



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ  
FAKULTA**  
Univerzita Karlova

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

David Říha

**Hra "Brass: Birmingham" a její Strategie**

Katedra softwaru a výuky informatiky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Tomáš Holan, Ph.D.

Studijní program: Informatika (B0613A140006)

Praha 2024

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů. Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V ..... dne .....

Podpis autora

Především bych chtěl poděkovat vedoucímu práce RNDr. Tomáši Holanovi, Ph.D. za vstřícnost a nedocenitelnou pomoc i v krizových situacích, bez které by tato práce nemohla vzniknout. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za poskytnutí podmínek, ve kterých bylo možné práci vytvořit.

Název práce: Hra "Brass: Birmingham" a její Strategie

Autor: David Říha

Katedra: Katedra softwaru a výuky informatiky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Tomáš Holan, Ph.D., Katedra softwaru a výuky informatiky

Abstrakt: V této práci si naprogramujeme vlastní digitální verzi deskové hry "Brass: Birmingham" od vydavatele Roxley Games. Do té se následně pokusíme nalézt co nejúspěšnější strategii. Tou nakonec vybavíme umělou inteligenci, proti které budou hráči moci hrát. Začneme se zcela základní umělou inteligencí, která bude pouze volit první možnost, na kterou narazí. Tu budeme postupně vylepšovat. Zkusíme volit lepší možnosti, měnit pořadí akcí, zkoumat celkový stav hry a nakonec přiřadíme umělé inteligenci jisté cíle, které bude plnit. Zvýšení úspěšnosti po každém vylepšení si ověříme testováním v několika hrách, kde proti sobě postavíme různé umělé inteligence. Tyto testy nám ukáží, že inteligenci opravdu zdokonalujeme a nakonec bude dosahovat obstojných výsledků.

Klíčová slova: počítačové hry, umělá inteligence, unity, digitalizace deskové hry

Title: "Brass: Birmingham" the Game and its Strategy

Author: David Říha

Department: Department of Software and Computer Science Education

Supervisor: RNDr. Tomáš Holan, Ph.D., Department of Software and Computer Science Education

Abstract: In this work, we will program our own digital version of the board game "Brass: Birmingham" from the publisher Roxley Games. Subsequently, we will attempt to find the most successful strategy for this game. Then we will equip artificial intelligence with this strategy, against which the players will be able to play. We will start with a very basic artificial intelligence that will only choose the first option it encounters. We will gradually improve it. We will try to select better options, change the order of actions, examine the overall state of the game, and finally assign specific goals to the artificial intelligence, which it will try to achieve. We will verify the increase in success rate after each improvement by testing it in several games where different artificial intelligences will compete against each other. These tests will show us that we are indeed improving the intelligence, and in the end, it will achieve decent results.

Keywords: computer games, artificial intelligence, unity, board game digitalization

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| Úvod  | 7         |
| <b>1 Příprava na výzkum strategie</b>             | <b>8</b>  |
| 1.1 Hraní s přáteli . . . . .                     | 8         |
| 1.2 Něco lepšího . . . . .                        | 8         |
| 1.3 Analýza . . . . .                             | 8         |
| <b>2 Vlastní zpracování hry</b>                   | <b>9</b>  |
| 2.1 Zpracování hry . . . . .                      | 9         |
| 2.2 Uživatelská dokumentace . . . . .             | 9         |
| 2.2.1 Průběh a pravidla hry . . . . .             | 9         |
| 2.2.2 Nastavení hry . . . . .                     | 12        |
| 2.2.3 Ovládání hry . . . . .                      | 12        |
| 2.2.4 Informační nápisy . . . . .                 | 14        |
| 2.2.5 Ukládání a načítání hry . . . . .           | 15        |
| 2.3 Programátorská dokumentace . . . . .          | 21        |
| 2.3.1 Unity rozhraní . . . . .                    | 21        |
| 2.3.2 Objekty a skripty . . . . .                 | 21        |
| 2.3.3 Algoritmy a datové struktury . . . . .      | 24        |
| 2.3.4 Ukládání a načítání . . . . .               | 25        |
| 2.3.5 Umělá inteligence . . . . .                 | 25        |
| <b>3 První Umělá Inteligence</b>                  | <b>26</b> |
| 3.1 Úvodní problematika . . . . .                 | 26        |
| 3.1.1 Chyby hry . . . . .                         | 26        |
| 3.1.2 Správné chování Umělé Inteligence . . . . . | 26        |
| 3.2 Ukládání analýzy . . . . .                    | 26        |
| <b>4 Zlepšování strategií</b>                     | <b>27</b> |
| 4.1 Základní zlepšení . . . . .                   | 27        |
| 4.1.1 Výběr nejlepší možnosti . . . . .           | 27        |
| 4.1.2 Volnější vyřazování akcí . . . . .          | 30        |
| 4.1.3 Změna pořadí akcí . . . . .                 | 33        |
| 4.2 Hlubší zkoumání stavu . . . . .               | 36        |
| 4.2.1 Vyhodnocení stavu hry . . . . .             | 36        |
| 4.2.2 Základní pravidla hodnocení stavu . . . . . | 37        |
| 4.2.3 Volba akce dle stavu . . . . .              | 38        |
| 4.3 Částečné cílové stavy . . . . .               | 39        |
| 4.3.1 Rychlý prodej . . . . .                     | 39        |
| 4.3.2 Stavební magnát . . . . .                   | 39        |
| 4.3.3 Pokrytí sítě . . . . .                      | 39        |
| 4.3.4 Vysoké úrovně . . . . .                     | 39        |
| 4.3.5 Analýza . . . . .                           | 39        |
| <b>Závěr</b>                                      | <b>41</b> |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| <b>Literatura</b>                     | <b>42</b> |
| <b>Seznam obrázků</b>                 | <b>43</b> |
| <b>Seznam tabulek</b>                 | <b>44</b> |
| <b>A Přílohy</b>                      | <b>45</b> |
| A.1 Složka Build hry . . . . .        | 45        |
| A.2 Složka Testovací buildy . . . . . | 45        |
| A.3 Složka Zdrojové kódy . . . . .    | 45        |

# Úvod

Strategické hry jsou podstatnou součástí herního trhu. Základní myšlenka, která stála u vzniku prvních videoher se zaměřením na strategické myšlení, vzešla z deskových her. Deskové hry měly vždy ke strategiím blízko vzhledem k jejich podstatě. U deskových her mají hráči většinou dostatek času si promyslet svůj další tah. Často se tak řídí podle nějaké strategie, která by měla přinést největší šanci na výhru.

