



# Modelování a simulace

## **Epidemiologické modely pomocí celulárních automatů**

Tým xmorav41

Moravčík Tomáš (xmorav41)

Jaromír Homolka (xhomol21)

# Obsah

1. Úvod.....	2
1.1 Autor, zdroje.....	2
1.2 Ověření validity.....	2
2. Rozbor tématu a použitých metod/technologií.....	2
2.1 Použité postupy .....	4
2.2 Popis původu technologií/metod.....	4
3. Koncepce - modelářská témata/ implementační témata .....	5
3.1 Konceptuální model .....	5
3.2 Forma konceptuálního modelu.....	6
3.3 Implementační témata .....	6
4. Architektura simulačního modelu/simulátoru .....	6
4.1 Mapování abstraktního modelu do simulačního.....	7
5. Podstata simulačních experimentů a jejich průběh.....	7
5.1 Postup experimentování .....	8
5.2 Dokumentace jednotlivých experimentů.....	8
5.2.1 Experiment 1 .....	8
5.2.2 Experiment 2 .....	9
5.2.3 Experiment 3 .....	9
6. Shrnutí a závěr experimentů.....	11
7. Literatura .....	11

# 1. Úvod

Tato práce je zaměřena na sestavení funkčního modelu [1, snímek 7], který šíří epidemiologickou nemoc, v našem případě HIV v několika zemích EU jako je např. (CZ,SK atd.). Model [1, snímek 7] zobrazuje vývoj počtu nakažených občanů dané země, a to několik let za sebou. Délka trvání simulace [1, snímek 33] je ovlivněna vstupním parametrem. Model obsahuje několik vstupních parametrů, díky kterým lze simulovat [1, snímek 33] mnoho různých případů použití. Systém [1, snímek 18] také simuluje [1, snímek 33] jaký dopad na populaci by mělo HIV, kdyby se šance na přenos jakkoliv změnila, ať už by se přenášelo HIV třeba pouze v polovině případů, nebo by naopak bylo HIV x krát nakažlivější. Smyslem experimentu je tedy demonstrovat jakým způsobem by se šířilo HIV v populaci, pokud by lidstvo nenašlo vakcínu/lék na daný problém.

## 1.1 Autor, zdroje

Na projektu pracovali studenti Moravčík Tomáš a Jaromír Homolka z FIT VUT v Brně. Zdroje jsou především odborné články z internetu, méně odborné články, které ale zase vycházejí z vícero zdrojů a různě sdílené odborné publikace v PDF, na které se budeme nadále odkazovat v dalších částech projektu.

## 1.2 Ověření validity

Validita modelu [1, snímek 37] byla ověřována matematickými výpočty. Výpočet byl testován na přírůstcích nově nakažených v minulých letech získaných ze studie EU<sup>1</sup>, a to hned v několika zemích. Každá země má svou unikátní rovnici, která vychází z tvz. „rate“, který představuje míru šíření v různých letech v daném státu. Model taky počítá s natalitou a mortalitou obyvatelstva v daných zemích.

# 2. Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Pro správnou simulaci šíření HIV, jsou třeba následující fakta:

- Způsoby a míra přenosu HIV při pohlavním styku<sup>2</sup>
  - a) Receptive anal = 1.4%
  - b) Insertive anal = 0.11%
  - c) Receptive vaginal = 0.08%
  - d) Insertive vaginal = 0.04%

---

<sup>1</sup> Redirecting to <https://www.ecdc.europa.eu/en> [online]. Copyright © [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/hiv-surveillance-report-2019.pdf>

<sup>2</sup> Putting a number on it: The risk from an exposure to HIV | CATIE - Canada's source for HIV and hepatitis C information. CATIE - Canada's source for HIV and hepatitis C information / La source canadienne de renseignements sur le VIH et l'hépatite C [online]. Dostupné z: <https://www.catie.ca/en/pif/summer-2012/putting-number-it-risk-exposure-hiv>

