

# AGENTNÍ MODELOVÁNÍ FINANČNÍ KRIZE A ÚLOHA FINANČNÍ GRAMOTNOSTI V TOMTO PROCESU

## AGENT-BASED MODELING OF THE FINANCIAL CRISIS AND THE ROLE OF FINANCIAL LITERACY IN THIS PROCESS

**Kristýna Dvořáková – Jakub Danko**

---

### **Abstract**

This article addresses simplified economic models in which the individual decisions made by households and banks significantly influence the overall market situation. The authors demonstrate how even a relatively low level of financial literacy among some households can effectively prevent widespread bank failures and the potential spread of a mortgage crisis. To model this complex societal behavior, which stems from simple yet impactful interactions between individual entities, the agent-based modeling (ABM) approach was used. The models include random networks of banks providing mortgages, repayment and default of mortgage loans, the spread of financial shocks (where insolvent banks transfer losses to interconnected banks), and the crucial influence of households' financial literacy on their decision-making process when evaluating mortgage loans as potentially too risky. Furthermore, the model incorporates updates to property prices and household incomes. The simulation results provide insight into the dynamics of an imaginary real estate market.

**Key words:** agent-based modeling, financial literacy, household decision-making, financial crisis

**JEL Code:** C63, D14, G21

---

### **Úvod**

Hypoteční krize představuje situaci, kdy v ekonomice dosáhne velké množství subjektů na hypoteční úvěr, aniž by bylo schopno dlužnou částku splácet. Vzhledem k tomu, že subjekty nejsou schopny dluh splácet, může dojít k zástavě jejich nemovitosti bankou, nebo k nucenému prodeji nemovitosti. Z důvodu nadměrného prodeje nemovitostí se cena nemovitostí snižuje, což znamená, že buď dlužníci inkasují méně peněz, než dluží bance, a tak jsou stále zadlužení, a nebo banka získá nemovitost, jejíž současná tržní hodnota je menší než pohledávka vůči dlužníkovi, z toho důvodu i banky během hypoteční krize prodělávají (Begany, 2022). Banky

jsou vzájemně propojeny prostřednictvím mezibankovních trhů a finančních nástrojů (např. Credit Default Swaps<sup>1</sup>), proto finanční problémy způsobené nesplácením pohledávek jedné banky mohou negativně ovlivnit další banky (Hayes, 2024).

Hypoteční krize často vede ke zpřísnování úvěrových standardů, jako je zvýšení požadavků na kreditní skóre žadatelů, snížení maximální hodnoty LTV (loan-to-value) a přísnější pravidla pro doložení příjmů. Současně může dojít ke zpřísnění pravidel pro věřitele (banky), například zvýšením úrokových sazeb a povinných minimálních rezerv, což by mělo přispět k solventnosti bank (Hamerling, Sarah N. et al., 2020).

Nejnámější případ hypoteční krize je často označován jako „subprime mortgage crisis“, došlo k němu v USA v roce 2007. Ke krizi vedly aktivity od roku 2000. Tehdy zahraniční investoři investovali své peníze do amerického trhu s nemovitostmi. Kupovali tzv. „mortgage-backed securities“, což představuje několik sloučených hypotečních zástavních listů, které měly vysoce kladné ratingy (AAA), a vyvíjeli tlak na banky, aby vydávaly více hypoték. Na základě toho banky vydávaly hypotéky i lidem s nízkými příjmy a nízkým kreditním skóre. Tyto úvěry se dnes označují za „subprime mortgages“. Banky používaly tzv. „predatory lending practices“ – ze začátku byly na hypotéky uvaleny nízké nastavitelné úrokové sazby, na které zpravidla žadatelé o úvěr dosahovali, časem ale úrokové sazby zvyšovali, a lidé již nezvládali hradit splátky. Kvůli tomu již nebyly investice do „mortgage-backed securities“ bezpečné, investoři do nich však nadále investovali, jelikož data o jejich výnosech byla stále kladná (Kagan, 2024).

Počáteční nízké úrokové sazby vedly ke zvýšení poptávaného množství nemovitostí, což zvýšilo cenu domů a bytů. Dlužníci již nebyli schopni splácet své dluhy, a to vedlo k hypoteční krizi. V roce 2007 New Century Financial Corp., velký subjekt, který půjčoval hypoteční úvěry, vyhlásil bankrot, a z toho důvodu i zbylé společnosti přestaly vydávat „subprime mortgages“. Zároveň ratingy „mortgage-backed securities“ začaly padat – to bylo známkou pro investory, že se již nejedná o bezpečný prostředek pro investování (Duca, 2013).