V této práci se zaměříme na hledání takových strategií. Budeme je hledat konkrétně v prostředí hry "Brass: Birmingham". Jedná se o deskovou hru od vydavatele Roxley Games [1]. S komplexními pravidly a tahovým systémem se jedná o skvělou hru, ve které se vyskytuje spousta různých strategií, které můžeme prozkoumat.

V první části práce si hru naprogramujeme na počítači v Unity[2]. Dobře naprogramovaná hra je jedním ze zásadních důvodů vzniku této práce. Chtěli bychom dostat verzi hry s dostatečně pokročilou umělou inteligencí, proti které bude zábavné hru hrát.

Tato umělá inteligence bude hrát podle jasně předepsané strategie. Následně necháme různé verze umělé inteligence hrát několik her proti sobě navzájem. Budeme ukládat výsledky odehraných her, podle kterých zjistíme, která strategie je lepší, a kterou nemá smysl dále používat.

Na závěr si ukážeme jakou nejlepší strategii jsme objevili. Shrneme si výsledky zkoumání, objasníme si případné překvapivé poznatky a uvedeme si další možná vylepšení či výzkumy, které by mohli naši strategii ještě vylepšit.

Nejlepší z nalezených strategií přidáme do naprogramované hry. Hráči, kteří budou hru dále hrát, si mohou vychutnat výzvu v podobě překonávání umělé inteligence, používající nejlepší námi nalezenou strategii.

Jako inspirace pro programování strategií a umělé inteligence posloužila kniha Stuart J. Russell, Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th Edition) [3].

Ještě zde upozorníme na přílohy, ve kterých nalezneme "Build" hry, "Buildy" použité pro testování strategií a veškeré zdrojové kódy použité v této práci. Celý Unity projekt společně s dokumentací lze též nalézt na GitHubu <https://github.com/DaveRiha008/Brass-Birmingham>.

# 1 Příprava na výzkum strategie

Pro podrobné prozkoumání strategií ve hře jako je Brass: Birmingham potřebujeme jisté prostředky.

## 1.1 Hraní s přáteli

Opakované hraní s přáteli je sice velmi zábavné, ovšem bohužel nepřináší plné možnosti prozkoumání všech strategií. Takový přístup by byl příliš časově náročný. Pokud bychom hráli stále se stejnými soupeři, jistě bychom objevovali stále podobné situace, jelikož každý hráč má nějakou svou dominantní strategii, které se drží. Navíc by nám každý hráč nejspíš nedokázal nějak konstruktivně popsat svou strategii.

## 1.2 Něco lepšího

Nabízí se tedy jiná možnost. Můžeme si hru kompletně převést do elektronické verze. Tedy naprogramovat hru tak, aby se chovala přesně stejně jako desková verze.

Do takové verze si pak můžeme přidat jistou formu umělé inteligence. Ta bude strategie používat. Tím vyřešíme náš problém s nedostatkem různorodých hráčů a jejich nedostatek popisovacích schopností ohledně strategií. Umělá inteligence se totiž bude řídit danými pravidly, které budou naši strategii dokonale popisovat. Umělá inteligence bude též hrát mnohem rychleji než jakýkoliv člověk. Tím se nám řeší i problém s časovou složitostí. Sice nám bude nějakou dobu trvat hru naprogramovat a nastavit pravidla různých strategií, ovšem všechno čas se nám několikanásobně vrátí v počtu získaných vzorků v podobě dohraných her. Tyto hry, kde bude hrát pouze umělá inteligence sama proti sobě, jen s různými strategiemi, budou trvat pouhé vteřiny místo hodin.

## 1.3 Analýza

Ve chvíli, kdy budeme mít hru kompletně připravenou, můžeme nechat proběhnout jistý počet her, které budou ukládat data o úspěšnosti hráčů. Tato data poté můžeme použít pro analýzu strategií. Při dostatečném počtu vzorků nám tato analýza poskytne dostatečně důvěryhodné informace o tom, jak je která strategie úspěšná.



# 2 Vlastní zpracování hry

## 2.1 Zpracování hry

Hru si přepracujeme přesně, jak potřebujeme. Jelikož nemáme žádný základ, od kterého se odrazit, začneme s úplně prázdným projektem. Vhodným pro naše snažení je **Unity Engine**. Pro upravování budeme používat plně podporovaný editor **Unity Hub** [2].

Projekt založíme na výchozím nastavení 2D scény. Tato příprava je ideální, jelikož nebudeme potřebovat žádné 3D prvky.

Celý projekt tvoříme jako hru pro uživatele, kteří ji budou hrát proti sobě. Umělá inteligence je pouhý dodatek pro doplnění počtu hráčů. Tento přístup dá programu nádech reálné hry, ve které bude příjemnější zkoumat strategie.

Celá hra se řídí pravidly a snaží se přiblížit deskové verzi hry od Roxley Games [1].

Taková podoba elektronické verze hry je obsahem *Ročníkového projektu*.

Součástí projektu je jednoduchá verze umělé inteligence, která dokáže hru dohrát. Ovšem volí vždy pouze první možnost, kterou dostane. Tvoří tak ideální základ pro složitější přemýšlející algoritmy a pro aplikaci důkladnějších strategií.

Další kapitoly se věnují kompletní dokumentaci naprogramované hry ve verzi pro *Ročníkový projekt*. Tato verze klade důraz hlavně na funkčnost a hratelnost samotné hry. Umělá inteligence a strategie jsou hlavním tématem až kapitol 3 a 4.

## 2.2 Uživatelská dokumentace

### 2.2.1 Průběh a pravidla hry

Hra probíhá podle daných pravidel deskové hry. Přesná pravidla jsou k dispozici v dokumentu přímo od vydavatele *Roxley Games* [4].

#### Akce

Hlavní náplní uživatelské činnosti jsou herní **Akce**. Pokud započneme nějakou akci, hra nás bude vést k jejímu dokončení. Učiní tak zvýrazňováním objektů, které můžeme vybrat nebo použít. Také automaticky přesune kameru na potřebnou obrazovku, kde je třeba provést další krok.