- Možnosti ochrany před přenosem HIV při pohlavním styku<sup>3</sup>
  - a) Použití kondomu = 70%
  - b) HIV treatment = 96%
  - c) PrEP = 87%
- Počet nakažených osob s HIV v populaci a rate růstu (2018)<sup>4</sup>:  
(Rate = poměr nakažených vůči nárůstu nových případů)
  - a) CZ = 3368              rate = 1.0
  - b) SK = 972              rate = 1.6
  - c) HG = 3796              rate = 1.0
  - d) HR = 1632              rate = 0.9
  - e) AU = 9889              rate = 0.4
- Počet obyvatel v daných zemích<sup>5 6</sup>:
  - a) CZ = 10 699 142
  - b) SK = 5 450 421
  - c) HG = 9 772 756
  - d) HR = 4 076 246
  - e) AU = 8 858 775
- Průměrná délka života (muž/žena)(ČR 2014, zbytek 2009)<sup>7 8</sup>
  - a) CZ = 76/82
  - b) SK = 71/80
  - c) HG = 69/78
  - d) HR = 72/79
  - e) AU = 76/82
- Šance na získání HIV jiným způsobem než přenosem při pohlavním styku<sup>9</sup>
  - a) 8%

---

<sup>3</sup> Estimated HIV risk per exposure | aidsmap. *aidsmap* / *aidsmap* [online]. Copyright © NAM Publications 2020, all rights reserved. NAM is not responsible for the content of external websites. [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://www.aidsmap.com/about-hiv/estimated-hiv-risk-exposure>

<sup>4</sup> Redirecting to <https://www.ecdc.europa.eu/en> [online]. Copyright © [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/hiv-surveillance-report-2019.pdf>

<sup>5</sup> Obyvatelstvo | ČSÚ. Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo\\_lide](https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo_lide)

<sup>6</sup> Obyvatelstvo | ČSÚ. Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo\\_lide](https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo_lide)

<sup>7</sup> Jakého věku se pravděpodobně dožijeme? | ČSÚ v Brně. Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xb/jakeho-veku-se-pravdepodobne-dozijeme>

<sup>8</sup> <http://www.zemepis.com/vek.php>

<sup>9</sup> SZÚ [online]. Copyright ©r77 [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/CeM/HIV\\_AIDS/rocní\\_zpravy/2018/Vyrocní\\_zprava\\_o\\_vyskytu\\_a\\_sireni\\_HIV\\_AIDS\\_v\\_CR\\_v\\_roce\\_2018.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/CeM/HIV_AIDS/rocní_zpravy/2018/Vyrocní_zprava_o_vyskytu_a_sireni_HIV_AIDS_v_CR_v_roce_2018.pdf)

- Průměrný počet partnerů za rok<sup>10</sup>
  - a) Heterosexuál 1.5
  - b) Homosexuál 3
- Průměrný počet pohlavních styků za rok podle věku<sup>11 12</sup>
  - a) 18-29      112 za rok
  - b) 30-39      86 za rok
  - c) 40-49      69 za rok
  - d) Zbytek      12 za rok
- Poměr nakažených homosexuálů vůči heterosexuálům<sup>13</sup>
  - a) Rozmezí mezi 65% až 70% populace s HIV jsou homosexuálové

## 2.1 Použité postupy

Pro vytvoření modelu byl použit programovací jazyk C++. Tato technologie je multiplatformní, je to otevřený software a tedy se jedná o ideální řešení pro náš projekt.

## 2.2 Popis původu technologií/metod

V projektu jsou důležité třídy rozděleny do samotného souboru. Program využívá objektově orientovaný návrh a dodržuje standard C++14. Program lze přeložit pomocí příkazu *make*.

---

<sup>10</sup> Sex in a Lifetime: Sexual Behaviors in the United States by Lifetime Number of Sex Partners, 2006–2010. *National Center for Biotechnology Information* [online]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5795598/>

<sup>11</sup> How Often To Have Sex Average Based On Age Research. *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://www.refinery29.com/en-us/2017/08/168733/sex-frequency-age-average>

<sup>12</sup> Study reveals average amount of sex people are having at your age. *Time Out / Best Things To Do and Events In Cities Worldwide* [online]. Copyright © 2020 Time Out England Limited and affiliated companies owned by Time Out Group Plc. All rights reserved. Time Out is a registered trademark of Time Out Digital Limited. [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://www.timeout.com/usa/blog/study-reveals-average-amount-of-sex-people-are-having-at-your-age-082817>