Finanční gramotnost je téma, které poslední dobou rezonuje celou společností. Jedná se o soubor znalostí, schopností a dovedností, které daný jedinec potřebuje, aby byl schopný se co nejefektivněji rozhodovat v otázkách zaměřených na finance, a to nejenom na finance v podnikání, ale i na soukromé (rodinné) prostředky. Z průzkumu Evropské unie vyplývá, že v průměru 18 % obyvatel EU má vysokou úroveň finanční gramotnosti, dalších 64 % průměrnou. V rámci srovnání zemí Evropské unie jsou Češi podprůměrně finančně gramotní,

---

<sup>1</sup> Credit Default Swaps (CDS) je finanční nástroj, který přenáší riziko nesplacení úvěru z jednoho subjektu na druhý.

ačkoliv v porovnání se zbylými státy očekávali, že si povedou nadprůměrně. Z tohoto průzkumu je patrné, že existuje signifikantní rozdíl mezi subjektivním a objektivním vnímáním finanční gramotnosti, právě tento fakt může způsobovat iracionální a špatně zvolené finanční rozhodování jednotlivců. 20 % ze všech respondentů uvedlo, že momentálně mají, a nebo v uplynulých 2 letech měli, sjednaný hypoteční úvěr (European Union, 2023).

V tomto článku jsme se zaměřili na modelování hypoteční krize a vliv finanční gramotnosti populace na vývoj na hypotečním trhu.

## 1 Agentní modelování

Pro naše modelování hypoteční krize jsme zvolili přístup agent-based modeling (dále ABM). Jedná se o poměrně moderní metodiku, jejíž kořeny spadají do 60. – 70 let minulého století. Svoji současnou podobu získala v 80. letech díky novým modelům vytvořeným především v oblasti sociologie.

ABM je přístup provádění simulací, jejichž cílem je na základě jednoduchého chování jedinců a interakcí mezi jedinci a prostředím poznat chování společnosti (všech jedinců) jako celku v komplexním systému. Tomu se někdy říká emergence (Bonabeau, 2002).

Jeho výhodou je, že se dá vizualizovat, a tím pádem i danou situaci lépe představit veřejnosti. Obecně cílem agentního modelu není perfektní zobrazení reality, nýbrž vyobrazení parametrů, které jsou předmětem sledování.

Jedinci se nazývají agenti, jednají autonomně, tedy nezávisle, na základě svých charakteristik. Výhodou ABM je, že každý agent může mít jiné charakteristické vlastnosti. Ve složitějších modelech se agenti umějí poučit ze svého minulého chování a na základě svých zkušeností provádějí svá budoucí rozhodnutí (Wilensky & Rand, 2015, s. 32).

ABM se využívá k modelování ekonomické situace, v epidemiologii, ale třeba také při provádění rozhodnutí nebo při výuce. Dodnes se hojně využívá v sociologii.

Mezi původní a významné agentní modely patří Game of Life (John Conway), který na základě jednoduchých pravidel jednotlivců poukazuje na to, jak organismy mohou přežívat či umírat buď z důvodu osamocení, nebo z důvodu přelidnění (Roberts, 2020), a Model of Segregation (Thomas Schelling), vyobrazuje, jak by se domácnosti stěhovaly za jednoduchých pravidel na základě toho, kterou ze dvou stran reprezentuje daná domácnost a její sousedé. Sám Schelling odkazoval na migraci ve městě na základě rasy (bílé a černé), později se však začalo odkazovat i na politickou situaci v USA – domácnosti jsou členěny na základě toho, zda podporují republikány či demokraty (Ubarevičienė et al., 2024).

## 1.1 Agenti – banky

Banky jsou náhodně spojeny do sítě bank, ke spojení byl využit Erdős–Rényi model.

Banky domácnostem (dalšímu druhu agentů) půjčují peníze. Model je ve zjednodušené podobě, a tudíž uvažuje, že domácnosti, které dosud nemají hypotéku, si úvěr sjednávají u libovolné banky. Rozpočty všech bank jsou na začátku simulace stejné, časem se na základě půjčování, splácení a nesplácení dlužníky vyvíjí.

Banky mezi sebou interagují tak, že pokud mezi nimi existuje spojení, krachující banka přenáší svůj dluh na banky, se kterými je spojena.

## 1.2 Agenti – domácnosti

Domácnosti si od bank půjčují hypotéky – buď jsou tedy ve stavu, kdy hypotéku mají, a nebo nemají. Pokud hypotéku mají, pak mohou opět nastat 2 situace – buď je domácnost schopna hypotéku splácet, a tak ji splácí, a nebo není, tím domácnosti ovlivňují banky. Schopnost splácení je ovlivněna příjmem domácností (agentní vlastnost) a prahem nesplácení (nejedná se o agentní vlastnost). Příjmy domácností byly náhodně nasimulovány a v čase se vyvíjejí. Někteří agenti jsou finančně gramotní (agentní vlastnost), což způsobuje, že domácnosti disponující touto vlastností si sjednávají hypoteční úvěr pouze tehdy, kdy splňují daná kritéria. Domácnosti si po splacení hypotečního úvěru mohou zažádat o další půjčku. Celkem mohou být ve 4 situacích – mají úvěr, který splácejí, zbankrotovaly, protože nezvládaly splácet svůj závazek, a nebo, pokud jsou finančně gramotné, mohou si potenciální půjčku vyhodnotit jako příliš rizikovou, a z toho důvodu úvěr nemají a nikdy jej neměly, a nebo hypotéku již splatily, ale další půjčku za současných podmínek považují za příliš rizikovou, z toho důvodu si ji nesjednaly.