Pro provedení každé akce potřebujeme zahodit kartu.

V každém kole můžeme provést maximálně 2 akce. Jedinou výjimkou je první kolo, kdy můžeme provést akci pouze jednu. Akci můžeme též vynechat a kolo ukončit bez ní. V takovém případě musíme za nevykonanou akci zahodit kartu.

- **Stavba** - Podle volby karty zvolíme budovu a místo pro budovu. Následně spotřebujeme suroviny 2.2.1 a peníze nutné pro stavbu vybrané budovy. Pokud vše proběhlo úspěšně, tak se budova postaví na vybrané místo a akce skončí.
- **Prodej** - Pokud máme postavenou budovu, kterou lze prodat obchodníkovi (přádelny, manufaktury, hrnčírství), můžeme ji otočit.

Pro takovou akci potřebujeme, aby byla daná budova propojena 2.2.1 s obchodníkem, který má na svém dílku vyobrazený její typ.

V poslední řadě potřebujeme mít k dispozici pivo 2.2.1. Prodávát můžeme libovolný počet budov v jediné akci, ovšem za každý prodej musíme spotřebovat pivo.

- **Půjčka** - Půjčka nám jednoduše zprostředkuje 30£ a odebere 3 úrovně příjmu.

- **Průzkum** - Akce průzkum vyžaduje volbu 3 karet, které zahodíme. Za odměnu si můžeme vybrat jednu z divokých karet, kterou si přidáme do ruky.

Průzkum nelze provést, pokud již v ruce držíme nějakou divokou kartu.

- **Vývoj** - Vývoj nám umožní dostat se rychleji k budovám vyšší úrovně. Za spotřebování jednoho železa 2.2.1 můžeme odhodit až 2 dílky budov z naší osobní desky 2.6.

Takto nelze odhodit dílky, které mají na sobě ikonu přeškrtnuté žárovky.

- **Síť** - Akcí síť můžeme přidávat dílky dopravních prostředků. Takto rozšíříme naši síť 2.2.1. Dílky můžeme přidávat pouze na místa spojů sousedících s naší sítí.

Tato akce se mění v různých érách 2.2.1. Během éry průplavů lze přidávat dopravní prostředky pouze na spoje označené jako průplav. V éře železnic je lze naopak přidávat pouze na spoje označené železnicí.

V různých érách se též mění cena a potřebné suroviny pro stavbu dopravních prostředků. V éře železnic vlaky vyžadují uhlí pro postavení 2.2.1. V éře železnic také lze postavit 2 dílky vlaků za jednu akci. V takovém případě je druhý vlak dražší a vyžaduje navíc 1 pivo.

## Moje síť a propojené lokace

Do "Naší sítě" spadají všechny lokace, na kterých máme postavenou vlastní budovu nebo u ní máme postavený dopravní prostředek.

Propojené lokace jsou takové lokace, mezi kterými vede nepřerušovaná cesta spojů zaplněná dopravními prostředky libovolného hráče.

## Spotřeba surovin

Pro různé suroviny jsou různé podmínky spotřeby.

- **Spotřeba uhlí** - Uhlí spotřebovává akce **Síť** v éře železnic nebo **Stavba** 2.2.1.

Pro spotřebu musí být stavěná budova nebo spoj propojen 2.2.1 s uhelným dolem, na kterém je nespotřebované uhlí. Lze však spotřebovat uhlí pouze z nejbližšího takového zdroje.

Pokud žádný takový důl neexistuje, může hráč uhlí spotřebovat z *trhu*. Na trhu se uhlí kupuje za peníze. Cena se mění s počtem spotřebovaného uhlí.

Pro nákup uhlí z trhu musí být stavěná budova nebo spoj propojen s libovolným obchodníkem.

- **Spotřeba železa** - Pro spotřebu železa není třeba být se zdrojem propojen. Lze spotřebovat z libovolné železárny s volným železem.

Pokud žádná taková železárna neexistuje, může si hráč koupit železo z *trhu*. Na trhu se železo kupuje za peníze. Cena se mění s počtem spotřebovaného železa.

- **Spotřeba piva** - Pivo je spotřebovááno během akce **Sít** v éře železnic při stavbě druhého dopravního prostředku za kolo a akce **Prodej** 2.2.1.

Pivo lze spotřebovat z libovolného pivovaru, který vlastníme. Pokud chceme spotřebovat pivo z jiného pivovaru, tak s ním musí být stavěný spoj nebo prodávaná budova propojena 2.2.1.

Během akce **Prodej** lze též využít pivo přítomné u obchodníka, kterému budovu prodáváme. Využití takového piva může přinést bonus zobrazený u obchodníka.

## Získávání příjmu a vítězných bodů

**Příjem** lze získat z otáčení dílků budov. Každý dílek má na osobní desce zobrazený příjem, který hráč získá ihned po otočení. Otočit dílek lze dvěma způsoby podle typu budovy. Prádelny, manufaktury a hrcičřství lze otočit po prodání obchodníkovi 2.2.1. Uhelné doly, železárny a pivovary lze otočit po spotřebě všech jejich surovin 2.2.1.

Dalším způsobem jak získat příjem je skrze odměnu obchodníka. Tuto odměnu může hráč získat spotřebováním piva obchodníka 2.2.1.

**Vítězné body** lze získat na konci každé éry 2.2.1. Počet získaných bodů záleží na otočených dílcích budov (počet bodů je uvedený na dílku) a postavených dopravních prostředcích, které vlastní daný hráč. Dopravní prostředky získají body podle sousedních otočených budov libovolných hráčů.

Vítězné body lze též získat jako odměnu za spotřebování piva u obchodníka 2.2.1.

## Průběh herního kola

Po dokončení všech dostupných **Akcí** 2.2.1 se nám zvýrazní tlačítko **Ukončit Kolo**. To značí, že již nemůžeme nic jiného dělat a jediná možnost je nechat hrát dalšího hráče v řadě.

Ve chvíli, kdy odehraje poslední z hráčů své kolo, pořadí hráčů se automaticky zamíchá podle utracených peněz a započne další rotace.

## Éry a fáze hry

Jakmile v lízacím balíčku dojdou karty, a žádný z hráčů v ruce nedrží žádnou kartu, dojde ke konci éry.