<sup>13</sup> Infographic: Reported HIV transmission modes in the EU/EEA. *Redirecting to* <https://www.ecdc.europa.eu/en> [online]. Copyright © European Centre for Disease Prevention and Control [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/infographic-reported-hiv-transmission-modes-eueea>

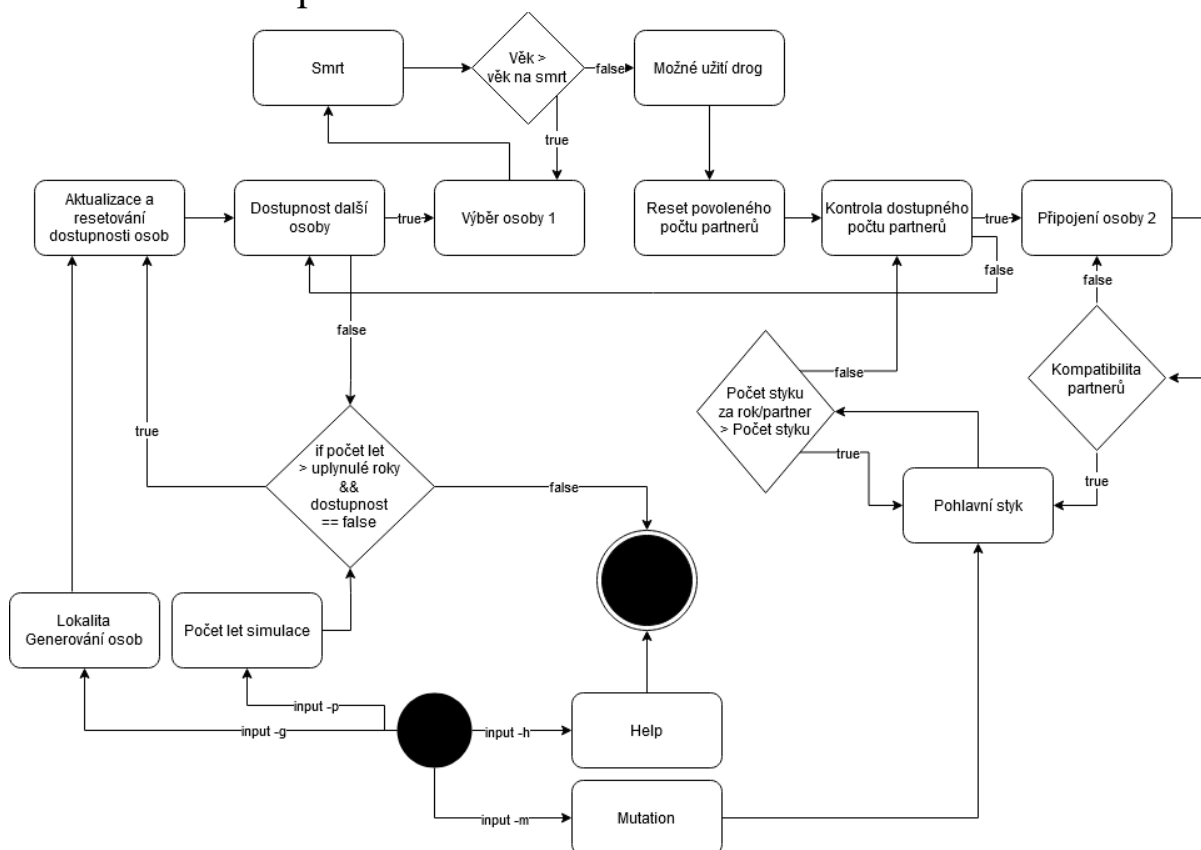
### 3. Koncepce - modelářská témata/ implementační témata

