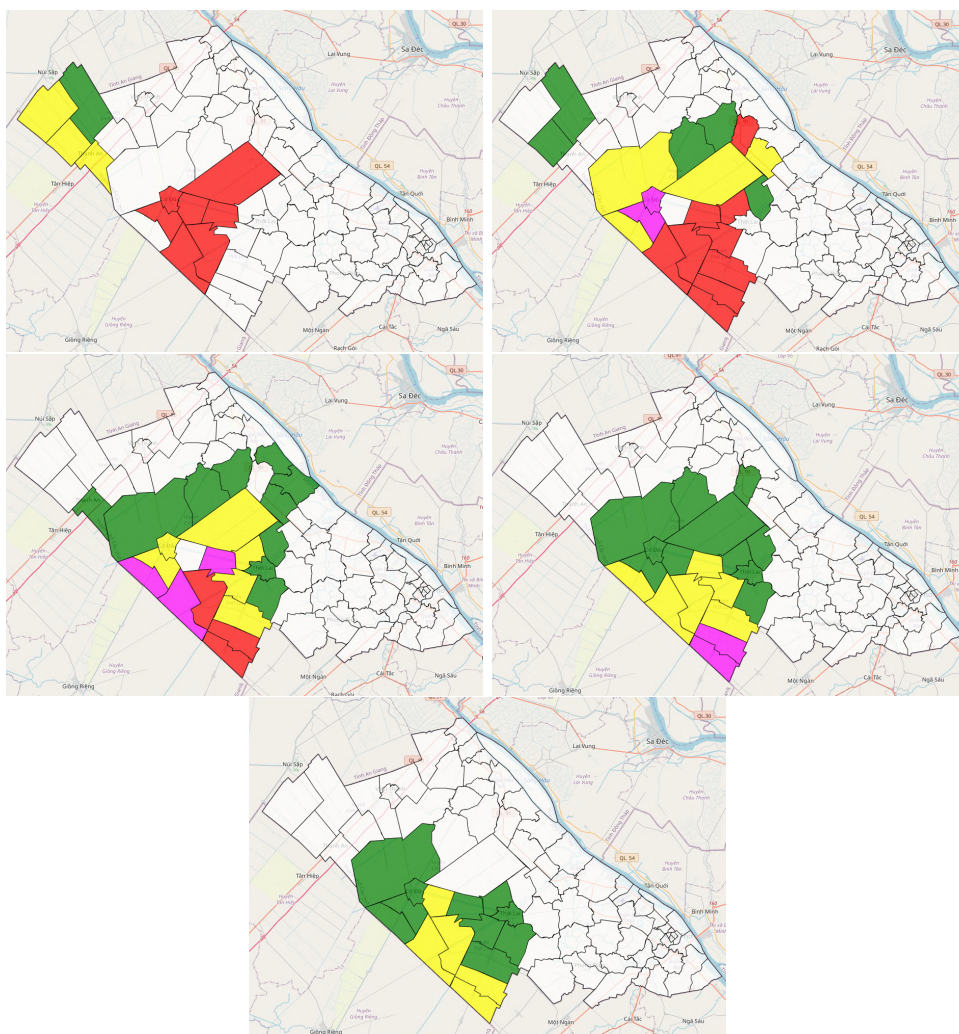
Při pohledu na severozápadní okrsky lze usoudit, že pesticidy úspěšně snižují stávající populaci. Tomuto faktu se blíže věnuje experiment D.



### 4.3 Experiment C - Rozptyl BPH s působením přirozených nepřátel a pesticidů



Obrázek 4.5: Experiment C - rozptyl + pesticidy + přirození nepřátelé (originál)



Obrázek 4.6: Experiment C - rozptyl + pesticidy + přirození nepřátelé (reimplementace)

Experiment C je poslední experiment, který provádím přesně podle referenčního. I v naší zkrácené simulaci je jasně nápadné, že referenční model a jeho reimplementace se chovají značně odlišně. Vypadá to že hlavním důvodem je pravidlo pro rozptyl, proto zavádím dva vlastní experimenty, abych tuto teorii ověřil.

## 4.4 Experiment D - Působení nepřátel na BPH

| Oblast      | BPH/ $m^2$ | nepřátelé/ $m^2$ | výsledky z vybraných iterací |       |       |       |       |       |       |
|-------------|------------|------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Iterace     |            |                  | 1                            | 2     | 3     | 4     | 6     | 10    | 16    |
| Thanh Quoi  | 322        | 47               | 322                          | 322   | 322   | 160   | 0     | 0     | 0     |
| Thoi Thuan  | 66         | 28               | 66                           | 66    | 66    | 66    | 66    | 66    | 66    |
| Thanh Tien  | 1510       | 41               | 1510                         | 1366  | 1366  | 1222  | 1150  | 1078  | 646   |
| Thanh Loc   | 215        | 160              | 215                          | 215   | 215   | 169   | 123   | 0     | 0     |
| Dong Thang  | 70000      | 0                | 70000                        | 70000 | 70000 | 70000 | 70000 | 70000 | 70000 |
| Truong Lac  | 22         | 14               | 22                           | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    |
| Truong Long | 0          | 0                | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

Tabulka 4.2: Experiment D - působení nepřátel na BPH

V tomto experimentu zkouším pouze funkcionalitu procesu působení nepřátel. Vypadá to že je původními autory špatně definován - úbytek BPH v konkrétní buňce je závislý pouze na výskytu BPH v sousedních buňkách, a nikoliv na buňce samotné. Přitom však právě osamocená buňka může být jediným zdrojem informace o úmrtnosti na základě působení nepřátel, takže nedává smysl ji v rámci tohoto algoritmu ignorovat.