Pokud skončila éra průplavů, automaticky se ohodnotí všechny budovy a spoje, přiřadí se všem hráčům vítězné body a z desky se odstraní všechny objekty, které se v éře železnic nevyskytují. Následně se na obrazovce objeví informace

o dosavadním pořadí hráčů a tlačítko "Připraven" - viz obrázek 2.12. Po stisknutí tohoto tlačítka se na obrazovku vrátí hlavní herní deska a započne éra železnic.

Pokud skončila éra železnic, taktéž se přiřadí všechny vítězné body, ale objeví se finální obrazovka s gratulací vítězi a konečným pořadím hráčů - viz obrázek 2.13.

Z finální obrazovky lze:

- Přejít na nastavení další hry tlačítkem **Hrát Znovu**
- Přejít do hlavního menu tlačítkem **Hlavní Menu**

## Rozdíly od deskové verze

Podstatný rozdíl je ve veškeré přípravě hracích desek a počítání bodů, které počítačová verze dělá automaticky. Ve chvíli, kdy se tedy dostaneme do hry, vše je již připraveno a můžeme se pustit rovnou do hraní. První obrazovka, kterou vidíme je hlavní herní deska - viz obrázek 2.3.

### 2.2.2 Nastavení hry

Ihned po spuštění hry je nám k dispozici pár tlačítek. Jak je vidět na obrázku 2.1, můžeme si zde vybrat jedno z tlačítek:

- **Ukončit Hru** - Ukončí program.
- **Pravidla Hry** - Otevře webový prohlížeč s pravidly hry.
- **Začít Hru** - Přesune nás na další obrazovku s nastavením hry.

Pokud si zvolíme poslední možnost, můžeme si hru nastavit. Lze vidět na obrázku 2.2.

- Tlačítka **Přidat/Odebrat Hráče** si můžeme určit, kolik hráčů bude celkem ve hře přítomno. Toto číslo se podle pravidel hry může vyskytovat v rozmezí 2–4.
- Tlačítka **Přidat/Odebrat AI** si můžeme určit, kolik hráčů bude nahrazeno umělou inteligencí. Toto číslo tedy neurčuje kolik hráčů se přidá jako umělá inteligence, nýbrž kolik hráčů nebude možno ovládat. Jejich řízení převezme počítač.

Počet AI může být jakýkoliv v rozmezí 0–3. Nesmí ovšem převýšit celkový počet hráčů–1. Ve hře musí být alespoň 1 lidský hráč. *(Pozn.: Toto pravidlo je ignorováno v pozdější části bakalářské práce - výzkum strategií probíhá ve hrách se 4 hráči nahrazenými AI)*

Zbytek tlačítek na této obrazovce je identický s těmi v hlavním menu. Jediný rozdíl je v tlačítku **Začít Hru**, které nás tentokrát přenesse přímo do hry.

### 2.2.3 Ovládání hry

Ovládání přímo ve hře je možné dvěma způsoby. Myší nebo klávesnicí. Ovšem pro kompletní ovladatelnost je vždy potřeba myš. Výběr karet, budov nebo lokací je možný pouze kliknutím myši.

## Myš

Většina ovládacích prvků vyžaduje, aby na ně uživatel myší klikl. To znamená namíření kurzoru na požadovaný prvek a stisknutí levého tlačítka.

Pro ovládání myši se na obrazovce vyskytují tlačítka.

V této oblasti je klíčový tzv. **HUD** (*Head-up display*). Tato část obrazovky je fixovaná na kameru, proto se nepohybuje se scénou. Skládá se z několika tlačítek, jak je vidět například na obrázku 2.3.

- **Stavba, Prodej, Půjčka, Průzkum, Vývoj, Síť** - Tato tlačítka započnou akci odpovídající popisku 2.2.1.
- **Hlavní/Osobní deska** - Přesune kameru na Hlavní nebo na Osobní desku. Výběr destinace záleží na aktuální pozici kamery.
- **Pomoc** - Přesune kameru na pomocnou kartu s nápovědou k pravidlům hry.
- **Ukončit Kolo** - Ukončí kolo právě hrajícího hráče a předá hru do rukou dalšího hráče v pořadí.
- **Uložit, Načíst Hru** - Uloží aktuální stav hry do lokálního úložiště nebo načte hru z lokálního úložiště resp. - viz 2.2.5
- **Ukončit Hru** - Ukončí program (stejně jako v hlavním menu). Pozor! Hra se před ukončením programu sama neukládá.

V **HUD** se mohou objevit další 2 tlačítka. Nejsou viditelná, dokud nejsou splněny jisté podmínky. Obě jsou vidět na obrázku 2.6.

- **Zrušit** - Viditelné v průběhu provádění akce. Zruší prováděnou akci a navrátí veškeré provedené změny.
- **Hotovo** - Viditelné pouze v případě, kdy je právě prováděná akce dokončitelná, ale lze v ní pokračovat. Mezi takové akce patří *Síť ve druhé éře, Prodej a Vývoj*.

Mimo tlačítka se myši také vybírají karty, budovy a lokace. Pokaždé, kdy je možné a potřebné na některý z těchto objektů kliknout, zvýrazní se zeleným rámečkem - viz obrázky 2.4, 2.6 a 2.7.

Pokud se pomocí myši chceme podívat na ruku nebo odhazovací balíček, je potřeba nejdříve přejít na **Osobní desku** požadovaného hráče. Zde lze kliknout na vyobrazené karty pod nápisy "Ruka" nebo "Odhaz. bal.".

Posledním ovládacím prvkem, který lze měnit myší je kamera:

- **ZOOM** - Točením kolečka myši nahoru se kamera k objektům a hracím deskám přiblíží a točením dolů se zase oddálí.
- **Pohyb** - Držením pravého tlačítka myši a pohybem kurzoru se kamera bude posouvat po aktuální obrazovce.

## Klávesnice

Ovládání klávesnicí je pouze doplňkové a neobsahuje plnou podporu hry. Podporu mají tyto klávesy:

- W,A,S,D - Pohyb kamery nahoru, doleva, dolů, doprava resp.
- K - Přesun kamery na hlavní herní desku
- P - Přesun kamery na osobní desku
- H - Přesun kamery na pomocnou kartu s nápovědou
- V - Přesun kamery na ruku hráče s jeho kartami
- C - Přesun kamery na odhazovací balíček hráče
- N - Ukončí kolo

### 2.2.4 Informační nápisy

Ve hře se vyskytuje několik textů ve formě informačních nápisů. Tyto nápisy napomáhají hráči se ve hře lépe orientovat.