#### 3.1 Konceptuální model

Projekt se dělí na 4 části. První částí je vygenerování dvojrozměrného pole o velikosti odmocniny z počtu obyvatel a vytvoření vlastností pro ně podle pravidel definovaných v předchozí části dokumentu. V druhé části si k sobě každý občan vybere partnery, kteří vyhovují jeho pohlaví a orientaci a cyklicky s nimi má několikrát pohlavní styk. Počet partnerů za rok je opět definován v sekci 2. Podle pohlaví a sexuální orientace je přiděleno ke každému pohlavnímu styku riziko nakažení. Při pohlavním styku je brána v potaz šance, že budou použity ochranné pomůcky, které ve vysoké míře zabraňují přenos HIV na osobu. Každá osoba může mít za rok jen omezený počet partnerů. Je zde také velmi malá šance, že heterosexuální osoba (bráno jako osoba co si není jistá) bude mít styk s homosexuální osobou a nejsou tak tyto dva proudy zcela odloučené. Podle věku je také rozdělována sexuální aktivita každého jedince, kde do 15 let je pohlavní styk vyloučený. V rámci druhé fáze je také šance, že jakákoliv osoba může dostat HIV nějakým jiným způsobem (např. z drog, porodu atd.). Třetí část se zaměřuje na umírání lidí. Jelikož jeden cyklus simulace trvá 1 rok (menší jednotka u HIV nedávala smysl) a HIV zatím není léčitelná choroba, je třeba brát v potaz také postupné vymírání obyvatelstva. Obyvatelstvo vymírá podle průměrného věku úmrtí v každém státě. Pokud je daná osoba nakažena HIV, umírá v 89% života zdravého člověka. Čtvrtá část je zaměřena na finální součet nakažených obyvatel s HIV v populaci v posledním roce. V rámci simulace je vypočítáván jak celkový nárůst počtu HIV, tak také počet obyvatel s HIV, kteří jsou stále naživu. Jelikož je poměr nakažených homosexuálů a heterosexuálů velmi odlišný, je také ukázán rozdíl v poměru nakažení.

Program získává od uživatele několik informací. Počet let, tedy kolik let má daná simulace trvat. Volitelnou proměnnou stát, ve kterém budeme simulaci provádět, pokud není vyplněno, je počítáno s Českou republikou. Volitelný parametr mutace, který může ovlivňovat míru šíření HIV a volitelný parametr help, popisující jak s programem zacházet.

### 3.2 Forma konceptuálního modelu



### 3.3 Implementační témata

Pro prvotní vygenerování nakažených osob v populaci používáme následovnou rovnici. Celkový počet lidí \* šance, že má daná osoba HIV, kde pokud tato hodnota je větší než náhodně vygenerované číslo od 0 do celkového počtu lidí, tak se stane daná osoba HIV pozitivní. Zároveň je hlídáno, aby při prvotním generování vycházel poměr nakažených homosexuálů vůči nakaženým heterosexuálům.

Pro vypočítání, jestli se nakazí daná osoba je mezi sebou vynásobena šance, že při pohlavním styku dojde k přenosu HIV \* šance, že člověk dostane HIV když bude mít kondom \* šance, že člověk dostane HIV když bude mít kondom (80% účinnost ochrany kondomu, tedy rovnice bude násobena 0,2) \* šance, že bude aktivně prováděna léčba u nemocného jedince \* šance, že zdravý člověk bude mít prevenci \* mutace (volitelný parametr ovlivňující šíření HIV). Všechny šance jestli budou či nebudou použity ochranné pomůcky jsou předem zvoleny. Pokud není daná ochranná pomůcka zvolena, na místo parametru v rovnici je pouze doplněna 1.

#### 4. Architektura simulačního modelu/simulátoru

Příkladem může být jeden rok života osoby z ČR ve věku 35 let. Jedná se o muže a je to heterosexuál.

Jakmile se na danou osobu „dostane řada“, tak se nejprve získá jeho lokace v poli. Nejprve proběhne ověření, zda-li daná osoba nemá už příliš vysoký věk a nemá tedy umřít. Pokud je všechno v pořádku, tak se osoba může „náhodně“ nakazit HIV přes injekci a jiné způsoby, které nezahrnují pohlavní styk. Jedná se o velmi malé číslo, ale je třeba jej nezanedbat. Následně program zkontroluje, zda-li již neměl moc partnerů tento rok a pokud ne, tak mu přiřadí náhodného partnera. Je prověřováno, jestli je daný partner vhodný k jeho pohlaví a orientaci a pokud ano, tak spolu dané dvě osoby mají několikrát pohlavní styk, v případě 35 let se bude daný pohlavní styk opakovat 86/počtem partnerů které bude mít za rok (již vygenerovaná náhoda mezi 1-2, protože reálný průměr je 1,5). Daná osoba může a nemusí mít HIV. Pokud HIV ani jeden nemá, pouze se oběma zvýší jejich maximální počet partnerů za rok a cyklus pokračuje. Pokud ovšem HIV má jeden z nich, nastává situace, kdy se zdravá osoba může nakazit. Šance na nákazu je počítána podle typu pohlavního styku co spolu měli a již zmíněných použitých ochranných pomůcek. Jakmile osoba dostane HIV, stane se dalším přenašečem v populaci. Po ukončení pohlavních styků s osobou se zkontroluje, jestli nemá daná osoba mít ještě dalšího partnera, pokud ano celý cyklus se opakuje. Po skončení cyklu se osobě nastaví o rok vyšší věk a přechází se na další osobu v ČR. Homosexuální osoby mají dvakrát více partnerů než heterosexuální. Po provedení tohoto kroku nad všemi osobami v poli, můžeme říct kolik nám umřelo/narodilo se osob, nárůst/úbytek HIV pozitivních a to jak pro homosexuály, tak pro heterosexuály a celkově a můžeme přijít na další rok, pokud je perioda nastavena na více let.