Pokud domácnost není finančně gramotná, nikdy nemůže hypotéku nemít (buď zbankrotuje, nebo splácí), domácnost, která zbankrotuje, se z tohoto stavu do konce simulace již nedostane.

Domácnosti mezi sebou navzájem neinteragují.

## 2 Parametry modelu a síť bank

Výsledky modelování jsou ovlivněny řadou parametrů. Práce sleduje vliv různých kombinací parametrů ovlivňujících finanční gramotnost domácností na vývoj situace na trhu s hypotékami a možný vznik hypoteční krize, z toho důvodu jsou některé parametry v rámci simulací rozdílné.

Loan to value (LTV) ratio vyjadřuje poměr mezi výší půjčky a hodnotou zastavené nemovitosti. Tato proměnná je v modelu využita k výpočtu čitatele, respektive k výpočtu vypůjčené částky.

$$\text{Loan-to-value ratio} = \frac{\text{výše půjčky}}{\text{hodnota nemovitosti}} \quad (1)$$

Počáteční cena nemovitostí ovlivňuje jistinu, a tedy i skutečnost, zda domácnosti na základě svých příjmů, které jsou náhodně nasimulované, budou schopny dlužnou částku splácet. Během simulace se ceny nemovitostí náhodně vyvíjejí. Uvažujeme, že zpočátku simulace jsou všechny nemovitosti stejně hodnotné.

Úroková míra ovlivňuje, kolik procent z jistiny za určité časové období musí domácnosti bankám uhradit navíc. Jedná se o výnos bank. Pro zjednodušení modelu není pro simulaci významná doba splatnosti, výše úvěru určuje:

$$\text{Výše úvěru} = \text{dlužná částka} \times (1 + \text{úroková míra}), \quad (2)$$

kde dlužná částka vyjadřuje:

$$\text{Dlužná částka} = \text{Loan-to-value ratio} \times \text{hodnota nemovitosti}, \quad (3)$$

hodnota nemovitosti se náhodně každým krokem (tickem) vyvíjí na základě následujících pravidel:

Každá simulace se maximálně skládá ze 3 000 kroků (ticků). Prvních 1 200 kroků znázorňuje situaci před hypoteční krizí, kdy se ceny nemovitostí spíše zvyšují. Následujících 1 200 kroků reprezentuje období krize, ve kterém se hodnoty nemovitostí především snižují. Posledních 600 kroků vyjadřuje situaci po krizi, během které se trh znovu „uzdravuje“, ceny nemají jasný trend svého vývoje.

Uvažujeme, že hypoteční krize také ovlivnila vývoj příjmů domácností. Pro každou domácnost jsme v úvodu náhodně nastavili výši jejího příjmu v rozmezí 50 až 100 peněžních jednotek. Situace na trhu práce je obdobná jako na trhu s nemovitostmi – fáze před krizí, během krize i po krizi trvají stejně dlouho a mají stejný vliv na příjmech domácnosti jako na vývoji cen nemovitostí.

Default threshold představuje poměr dluhu k příjmu, při kterém domácnost není schopna splácet hypotéku, a tak se stává insolventní. Tento parametr je v modelu využit ke zjišťování, zda domácnost je schopna se svými příjmy splácet hypoteční úvěr. Pokud platí, že:

$$\text{Splátka úvěru} \leq \text{default threshold} \times \text{příjem domácnosti}, \quad (4)$$

domácnost je schopna svůj dluh splácet. Splátka úvěru vyjadřuje:

$$\text{Splátka úvěru} = \text{výše úvěru} \times \text{úroková míra.} \quad (5)$$

Některé domácnosti v modelu jsou finančně gramotné, přičemž hodnotu pravděpodobnosti, která určuje, zda je domácnost finančně gramotná, stanovuje stejnojmenný parametr.

Parametr výše finanční gramotnosti ovlivňuje, za jakých podmínek si domácnost je či není ochotna sjednat půjčku. Tento parametr může nabývat hodnot od 0 do 100 %.

$$\text{Potenciální splátka úvěru} \leq \text{splátka úvěru} \times (1 - \text{finanční gramotnost}), \quad (6)$$

Platí-li tato nerovnice, domácnost si úvěr sjedná. Nerovnice vyjadřuje, že pokud je domácnost finančně gramotná a hodnota finanční gramotnosti je stanovena např. na 0,1, domácnost si sjedná úvěr pouze tehdy, stačí-li jí 90 % svých příjmů na pokrytí splátky. Hodnota potenciální splátky úvěru se vypočte stejně jako výše splátky úvěru, zdůrazňujeme pouze fakt, že domácnost v okamžiku rozhodování se o sjednání úvěru úvěr stále nemá, a tak se jedná pouze o potenciální splátku úvěru, nikoliv skutečnou. Parametr default threshold není v tomto výpočtu uvažován, což umožňuje, že i domácnosti, které jsou finančně gramotné, mohou zbankrotovat (pokud je tento parametr nastaven na nižší úrovni).