#### Nastavení hry

Jak je vidět na obrázku 2.2, při nastavení hry se na obrazovce vyskytují 2 informační nápisy. Tyto nápisy zde zobrazují aktuálně zvolený počet hráčů a aktuální počet hráčů nahrazených umělou inteligencí

#### HUD

Jak je dobře vidět například na obrázcích 2.3 a 2.5, tak v **HUD** se zobrazuje více informačních nápisů:

- **Aktuální akce** - Zobrazeno v pravém horním rohu, vlevo od tlačítka **Pomoc**. Zobrazuje aktuálně prováděnou akci.
- **Informace o změně** - Zobrazeno v horní části obrazovky velkým textem. Toto oznámení se zobrazí pouze na několik vteřin a postupně zmizí. Oznamuje hráči důležitou herní změnu. Mezi taková oznámení patří úspěšné dokončení akce, zrušení akce nebo změna hrajícího hráče. Viz obrázek 2.9.
- **Neschopnost dokončení** - Zobrazeno v horní části obrazovky velkým textem pod **Informací o změně**. Napsáno oranžovou barvou. Oznamuje hráči, proč nemůže dokončit aktuální akci. Při zrušení aktuální nespílitelné akce pomalu zmizí. Lze schovat kliknutím myši. Přesný vzhled na obrázku 2.10.
- **Aktuální požadavek** - Zobrazeno v pravé části obrazovky. Říká hráči, co je po něm aktuálně vyžadováno. Přesný vzhled na obrázku 2.8.
- **Peníze** - Zobrazeno v pravé spodní části obrazovky, pod **Aktuálním požadavkem**. Zobrazuje počet peněz hrajícího hráče.

- **Zbylé akce** - Zobrazeno vedle **Peníze**. Oznamuje hrajícímu hráči kolik akcí ještě může toto kolo provést.
- **Vybraná budova** - Zobrazeno v pravém dolním rohu obrazovky. Pro přehlednost akce **Stavba 2.2.1** je zde zobrazena budova, kterou si hráč zvolil. Simuluje "Držení dílku v ruce".

### Hlavní herní deska

Na hlavní herní desce můžeme vidět jména hráčů a veškeré jejich veřejné informace. Tyto informace se vyskytují vlevo od portrétů postav. Jsou seřazeny dle aktuálního pořadí hráčů.

Na sudech vpravo od portrétů postav jsou číslicemi napsány počty utracených peněz hráči v této rotaci. Podle těchto hodnot se na konci rotace určuje další pořadí hráčů.

Taktéž je zde zvýrazněno červeným kolečkem, který z hráčů je na řadě. Viz obrázek 2.3

### Osobní deska

Na osobní desce jsou v levé části obrazovky zobrazeny všechny informace o hráči, jemuž tato deska patří. Tyto informace jsou: Jméno, peníze, příjem (kolik peněz hráč dostane na konci aktuální rotace), příjmové body (body, kterými se řídí příjem) a výherní body (určují vítěze). Viz obrázek 2.6.

### Obrazovka mezi érami a finální výherní obrazovka

Na obrazovce mezi érami i na finální výherní obrazovce je vyobrazeno pořadí hráčů a jejich informace v dané chvíli. Viz obrázky 2.12 a 2.13.

## 2.2.5 Ukládání a načítání hry

Hra podporuje mechaniku ukládání a načítání. Má ovšem jednoduchou možnost jednoho uložení a jednoho načtení.

To znamená, že pokud uložíme hru, minulý soubor s uloženou hrou se přepíše a ztratíme možnost se k ní vrátit.

Pokud hru načteme, pak se načte hra z jediného souboru, který u hry existuje a ztratí se aktuální stav hry.



Obrázek 2.1 Hlavní menu.



Obrázek 2.2 Nastavení hry.





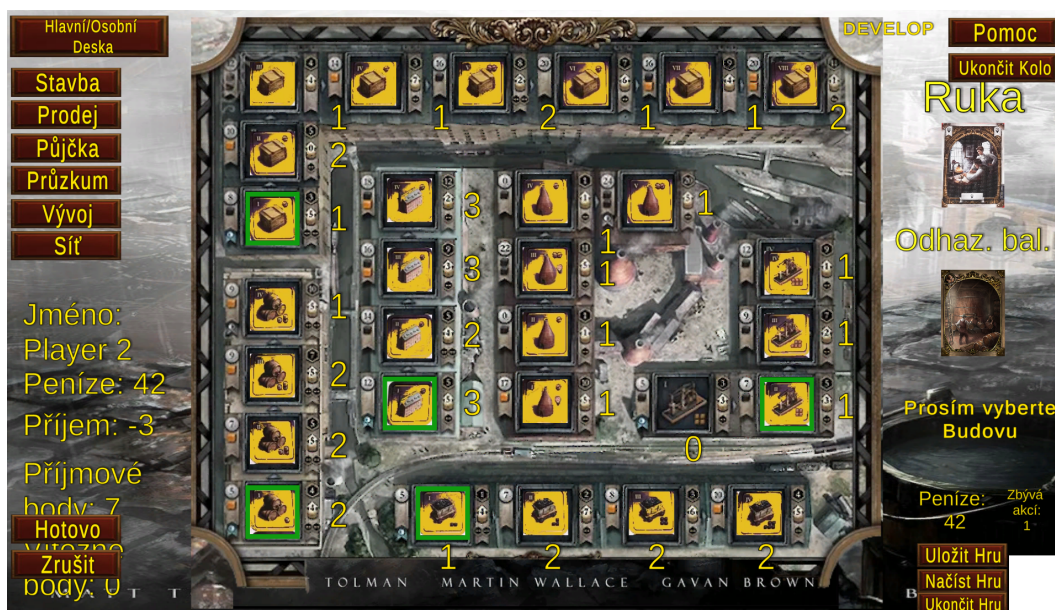
Obrázek 2.3 Hlavní herní deska.



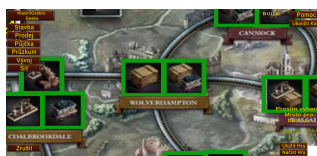
Obrázek 2.4 Karty v ruce hráče - vybírání karty.