#### 4.1 Mapování abstraktního modelu do simulačního

Jako vstupní parametry bere program **-g** (lokalita CZ,SK,HR,HG,AU), **-p** (počet let), **-m** (mutace, defaultně 1) a **-h** (help). Nejprve proběhne inicializace Locality „loc“ a nastaví se specifika pro daný stát. Alokuje se pro každou *person* místo a následně se přes funkci *generate\_person()* volá generování osoby a naplnění jí informacemi. Přes *memcpy* se vytvoří kopie pole osob a začne se přistupovat k jednotlivým *person*. Nad *person* je volána funkce *death()*, pro kontrolu živosti osoby. *Person* se následně přiřazují partneři, kteří jsou filtrování na správné partnery pomocí funkce *partner\_compatibility()*. Pro zjištění jestli po daném pohlavním styku došlo k přenosu HIV na druhou osobu je volána funkce *infection\_rate()*. Po průběhu všech cyklů se v jednom roce se kopie pole osob zpátky vrátí do původního pole a proběhne výpis informací za daný rok. Takto je simulace opakování *x* let podle vstupní hodnoty *-p*. Po docyklení počtu let, dojde k vypsání všech výsledků a uvolnění alokovaného místa.

### 5. Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Projekt má ukázat pravděpodobný vývoj šíření HIV mezi populací, pokud by nepřišla vakcína a přístup lidí k dané nemoci zůstal stejný. Je také možné zjistit vývoj HIV, pokud by došlo ke zvýšení/snížení jeho šíření.



## 5.1 Postup experimentování

Pro objektivní odpověď na toto téma je vhodné využít více lokalit, rozdělit lidi podle věku, orientace, brát v potaz délku života. Je třeba vycházet z reálných čísel. Cílem je ukázat nebezpečí šíření nemoci HIV a jaký by mohl být vývoj situace do budoucna.

## 5.2 Dokumentace jednotlivých experimentů

### 5.2.1 Experiment 1

První experiment je proveden v CZ, počet let simulace je nastaven na 5 let, žádné další parametry nevyplníme.

Výsledkem jsou následující informace:

```
$ ./ims -p 5 -g CZ
```

EPIDEMIC HIV SIMULATION FOR CZ:

```
[YEAR: 01] [NEW CASES: 187] [ALIVE HIV: 3192] [TOTAL HIV: 3561]
[YEAR: 02] [NEW CASES: 184] [ALIVE HIV: 3300] [TOTAL HIV: 3745]
[YEAR: 03] [NEW CASES: 222] [ALIVE HIV: 3427] [TOTAL HIV: 3967]
[YEAR: 04] [NEW CASES: 243] [ALIVE HIV: 3580] [TOTAL HIV: 4210]
[YEAR: 05] [NEW CASES: 277] [ALIVE HIV: 3754] [TOTAL HIV: 4487]
```

### RESULTS ###

```
YEARS SIMULATED: 5
POPULATION: 10699441
HET: 10269373 HOM: 430068
[HIV START: 3374 pos] [1159 HET] [2215 HOM]
[HIV END   : 3754 pos] [1257 HET] [2497 HOM]
[HIV INC   : 380 pos] [ 98 HET] [ 282 HOM]
-----
[HIV TOTAL: 4487 pos] [1481 HET] [3006 HOM]
ALL DEATHS: 543109
```

ALIVE:

HIV HET: 33.48 %

HIV HOM: 66.52 %

TOTAL:

HIV HET: 33.01 %

HIV HOM: 66.99 %

HIV IN POPULATION:

ON START : 0.0315 %

IN THE END: 0.0351 %

Výsledky splňují předpoklady. Jelikož se jedná o tak velké pole a jednotlivé prvky mají hodně interakcí společně, program chvíli pracuje a výsledek není okamžitý, každý rok trvá přibližně 3 sekundy.