Pokud banka zbankrotuje, její dluh částečně přechází na banky, se kterými je ve spojení. Ke spojení bank jsme využili Erdős–Rényi model, kdy pravděpodobnost spojení mezi jednotlivými bankami vyjadřuje parametr  $p$ .

### 3 Popis modelu

Model simuluje scénář šíření hypoteční krize se dvěma typy agentů: bankami a domácnostmi. Sleduje jejich finanční interakce v imaginárním systému.

Model simuluje interakci mezi domácnostmi a bankami v čase. Domácnosti se snaží získat hypotéky a splácet je. Některé domácnosti jsou finančně gramotné, a proto může nastat situace, kdy si půjčku nesjednají. Všechny domácnosti mohou v jeden okamžik splácet maximálně jeden úvěr, další si tedy mohou sjednat až ve chvíli, kdy předchozí splatily. Banky poskytují hypoteční úvěry a čelí potenciálním ztrátám v důsledku špatných investic a nesplácení. Pokud banka provede špatnou investici, ztratí 20 peněžních jednotek. Šíření šoků v síti bank může vyvolat kaskádu bankrotů a hypoteční krizi.

V tomto článku jsme model použili k provedení citlivostní analýzy tak, že jsme měnili vstupní parametry ovlivňující finanční gramotnost (pravděpodobnost finanční gramotnosti

domácností, míru finanční gramotnosti) a sledovali jsme, jak tyto změny ovlivní výstupní proměnné.

Domácnosti jsou vytvářeny s náhodným příjmem mezi 50 a 100 peněžními jednotkami, počáteční cenou domu, jenž je na začátku simulace pro všechny domácnosti stejná, bez hypotečního úvěru a nejsou v bankrotu. Některé domácnosti mohou být finančně gramotné. Jejich příjmy se, stejně jako tržní cena nemovitostí, v průběhu času vyvíjejí. Pokud domácnost nezvládá splácet svůj dluh bance, zbankrotuje, banka využívá své možnosti zástavy nemovitosti. Nemovitost v důsledku zvýšení nabízeného množství ztrácí 30 % své hodnoty. Pokud domácnost úvěr splatí, sjednává si úvěr na další nemovitost (pokud je finančně gramotná a nesplňuje požadavky pro sjednání hypotéky, pak si další hypoteční úvěr nesjednává).

V modelu je uvažována dokonalá konkurence: žádná banka nemá před ostatními výhodu, všechny banky mají rovnoměrný počáteční rozpočet. Aktiva všech bank vyjadřují celkovou cenu všech nemovitostí vynásobenou ukazatelem LTV. Každá banka tudíž disponuje financemi ve výši právě  $n$ -tiny z veškerých aktiv bank, přičemž v systému se vyskytuje  $n$  bank.

Síť bank je generována náhodně, každá banka s pravděpodobností  $p$  navazuje spojení s jinými bankami, na které, v případě bankrotu, přenáší svůj dluh.

## 4 Výstupy modelu

Pro jednotlivé vstupní hodnoty jsme určili jejich výchozí hodnoty, a to konkrétně:

- $p$ -hodnota = 0.5
- loan-to-value = 0.8
- úroková sazba = 0.07
- default threshold = 0.3

Citlivostní analýzu jsme provedli tak, že jsme měnili hodnoty dvou parametrů, pravděpodobnosti finanční gramotnosti domácností a míru finanční gramotnosti, zatímco hodnoty ostatních proměnných jsme ponechali beze změny. Simulaci jsme provedli pro ekonomiku o 10 bankách a 100 domácnostech.

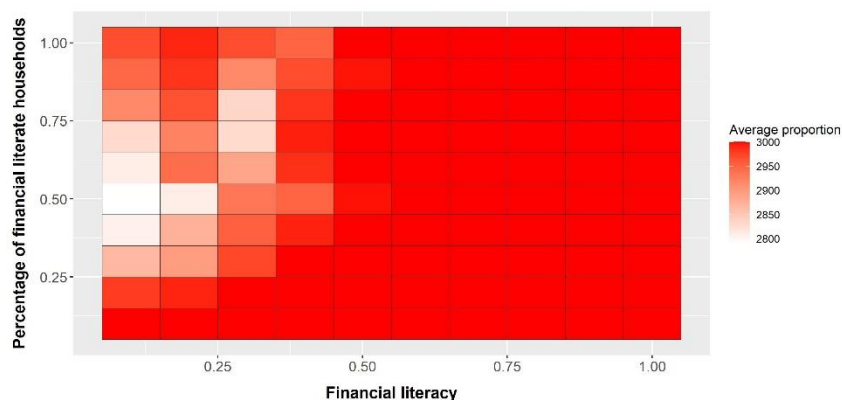
Simulace byly provedeny pomocí softwaru NetLogo, analýza byla provedena prostřednictvím programovacího jazyka **R**.