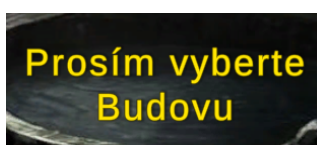
Obrázek 2.5 Odhazovací balíček hráče.



Obrázek 2.6 Osobní deska hráče - výběr budovy.



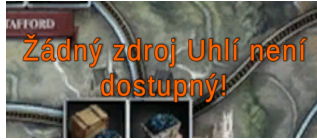
Obrázek 2.7 Zvýraznění možných lokací pro akci.



Obrázek 2.8 Popis akce, kterou by měl hráč provést.



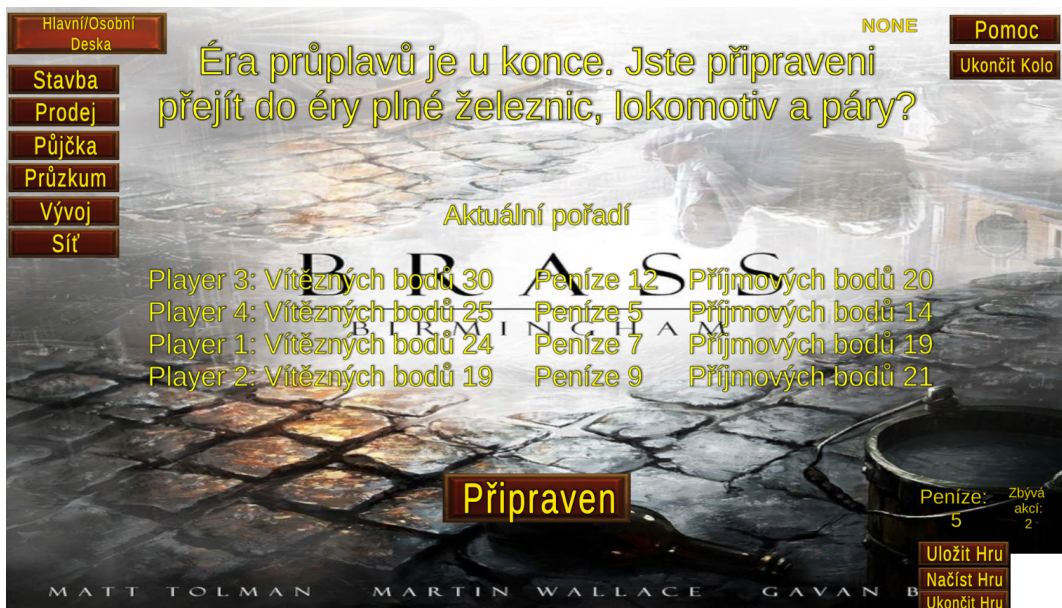
Obrázek 2.9 Oznámení o změně stavu hry.



Obrázek 2.10 Oznámení proč nelze aktuální/minulou akci dokončit.



Obrázek 2.11 Pomocná karta s nápovědou.



Obrázek 2.12 Obrazovka mezi érami.



Obrázek 2.13 Finální obrazovka.

## 2.3 Programátorská dokumentace

### 2.3.1 Unity rozhraní

Program je kompletně vyvíjen v **Unity Enginu**. Je rozdělen do čtyř scén: **MainMenu**, **GameSetup**, **Game** a **VictoryScreen**. Veškeré objekty jsou doplňovány **C#** skripty, které jim dávají žádoucí funkce.

#### Sestavení a spuštění

Sestavení (neboli **Build**) lze provést bez složitého nastavování. Jediný požadavek je nastavení scény **MainMenu** jako první v pořadí. O další přepínání scén se starají skripty.

#### Rozdělení objektů

Některé objekty ve scénách jsou rozděleny hierarchicky. Skripty mohou být na tomto rozdělení závislé, proto se nedoporučuje hierarchii příliš měnit.

Ne všechny objekty jsou v editoru viditelné. Karty, budovy, dílky obchodníků, dopravní prostředky a suroviny jsou přidány až dynamicky na začátku hry. Vytváří se na předem určená místa. Jejich nastavení je viditelné v **prefabech** nebo v souboru **Constants.cs**.

#### Nastavení objektů

Objekty scény jsou nastaveny pečlivě, aby jejich pozice, velikost a vlastnosti skriptů odpovídali hře.

Pokud se typ objektu během hry objevuje vícekrát než jednou, má vytvořený **prefab**, ze kterého jsou odvozeny všechny instance.

Veškeré nastavení, které nelze najít přímo v **Unity Editoru**, se nachází ve statickém skriptu (nenachází se ve scéně) **Constants.cs**. Zde můžeme najít a upravit vlastnosti programu jako: Cesty k prefabům, nastavení základních aspektů hry, počty karet, počty budov a pevná jména objektů scény, podle kterých se mohou objekty hledat ve skriptech.

### 2.3.2 Objekty a skripty

#### Singletony a statické objekty

Program obsahuje takzvané **Singletony**. Jedná se o objekty, které se neničí při změně scény, jsou statické (tedy nemají instance) a jsou tedy všudypřítomné. Použité singletony v tomto programu jsou **GameManager 2.3.2** a **ActionManager 2.3.2**.

Vyskytují se zde také jiné statické objekty. Tedy takové, které jsou sice vázané pouze na jednu scénu (v našem případě "Game"), ale přesto v ní nejsou přímo viditelné. Takové objekty jsou například: **ObjectManager2.3.2**, **CardManager2.3.2** nebo **AIManager2.3.2**.

**GameManager** má přehled o celé hře. Proto má podobu **Singletonu**. Stará se hlavně o nastavení hry (počet hráčů), správný běh herního kola, vlastnosti hráčů (např. peníze), hodnocení vítězných bodů a přepínání scén.

Mimo jiné je to zde, kde se dá nastavit **Seed** pro náhodný generátor. Tedy pokud je potřeba, může hra být plně deterministická a vždy se odehrávat stejně.

**ActionManager** se stará o správný postup provedení libovolné akce.

Zde je též řešení problému rušení akce, které vyžaduje krátkodobé navrácení stavu hry do stavu před zahájením akce.