Pokud hodnota v alespoň jedné okolní buňce není 0, úspěšně se aplikuje.

## 4.5 Experiment E - Působení pesticidů na BPH

| Oblast      | BPH/ $m^2$ | výsledky z vybraných iterací |       |       |       |      |      |     |   |
|-------------|------------|------------------------------|-------|-------|-------|------|------|-----|---|
| Iterace     |            | 1                            | 2     | 3     | 4     | 5    | 6    | 7   | 8 |
| Thanh Quoi  | 322        | 254                          | 191   | 134   | 84    | 43   | 14   | 1   | 0 |
| Thoi Thuan  | 66         | 52                           | 39    | 27    | 17    | 8    | 2    | 0   | 0 |
| Thanh Tien  | 1510       | 1156                         | 846   | 576   | 349   | 172  | 56   | 4   | 0 |
| Thanh Loc   | 215        | 163                          | 118   | 79    | 47    | 22   | 7    | 0   | 0 |
| Dong Thang  | 70000      | 55629                        | 42322 | 30057 | 19078 | 9962 | 3529 | 366 | 0 |
| Truong Lac  | 22         | 17                           | 12    | 8     | 5     | 2    | 0    | 0   | 0 |
| Truong Long | 0          | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0   | 0 |

Tabulka 4.3: Experiment E - působení pesticidů na BPH

Pro tento experiment byly použity hodnoty pro pesticid **Chess 50 WP**. Na experimentu je dobře vidět, jak pesticidy postupně zabíjejí větší a větší část BPH.

Hodnoty na výstupu simulovaného procesu 2 odpovídají faktům ze sekce 2.2.



# Kapitola 5

## Závěr

Zjistili jsme, že zpráva, podle které jsme se rozhodli reimplementoval model, nedostatečně nebo nesprávně vysvětluje jednotlivé procesy.

Experiment D potvrdil teorii objevenou při implementaci rovnic ve zdrojovém dokumentu - proces působení nepřátel nebere v potaz počet nepřátel v okrsku, pouze v jeho okolí, takže se výskyt nepřátel v izolovaném okrsku vůbec neprojeví (v okrsku nepřátelé jsou, v okolí ne  $\rightarrow$  počet BPH se nemění). Podle nás jde o nevhodnou implementaci této rovnice, a navrhujeme zahrnout i stav okresu samotného.

Experimenty A, B a C odhalily, že proces migrace BPH implementovaný podle referenční simulací zprávy vytváří nesmyslné hodnoty. Velká množství BPH se náhodně objevují a mizí, jejich množství neodpovídá očekávání - dokonce lze dojít k závěru, že podobně nesmyslné hodnoty jsou obsažené i v původním modelu - v experimentu A mezi dny 3 a 4 dojde ke zdvojnásobení počtu BPH, přestože v modelu nárůst není nijak obsažen. Tento fakt navíc nebyl zřejmý na první pohled, řádně jsme si jeho význam uvědomili až při testování naší implementace.

Navrhují řešit tento problém výpočtem části hmyzu, která bude migrovat, a následným rozložením této části do okolních okrsků, s přiděly úměrnými buďto jejich ploše, nebo délce společné hrany. Tuto informaci lze získat z GIS softwaru. Pro ladění množství, které bude migrovat, lze zavést násobič pro libovolnou stranu - zbytek bude umístěn do strany druhé. (vnějšek / vnitřek)

Pokus o implementaci této metody selhal na nevhodně navrženém datovém modelu (nevhodně zvolených datových typech), který nezohledňoval tyto požadavky.

Proces působení pesticidu na BPH, po srovnání s hodnotami na vstupu, zdá se býti validní.

Vzorový model popsaný referenční zprávou má zásadní vady, zdá se, že nedává v jistých ohledech smysl. Z informací, které obsahuje referenční zpráva, a poučeného odhadu hodnot chybějících, se nám nepodařilo spolehlivě replikovat výsledky uvedené ve zprávě, s výjimkou modelu působení pesticidů na BPH.

# Literatura

- [1] HEINRICHS, E., CHELLIAH, S., VALENCIA, S., ARCEO, M., FABELLAR, L. et al. *Manual for testing insecticides on rice*. 1981. 134 s.
- [2] HUYNH, H. X., LU, Q. T., ONG, L. M. T., LUONG, H. H. a PHAN, L. P. Simulating the spreading of brown plant hoppers based on cellular automata. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. 2021, sv. 33, č. 2, s. e5261. DOI: <https://doi.org/10.1002/cpe.5261>. e5261 cpe.5261. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cpe.5261>.
- [3] PREAP, V., ZALUCKI, M. P., JAHN, G. C. a NESBITT, H. J. Effectiveness of Brown Planthopper Predators: Population Suppression by Two Species of Spider, *Pardosa pseudoannulata* (Araneae, Lycosidae) and *Araneus inustus* (Araneae, Araneidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 2001, sv. 4, č. 2, s. 187–193. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1226-8615\(08\)60122-3](https://doi.org/10.1016/S1226-8615(08)60122-3). ISSN 1226-8615. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226861508601223>.
- [4] ROSENBERG, L. J. a MAGOR, J. I. Predicting Windborne Displacements of the Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* from Synoptic Weather Data. 1. Long-Distance Displacements in the North-East Monsoon. *Journal of Animal Ecology*. [Wiley, British Ecological Society]. 1987, sv. 56, č. 1, s. 39–51. ISSN 00218790, 13652656. Dostupné z: <http://www.jstor.org/stable/4798>.