Na základě našich simulací jsme dospěli k několika závěrům.

#### 4.1 Vliv parametrů na šíření hypoteční krize

Prvním závěrem je, že zvyšující se míra finanční gramotnosti má pozitivní vliv na nešíření hypoteční krize, respektive, čím je vyšší je míra finanční gramotnosti, tím pomaleji dochází ke zbankrotování všech bank, od určité hodnoty parametru všechny banky nebankrotují.

Obr. 1: Šíření hypoteční krize



Zdroj: Vlastní zpracování pomocí R a NetLogo

Simulace byla defaultně nastavena na 3 000 kroků (ticků) (po jejichž uplynutí se zastavila), další podmínkou modelu bylo, že jakmile všechny banky zbankrotují, má se průběh simulace zastavit. Z Obr. 1 vyplývá, že hypoteční krize se nejrychleji šířila tehdy, kdy míra finanční gramotnosti byla nastavena na 0,1 a pravděpodobnost, zda je domácnost finančně gramotná, činila 0,5. Pokud simulace proběhla i ve 3000. kroku, k hypoteční krizi nedošlo. Obecně lze říci, že jakmile byla úroveň finanční gramotnosti nastavena alespoň na 0,5, v populaci se hypoteční krize nešířila. Naopak parametr procento finanční gramotnosti domácností nemá na šíření hypoteční krize jasně definovatelný vliv.

#### 4.2 Vliv parametrů na struktuře domácností

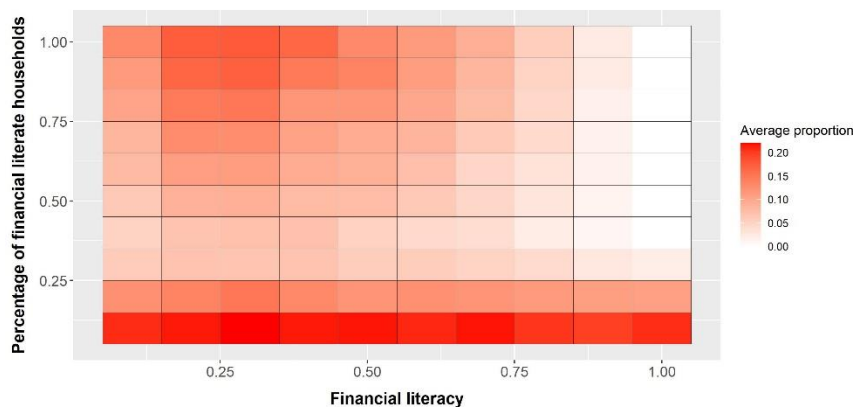
Dalším závěrem je, že oba sledované parametry, míra finanční gramotnosti i pravděpodobnost toho, že domácnost je finančně gramotná, ovlivňují, zda je domácnost schopna splácet úvěr, zbankrotuje, nebo v případě, že je finančně gramotná, nikdy neměla sjednanou hypotéku, či v minulosti minimálně jednu hypotéku splatila, ale další si již nesjednala.

Čím nižší je pravděpodobnost finanční gramotnosti domácností, tím více je domácností, které hypotéku splácejí, ale i těch, které zbankrotovaly. Naopak, tím je nižší počet domácností, které nemají sjednaný hypoteční úvěr, a to z toho důvodu, že je nízký počet finančně gramotných domácností, které si mohou dovolit půjčku si nesjednat.



Se zvyšující se mírou finanční gramotnosti klesá počet splácejících domácností a zbankrotovaných domácností, naopak roste počet domácností, které nikdy neměly sjednaný hypoteční úvěr, a to z toho důvodu, že pro finančně gramotné domácnosti je těžší rozhodnout se sjednat si půjčku. Vývoj počtu domácností, které v minulosti minimálně jednu hypotéku úspěšně splatily, ale další si nesjednaly, nelze na základě míry finanční gramotnosti jednoznačně určit.

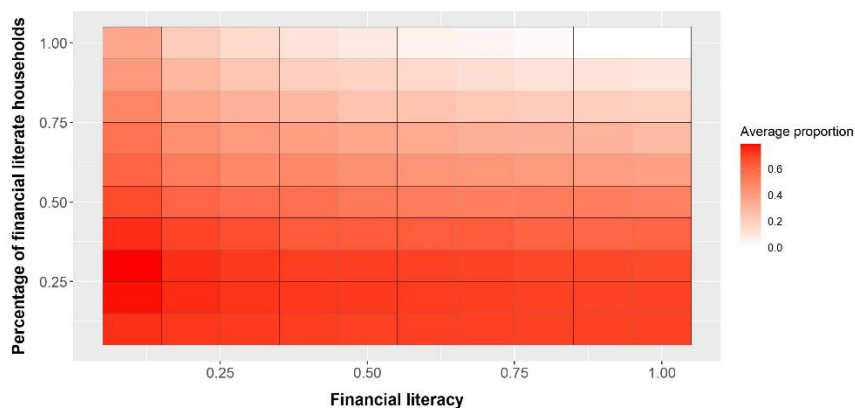
**Obr. 2: Zastoupení domácností splácejících hypotéku**