### 5.2.2 Experiment 2

Jako druhý experiment zkusíme vybrat lokalitu HR, počet let 10 a mutaci 10.

Výsledkem jsou následující informace:

```
$ ./ims -p 10 -g HR -m 10
```

EPIDEMIC HIV SIMULATION FOR HR:

```
[YEAR: 01] [NEW CASES: 956] [ALIVE HIV: 2389] [TOTAL HIV: 2577]
[YEAR: 02] [NEW CASES: 2275] [ALIVE HIV: 4440] [TOTAL HIV: 4852]
[YEAR: 03] [NEW CASES: 5318] [ALIVE HIV: 9233] [TOTAL HIV: 10170]
[YEAR: 04] [NEW CASES: 10881] [ALIVE HIV: 18887] [TOTAL HIV: 21051]
[YEAR: 05] [NEW CASES: 18043] [ALIVE HIV: 34687] [TOTAL HIV: 39094]
[YEAR: 06] [NEW CASES: 22398] [ALIVE HIV: 53610] [TOTAL HIV: 61492]
[YEAR: 07] [NEW CASES: 22836] [ALIVE HIV: 72242] [TOTAL HIV: 84328]
[YEAR: 08] [NEW CASES: 22527] [ALIVE HIV: 90396] [TOTAL HIV: 106855]
[YEAR: 09] [NEW CASES: 24129] [ALIVE HIV: 109706] [TOTAL HIV: 130984]
[YEAR: 10] [NEW CASES: 27543] [ALIVE HIV: 131690] [TOTAL HIV: 158527]
```

### RESULTS ###

YEARS SIMULATED: 10

POPULATION: 4076361

HET: 3920203 HOM: 156158

[HIV START: 1621 pos] [ 565 HET] [1056 HOM]

[HIV END : 131690 pos] [77477 HET] [54213 HOM]

[HIV INC : 130069 pos] [76912 HET] [53157 HOM]

-----  
[HIV TOTAL: 158527 pos] [91149 HET] [67378 HOM]

ALL DEATHS: 503994

ALIVE:

HIV HET: 58.83 %

HIV HOM: 41.17 %

TOTAL:

HIV HET: 57.50 %

HIV HOM: 42.50 %

HIV IN POPULATION:

ON START : 0.0398 %

IN THE END: 3.2306 %

Pokud zvýšíme nakažlivost 10x, již za 10 let se HIV rozšíří mezi 3,2 % populace a křivka by dále exponenciálně rostla každým rokem.

### 5.2.3 Experiment 3

Jako třetí experiment vyzkoušíme lokalitu SK, počet let 50 a mutaci 0,5.

Výsledkem jsou následující informace:

```
$ ./ims -m 0.5 -g SK -p 50
```

EPIDEMIC HIV SIMULATION FOR SK:

```
[YEAR: 01] [NEW CASES: 7] [ALIVE HIV: 926] [TOTAL HIV: 1017]
[YEAR: 02] [NEW CASES: 7] [ALIVE HIV: 922] [TOTAL HIV: 1024]
[YEAR: 03] [NEW CASES: 8] [ALIVE HIV: 924] [TOTAL HIV: 1032]
```