**ObjectManager** má na starosti veškeré nestatické objekty ve scéně. Jedinou výjimkou jsou karty, které má na povel **CardManager** 2.3.2.

V tomto velkém skriptu jsou uloženy informace o všech objektech. Hlavním smyslem je tedy možnost získat libovolnou informaci o libovolném objektu nebo jeho vztahu s jiným objektem. Obstarává správné vytvoření a případné zničení objektů.

Mimo jiné zde probíhají algoritmy pro nalezení spojení mezi lokacemi, dostupnost surovin nebo nalezení sítě hráče. Viz 2.3.3.

**CardManager** se stará o karty. Jinými slovy má uloženy objekty lízacích balíčků, obsahuje funkce pro líznutí, výběr, zahození karty apod.

Jednou z funkcí CardManageru je srovnávání karet v ruce nebo odhazovacím balíčku hráče do úhledného čtverce kolem středu obrazovky.

Obsahuje též informace o všech vytvořených kartách a jejich pozici (v balíčku, v ruce, odhozená). Zároveň zaručuje vytvoření, míchání a případné ničení karet.

**AIManager** má na starost správné ovládání umělé inteligence. Kontroluje, kdy má AI hrát, co má dělat a cokoliv, co se s umělou inteligencí děje.

Obsahem AIManageru ovšem není přesné vykonávání akcí umělou inteligencí a její strategie. O to se stará odlišný skript **AIBehaviour** a jeho potomci. V AIManageru je pouze uložena informace, který hráč má používat kterou strategii.

Více informací o přítomné umělé inteligenci viz 2.3.5.

## Kamera

Kamera ve scéně **Game** má speciální skript. Tento skript zaručuje funkčnost **ZOOMu** a **Pohyb po scéně**.

**ZOOM** je funkce, která pomáhá s přehledností a čitelností nápisů a textur. Zvětšuje a zmenšuje velikost kamery.

Pohyb po scéně je zcela klíčový element. Zaručuje možnost pohybovat se po aktuální obrazovce (herní deska, ruka, pomocná karta) v případě, že je kamera přiblížená. Tento pohyb je omezený jasnými hranicemi dané obrazovky.

Druhou možností pohybu je změna obrazovky. Tato část skriptu kamery pouze přepne pozici kamery na žádanou obrazovku.

## Dílky budov

Dílky budov nejsou přítomny přímo ve scéně. Jsou přidávány až při spuštění **ObjectManagerem** 2.3.2. Jsou automaticky přiřazeny na svá místa na osobních deskách. Všechny informace o počátečním stavu těchto objektů jsou ve skriptu **Constants.cs** nebo v prefabu dílku v adresáři **Resources/Tiles**.

Skript dílků obsahuje informace, zda je postaven, kde je postaven (prostor pro stavbu 2.3.2), a další.

Dílky, které mohou obsahovat nějaké suroviny, mají speciální skript. Ten dědí od skriptu obecné budovy. Tyto dílky jsou: Pivovary, Uhelné Doly a Železárny.

## Lokace

Lokace jsou fixně nastavené objekty ve scéně. Slouží hlavně jako objekty hierarchie, pod které se dají umístit **Prostory pro stavbu** 2.3.2.

Tyto objekty též slouží pro hledání spojení a cest na herní desce. Proto obsahují i informace o svých sousedních lokacích.

Na tyto lokace se též odkazují karty s definovanou lokací.

## Obchodníci

Obchodníci jsou speciální typ **Lokace** 2.3.2. Každý může být obsazen **Dílky Kupce** (pokud je ve hře dostatečný počet hráčů).

Neobsahují žádné **Prostory pro stavbu** 2.3.2. Slouží tedy pouze pro zjišťování, zda má hráč přístup k obchodování s budovami.

**Dílky kupců** se tvoří na začátku hry **ObjectManagerem** 2.3.2 a následně se náhodně rozřadí mezi přítomné lokace obchodníků.

## Prostory pro stavbu

Prostory pro stavbu jsou objekty ve scéně. Jsou závislé na **Lokaci** 2.3.2, pod kterou jsou v hierarchii umístěny.

Jejich hlavním úkolem je držet na sobě postavené **Dílky budov** 2.3.2. Proto obsahují informace o dílku na nich postaveném a funkce, které na prostor dílek přidají nebo jej odstraní. Tohoto skriptu se též můžeme zeptat, zda zde můžeme daný dílek postavit nebo to momentálně není možné.

## Suroviny

Suroviny jsou malé objekty, které nemají ani vlastní skript. Slouží pouze pro zobrazení jejich přítomnosti v různých zdrojích. Vnitřní informaci o jejich přítomnosti obsahují skripty samotných zdrojů.

**Dynamické suroviny budov** mají jako zdroj **Dílky budov** 2.3.2. Takové dílky mají speciální zděděný skript od obecného dílku. Ten obsahuje navíc informace o přítomných surovinách a funkce pro jejich tvorbu nebo ničení.

**Trhy se surovinami** jsou speciální objekty ve scéně. Každý trh (Uhlí a Železo) je přítomný pouze jednou. Trh slouží pro poskytování surovin za peníze, pokud nejsou dostupné z dílků budov 2.3.2.

Musí tedy obsahovat informaci o aktuální ceně suroviny a funkce pro přidávání nejdražší suroviny a odebírání nejlevnější suroviny.

**Sudy piva u obchodníků** jsou speciální zdroje surovin. Tyto suroviny jsou doplňovány na začátku hry a při změně éry.

Je tedy potřeba pouze informace, zda je pivo ještě přítomné a jaká je odměna za jeho odebrání.

Tyto zdroje jsou ve scéně vedeny speciálně v hierarchii pod obchodníky.

### 2.3.3 Algoritmy a datové struktury

#### Datové struktury

Vě většině programu se používají jednoduché datové struktury pro přístup k paměti. Mezi takové patří `List`, `Array` a `Dictionary`.

Jedinou výjimkou je použití `Queue` při prohledávání prostoru propojených lokací 2.3.3.

#### Hledání sítě hráče

Algoritmus pro vyhledání kompletní sítě hráče je napsaný jednoduše.

Prochází všechny lokace 2.3.2. Každou lokaci, kde má hráč postavenou alespoň jednu budovu, přidá do sítě.

Následně prochází všechny postavené dílky spojů hráče. Všechny lokace spojené daným dílkem přidá též do sítě (pokud tam již nejsou).