Zdroj: Vlastní zpracování pomocí R a NetLogo

Počet splácejících domácností není příliš ovlivněn parametry, nejvyšších hodnot však dosahuje, když je pravděpodobnost, zda je domácnost finančně gramotná, 0,1, naopak, pokud je úroveň finanční gramotnosti nastavena na 1,0, minimální počet domácností splácí hypoteční úvěr (finančně gramotné domácnosti si nebudou brát hypoteční úvěry, domácnosti, které nejsou finančně gramotné, budou často bankrotovat).

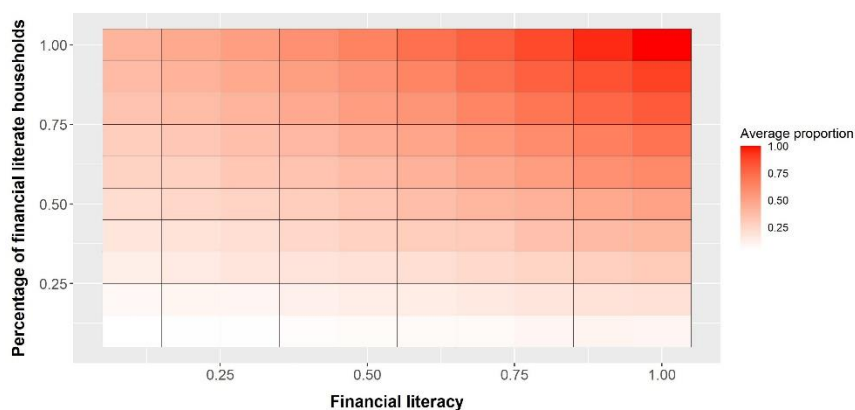
### Obr. 3: Zastoupení zbankrotovaných domácností



Zdroj: Vlastní zpracování pomocí R a NetLogo

Z Obr. 3 vyplývá, že se zvyšujícími se hodnotami obou sledovaných parametrů klesá počet zbankrotovaných domácností.

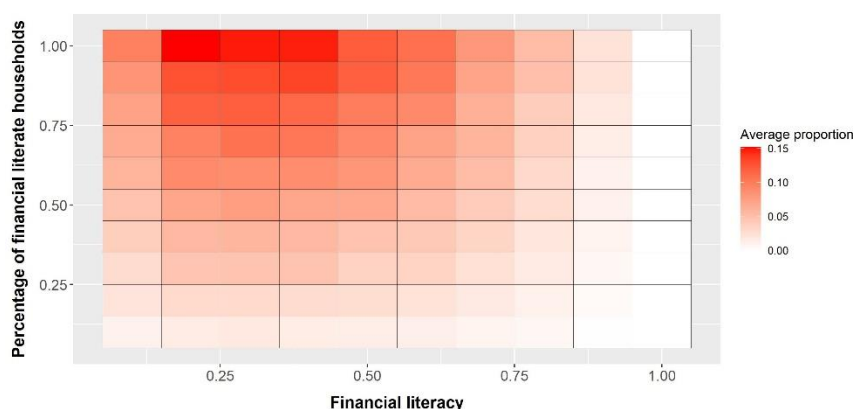
### Obr. 4: Zastoupení domácností, které si nikdy nesjednaly hypoteční úvěr



Zdroj: Vlastní zpracování pomocí R a NetLogo

Zvyšující se hodnota obou sledovaných parametrů nasvědčuje zvyšování počtu domácností, které si nikdy nesjednaly hypoteční úvěr (procento pravděpodobnosti, že domácnost bude finančně gramotná, zvyšuje počet finančně gramotných domácností, které se na rozdíl od domácností, které nejsou finančně gramotné, mohou rozhodnout, že si hypotéku nesjednají, zvyšující se míra finanční gramotnosti vyvolává finančně gramotným domácnostem kritičtější myšlení, v jehož důsledku si čím dál tím méně domácností, na základě výše svého příjmu, půjčku sjedná).