[YEAR: 04]	[NEW CASES: 10]	[ALIVE HIV: 920]	[TOTAL HIV: 1042]
[YEAR: 05]	[NEW CASES: 5]	[ALIVE HIV: 917]	[TOTAL HIV: 1047]
[YEAR: 06]	[NEW CASES: 5]	[ALIVE HIV: 908]	[TOTAL HIV: 1052]
[YEAR: 07]	[NEW CASES: 8]	[ALIVE HIV: 900]	[TOTAL HIV: 1060]
[YEAR: 08]	[NEW CASES: 4]	[ALIVE HIV: 895]	[TOTAL HIV: 1064]
[YEAR: 09]	[NEW CASES: 10]	[ALIVE HIV: 883]	[TOTAL HIV: 1074]
[YEAR: 10]	[NEW CASES: 7]	[ALIVE HIV: 870]	[TOTAL HIV: 1081]
[YEAR: 11]	[NEW CASES: 10]	[ALIVE HIV: 864]	[TOTAL HIV: 1091]
[YEAR: 12]	[NEW CASES: 5]	[ALIVE HIV: 854]	[TOTAL HIV: 1096]
[YEAR: 13]	[NEW CASES: 10]	[ALIVE HIV: 853]	[TOTAL HIV: 1106]
[YEAR: 14]	[NEW CASES: 11]	[ALIVE HIV: 849]	[TOTAL HIV: 1117]
[YEAR: 15]	[NEW CASES: 11]	[ALIVE HIV: 848]	[TOTAL HIV: 1128]
[YEAR: 16]	[NEW CASES: 6]	[ALIVE HIV: 838]	[TOTAL HIV: 1134]
[YEAR: 17]	[NEW CASES: 3]	[ALIVE HIV: 826]	[TOTAL HIV: 1137]
[YEAR: 18]	[NEW CASES: 6]	[ALIVE HIV: 806]	[TOTAL HIV: 1143]
[YEAR: 19]	[NEW CASES: 6]	[ALIVE HIV: 800]	[TOTAL HIV: 1149]
[YEAR: 20]	[NEW CASES: 7]	[ALIVE HIV: 782]	[TOTAL HIV: 1156]
[YEAR: 21]	[NEW CASES: 6]	[ALIVE HIV: 766]	[TOTAL HIV: 1162]
[YEAR: 22]	[NEW CASES: 10]	[ALIVE HIV: 765]	[TOTAL HIV: 1172]
[YEAR: 23]	[NEW CASES: 8]	[ALIVE HIV: 756]	[TOTAL HIV: 1180]
[YEAR: 24]	[NEW CASES: 9]	[ALIVE HIV: 744]	[TOTAL HIV: 1189]
[YEAR: 25]	[NEW CASES: 8]	[ALIVE HIV: 729]	[TOTAL HIV: 1197]
[YEAR: 26]	[NEW CASES: 8]	[ALIVE HIV: 717]	[TOTAL HIV: 1205]
[YEAR: 27]	[NEW CASES: 6]	[ALIVE HIV: 706]	[TOTAL HIV: 1211]
[YEAR: 28]	[NEW CASES: 9]	[ALIVE HIV: 700]	[TOTAL HIV: 1220]
[YEAR: 29]	[NEW CASES: 8]	[ALIVE HIV: 697]	[TOTAL HIV: 1228]
[YEAR: 30]	[NEW CASES: 6]	[ALIVE HIV: 686]	[TOTAL HIV: 1234]
[YEAR: 31]	[NEW CASES: 6]	[ALIVE HIV: 677]	[TOTAL HIV: 1240]
[YEAR: 32]	[NEW CASES: 6]	[ALIVE HIV: 666]	[TOTAL HIV: 1246]
[YEAR: 33]	[NEW CASES: 8]	[ALIVE HIV: 654]	[TOTAL HIV: 1254]
[YEAR: 34]	[NEW CASES: 7]	[ALIVE HIV: 635]	[TOTAL HIV: 1261]
[YEAR: 35]	[NEW CASES: 12]	[ALIVE HIV: 628]	[TOTAL HIV: 1273]
[YEAR: 36]	[NEW CASES: 8]	[ALIVE HIV: 622]	[TOTAL HIV: 1281]
[YEAR: 37]	[NEW CASES: 4]	[ALIVE HIV: 612]	[TOTAL HIV: 1285]
[YEAR: 38]	[NEW CASES: 11]	[ALIVE HIV: 610]	[TOTAL HIV: 1296]
[YEAR: 39]	[NEW CASES: 5]	[ALIVE HIV: 598]	[TOTAL HIV: 1301]
[YEAR: 40]	[NEW CASES: 10]	[ALIVE HIV: 587]	[TOTAL HIV: 1311]
[YEAR: 41]	[NEW CASES: 7]	[ALIVE HIV: 579]	[TOTAL HIV: 1318]
[YEAR: 42]	[NEW CASES: 7]	[ALIVE HIV: 569]	[TOTAL HIV: 1325]
[YEAR: 43]	[NEW CASES: 6]	[ALIVE HIV: 552]	[TOTAL HIV: 1331]
[YEAR: 44]	[NEW CASES: 6]	[ALIVE HIV: 548]	[TOTAL HIV: 1337]
[YEAR: 45]	[NEW CASES: 9]	[ALIVE HIV: 535]	[TOTAL HIV: 1346]
[YEAR: 46]	[NEW CASES: 6]	[ALIVE HIV: 531]	[TOTAL HIV: 1352]
[YEAR: 47]	[NEW CASES: 8]	[ALIVE HIV: 521]	[TOTAL HIV: 1360]
[YEAR: 48]	[NEW CASES: 10]	[ALIVE HIV: 512]	[TOTAL HIV: 1370]
[YEAR: 49]	[NEW CASES: 11]	[ALIVE HIV: 507]	[TOTAL HIV: 1381]
[YEAR: 50]	[NEW CASES: 8]	[ALIVE HIV: 492]	[TOTAL HIV: 1389]