**Obr. 5: Zastoupení domácností, které v minulosti úspěšně splatily minimálně jeden hypoteční úvěr, ale do konce simulace si další nesjednaly**



Zdroj: Vlastní zpracování pomocí R a NetLogo

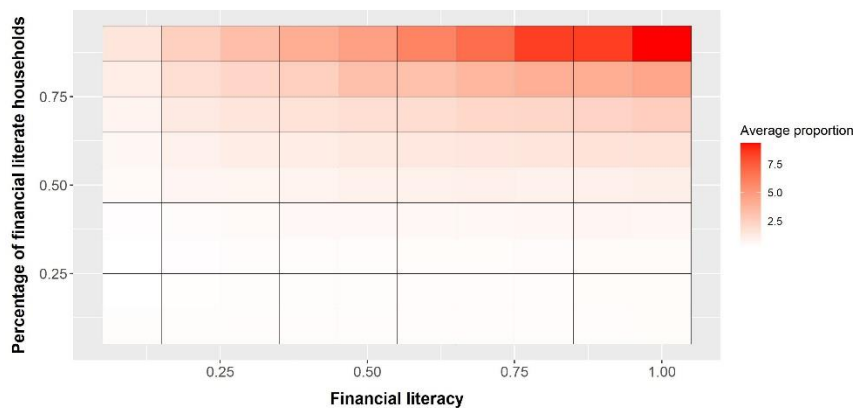
Tato skupina domácností je nejvíce ovlivněna zastoupením všech předešlých skupin, z toho důvodu je v grafu k vidění jakési „centrum“, které nabývá hodnot pro míru finanční gramotnosti od 0,2 do 0,4, pro druhý parametr 1,0, v němž dosahuje podíl této skupiny domácností nejvyšších hodnot, zároveň je patrné, že čím více je kombinace hodnot parametrů od něj vzdálená, tím menších hodnot nabývá.

#### **4.3 Vliv parametrů na poměr počtu všech nezbankrotovaných domácností na počtu zbankrotovaných domácností**

Čím vyšší je procento, že domácnost je finančně gramotná, tím se zvyšuje poměr počtu všech nezbankrotovaných domácností (tzn. všech splácejících domácností, domácností, které si hypotéku nikdy nesjednaly, domácností, které v minulosti minimálně jednu hypotéku splatily, ale další si nesjednaly) na počtu zbankrotovaných domácností. Tato skutečnost je dána tím, že se zvyšuje počet finančně gramotných domácností. Sice některé nízkopříjmové finančně gramotné domácnosti, pokud je míra finanční gramotnosti nastavena na nízké úrovni, zbankrotují, jiné domácnosti, jejichž příjmy jsou vyšší, ale i tak si vyhodnotí, že je pro ně splácení hypotéky příliš rizikové, místo toho, aby zbankrotovaly, si hypoteční úvěr nesjednají, a tak jsou v rámci tohoto výpočtu zařazeny do čitatele.

Se zvyšující se úrovní finanční gramotnosti tento poměr také roste, a to především díky tomu, že klesá počet zbankrotovaných finančně gramotných domácností.

**Obr. 6: Poměr počtu nezbankrotovaných domácností na počtu zbankrotovaných domácností**



Zdroj: Vlastní zpracování pomocí R a NetLogo

Se zvyšujícími se hodnotami sledovaných parametrů se také zvyšuje poměr počtu nezbankrotovaných domácností na počtu zbankrotovaných domácností, a to díky zvyšujícímu se čitateli a zároveň zmenšujícímu se jmenovateli.

#### **4.4 Vliv parametrů na podílu počtu splácejících finančně gramotných domácností na celkovém počtu splácejících domácností**

Se zvyšující se pravděpodobností finanční gramotnosti domácností se zvyšuje podíl splácejících finančně gramotných domácností na celkovém počtu splácejících domácností. To je dáno tím, že se zvyšuje celkový počet finančně gramotných domácností, tento výsledek je tedy zcela logický.

Se zvyšující se mírou finanční gramotnosti se tento podíl také zvyšuje, vliv však není tak významný jako již u dříve zmiňovaného parametru.

**Obr. 7: Podíl počtu splácejících finančně gramotných domácností na celkovém počtu splácejících domácností**



Zdroj: Vlastní zpracování pomocí R a NetLogo

Z Obr. 7 vyplývá, že oba parametry ovlivňují procento finančně gramotných domácností, které zároveň mají sjednaný hypoteční úvěr, jenž splácí, z celkového počtu splácejících. Výraznější vliv má však parametr vyjadřující pravděpodobnost, že domácnost bude finančně gramotná. Vzhledem k tomu, že podíl nabývá svého maxima již při zobrazené kombinaci hodnot parametrů (0,3 a 0,3), rozhodli jsme se zobrazit pouze tyto výsledky.

#### **4.5 Vliv parametrů na podílu počtu zbankrotovaných finančně gramotných domácností na celkovém počtu zbankrotovaných domácností**

Posledním závěrem je, že se zvyšující se pravděpodobností finanční gramotnosti domácností se také zvyšuje podíl počtu zbankrotovaných finančně gramotných domácností na celkovém počtu zbankrotovaných domácností, a to z toho důvodu, že se zvyšuje počet finančně gramotných domácností, které, pokud jsou nízkopříjmové, a zároveň je míra finanční gramotnosti nastavena na nižší úrovni, mohou bankrotovat (zvyšuje se čítec zlomku).

Se zvyšující se mírou finanční gramotnosti tento podíl naopak klesá, a to z důvodu, že klesá počet finančně gramotných zbankrotovaných domácností (snižuje se čítec zlomku), při vyšších hodnotách míry finanční gramotnosti je nereálné, aby finančně gramotná domácnost zbankrotovala, proto je v tomto případě podíl rovný 0.

**Obr. 8: Podíl počtu zbankrotovaných finančně gramotných domácností na celkovém počtu zbankrotovaných domácností**



Zdroj: Vlastní zpracování pomocí R a NetLogo

Čím vyšší je hodnota parametru vyjadřující pravděpodobnost, že domácnost je finančně gramotná, tím se zvyšuje tento podíl, a to z toho důvodu, že se výrazně snižuje jmenovatel zlomku, a naopak, čím vyšší je míra finanční gramotnosti, tím je podíl menší, což je způsobeno tím, že se zmenšuje číselník zlomku.

Pro vyšší pravděpodobnost finanční gramotnosti zůstává procento finančně gramotných zbankrotovaných domácností stejné jako ve vyobrazeném maximu v Obr. 8.

## Závěr

V rámci článku jsme se věnovali modelování fungování imaginárního trhu s hypotečními úvěry, sledovali jsme, jaký vliv má finanční gramotnost na šíření hypoteční krize, a jak se vyvíjí počet domácností, které splácejí úvěr, zbankrotovaly nebo nemají úvěr sjednaný. Na všechny tyto ukazatele má vliv jak míra finanční gramotnosti, tak i pravděpodobnost finanční gramotnosti domácnosti. Vyšší hodnoty těchto parametrů mají pozitivní vliv na fungování trhu s hypotečními úvěry, a to jak na straně dlužníků, tak na straně věřitelů.

Ve chvíli, kdy oba sledované parametry činily alespoň 0,5, ve sledovaném čase (3 000 kroků) nedošlo k tomu, že by všechny banky zbankrotovaly. Je třeba ale také dodat, že hypoteční krize je ovlivněna i dalšími parametry modelu, které jsme ponechali neměnné.

Hodnoty sledovaných parametrů ovlivňují strukturu domácností na základě toho, zda mají sjednanou hypotéku, kterou splácejí, zbankrotovaly, nikdy si hypotéku nesjednaly, nebo v minulosti úspěšně hypotéku splatily, ale další si již nesjednaly.

Je-li pravděpodobnost finanční gramotnosti domácností nastavena alespoň na 0,3, pak většina splácejících domácností je zároveň finančně gramotná.

Čím více roste pravděpodobnost finanční gramotnosti, tím více také roste podíl finančně gramotných zbankrotovaných domácností na celkovém počtu zbankrotovaných. Zároveň se ale toto číslo pohybuje maximálně kolem 20 %.

## Zdroje

- Begany, T. (2022, červen 4). 5 Consequences of the Mortgage Crisis. Investopedia. <https://www.investopedia.com/financial-edge/1110/5-consequences-of-the-mortgage-crisis.aspx>
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. Proceedings of the National Academy of Sciences, 99(suppl\_3), Article suppl\_3. <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899>
- Duca, J. V. (2013, listopad 22). Subprime Mortgage Crisis | Federal Reserve History. Federal Reserve History. <https://www.federalreservehistory.org/essays/subprime-mortgage-crisis>
- European Union. (2023, červen). Monitoring the level of financial literacy in the EU. European Union. <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2953>
- Hamerling, Sarah N., blog, Morgan, Donald P., & Sporn, John. (2020, říjen 21). Bank Capital, Loan Liquidity, and Credit Standards since the Global Financial Crisis. Liberty Street Economics. <https://libertystreeteconomics.newyorkfed.org/2020/10/bank-capital-loan-liquidity-and-credit-standards-since-the-global-financial-crisis/>
- Hayes, A. (2024, červen 1). Credit Default Swap: What It Is and How It Works. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/c/creditdefaultswap.asp>
- Kagan, J. (2024, červen 13). Mortgage-Backed Securities (MBS): Definition and Types of Investment. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/m/mbs.asp>
- Roberts, S. (2020, prosinec 28). The Lasting Lessons of John Conway's Game of Life. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2020/12/28/science/math-conway-game-of-life.html>
- Ubarevičienė, R., van Ham, M., & Tammaru, T. (2024). Fifty years after the Schelling's Models of Segregation: Bibliometric analysis of the legacy of Schelling and the future directions of segregation research. Cities, 147, 104838. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.104838>
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo. Cambridge, Massachusetts : The MIT Press. <http://archive.org/details/introductiontoag0000wile>

## **Kontakt**

Kristýna Dvořáková

Prague University of Economics and Business

nám. Winstona Churchilla 1938/4, 120 00 Praha 3-Žižkov

dvok17@vse.cz

Jakub Danko

Prague University of Economics and Business

nám. Winstona Churchilla 1938/4, 120 00 Praha 3-Žižkov

jakub.danko@vse.cz