### RESULTS ###

YEARS SIMULATED: 50

POPULATION: 5456896

HET: 5238050 HOM: 218846

[HIV START: 1010 pos] [ 358 HET] [ 652 HOM]

[HIV END : 492 pos] [ 313 HET] [ 179 HOM]

[HIV INC : -518 pos] [ -45 HET] [-473 HOM]

-----  
[HIV TOTAL: 1389 pos] [ 725 HET] [ 664 HOM]

ALL DEATHS: 3553583

ALIVE:

HIV HET: 63.62 %

HIV HOM: 36.38 %

TOTAL:

HIV HET: 52.20 %

HIV HOM: 47.80 %

HIV IN POPULATION:

ON START : 0.0185 %

IN THE END: 0.0090 %

Z výsledků vyplývá, že pokud by byla nakažlivost HIV poloviční než je dnes, nemoc by pomalu vymírala až by nakonec zmizela úplně.

## 6. Shrnutí a závěr experimentů

HIV je pro populaci ve všech zemích hrozbou, ale její šíření je tak malé, že se velmi pravděpodobně rychleji najde lék, jak se této nemoci zbavit navždy. Celkem bylo provedeno 12 testů na různé typy parametrů, špatné parametry, zatížení systému, na ověření celkové funkčnosti modelu [1, snímek 7]. Všechny testy skončily úspěchem. Simulačními modely [1, snímek 44] na vytvořeném modelu [1, snímek 7] byla ověřena validita modelu [1, snímek 37]. Model se při výchozích hodnotách, které byli získány reálnými fakty chová stejně jako v reálném systému.

## 7. Literatura

[1]Peringer, P.; Hrubý, M.: *Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně.* [online], 7. prosinec 2020

[2]*Sex in a Lifetime: Sexual Behaviors in the United States by Lifetime Number of Sex Partners, 2006–2010. National Center for Biotechnology Information* [online]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5795598/>

[3]*Infographic: Reported HIV transmission modes in the EU/EEA. Redirecting to* <https://www.ecdc.europa.eu/en> [online]. Copyright © European Centre for Disease Prevention and Control [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/infographic-reported-hiv-transmission-modes-eueea>

[4]*Estimated HIV risk per exposure | aidsmap. aidsmap | aidsmap* [online]. Copyright © NAM Publications 2020, all rights reserved. NAM is not responsible for the content of external websites. [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://www.aidsmap.com/about-hiv/estimated-hiv-risk-exposure>

[5]SZÚ [online]. Copyright ©r77 [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/CeM/HIV\\_AIDS/rocní\\_zpravy/2018/Vyrocní\\_zprava\\_o\\_vyskytu\\_a\\_sireni\\_HIV\\_AIDS\\_v\\_CR\\_v\\_roce\\_2018.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/CeM/HIV_AIDS/rocní_zpravy/2018/Vyrocní_zprava_o_vyskytu_a_sireni_HIV_AIDS_v_CR_v_roce_2018.pdf)