#### Hledání propojených lokací

Pokud chceme zjistit, zda jsou 2 lokace 2.3.2 propojené, nabízí se možnost prohledávání do šířky (**DFS** - Depth first search) - viz <https://www.geeksforgeeks.org/depth-first-search-or-dfs-for-a-graph/>.

Spustíme tedy prohledávání do šířky, kde:

- Vrcholy jsou lokace
- Hrany jsou obsazené spoje
- Počáteční vrchol je jedna z lokací, které mají být propojené

Hledáme, dokud nenarazíme na druhou požadovanou lokaci nebo nebude prázdná fronta.

#### Hledání dostupných obchodníků

Pokud se snažíme zjistit, zda je daná lokace 2.3.2 propojená s obchodníkem 2.3.2, stačí použít algoritmus prohledávání do šířky (**DFS** - Depth first search) zmíněný v hledání propojených lokací 2.3.3.



Rozdíl nastává pouze ve skutečnosti, že nehledáme pouze jednu propojenou lokaci, ale hledáme libovolného obchodníka, který obsahuje námi požadovanou surovinu.

### 2.3.4 Ukládání a načítání

Ukládání a načítání stavu hry probíhá prostřednictvím **serializace**. Všechny objekty, které má smysl ukládat a načítat musí splňovat **Interface ISaveable**. Tento interface vyžaduje funkce pro naplnění dat do speciální struktury pro daný objekt ve třídě **SaveData** a opětovné načtení dat z příložené instance **SaveData**.

Třída **SaveData** je označena jako **Serializable**, a tedy ji lze uložit jako text do souboru typu **JSON**.

Umístění a jméno souboru, ve kterém je stav hry uložený lze změnit ve skriptu **Constants.cs**.

Při načítání objektů se kompletně restartuje stav **ObjectManageru2.3.2**, podobně jako na začátku nové hry. Až poté se načítají jednotlivé objekty. Tím se zamezí problémům s přesunem a změnou všech již postavených budov nebo použitých surovin.

### 2.3.5 Umělá inteligence

Umělá inteligence v hratelné verzi hry je velice jednoduchá, přesto funkční a důvěryhodná pro začínající hráče.

Pokud aktuálně není spuštěná žádná akce 2.2.1 a umělá inteligence je na řadě, pak zvolí jednu akci a započne ji. Akce má předem pevně seřazeny podle potenciálního přínosu. Toto rozdělení vychází z pouhého logického uvážení, a proto nemusí být zdaleka ideální - viz 4.1.3. Pořadí je: **Prodej, Stavba, Síť, Vývoj, Průzkum, Půjčka**.

Pokud je v procesu nějaká akce, pak umělá inteligence dělá cokoli, co je po ní vyžadováno. Např.: Pokud má vybrat kartu, pak si zjistí, jaké má karty a jednu vybere. Výběr se řídí jednoduchým principem - vybírá první možnost, která se naskytne.

Pokud nemůže v dané chvíli nic vybrat, zruší probíhající akci a označí ji jako nesplnitelnou. Pokud ovšem je akce úspěšně dokončitelná, pak ji v této situaci dokončí místo zrušení. Po zrušení zkusí další akci v pořadí.

Pokud nemůže zahrát žádnou akci, pak předčasně ukončí kolo.

Celá tato strategie je obsažena v základní třídě **AIBehaviour**. Zlepšující strategie by měli dědit od této třídy.

Vyskytuje se zde jasný potenciál vylepšit strategii umělé inteligence. Vylepšení může být ve směru lepšího vybírání možností, adaptivního pořadí akcí, nezhazování celých akcí, ale pouze předešlých výběrů a další.

# 3 První Umělá Inteligence

## 3.1 Úvodní problematika

Základní úlohou pro přidání umělé inteligence do hry není vymyslet důkladnou strategii nebo postup, kterým se inteligence bude řídit. Nejdříve je potřeba připravit hru a kódovou architekturu tak, aby se dala hrát bez jakéhokoliv příspěvku uživatele.

Pro takovou možnost se nabízí využít třídu **ActionManager** 2.3.2. V této třídě jsou již připraveny všechny funkce pro provádění herních akcí. Stačí je tedy pouze zavolat z jiné třídy, která bude zastupovat umělou inteligenci.

Větší problém spočívá ve vybírání jednotlivých možností pro dokončení dané akce. Doposud bylo možné tyto volby provádět pouze klikáním myši. Je tedy třeba připravit hru tak, aby šlo získat všechny možnosti výběru. Jakmile je třída, zastupující umělou inteligenci, schopna získat všechny možnosti, které může zvolit, stačí pouze jednu vybrat a zavolat stejnou funkci, jež by se zavolala kdyby tuto možnost zvolil uživatel myši.

### 3.1.1 Chyby hry

Používání prvních verzí umělé inteligence, které umí hru dohrát do konce, a tedy hru hrát opakovaně, nám pomůže objevit skryté **BUGY** neboli chyby hry.

Tyto chyby se často nachází v zákoutích hry, které by možná lidští uživatelé dlouho nenašli. Proto se umělí hráči mohou v tomto případě jevit jako skvělý způsob testování a ladění hry.

Na opravování těchto schovaných zákoutí hry se velmi hodí ukládání a načítání stavu hry 2.2.5.

### 3.1.2 Správné chování Umělé Inteligence

Po odladění všech jasně viditelných chyb hry v podobě chybových hlášek musíme zkontrolovat správné chování hráčů nahrazených umělou inteligencí. Je třeba zjistit, zda opravdu hrají podle pravidel, nepodvádí a zda se někde nezasekávají nebo nevzdávají akce předčasně.

## 3.2 Ukládání analýzy

Ve chvíli, kdy se chová autonomní běh hry podle našich představ, je třeba začít získávat nějaká základní analytická data. Pro tento účel se jeví jako jednoduché řešení **serializace**, kterou již hra používala na ukládání a načítání stavu hry 2.2.5.

Při ukončení hry a před přechodem na finální vítěznou obrazovku uložíme pořadí hráčů a jejich vítězné body do textového souboru typu **JSON**. Tyto body reprezentují jakýsi ekvivalent úspěšnosti strategie.

Pro účely náhodnosti výsledků her v **GameManageru** 2.3.2 vypneme pevný *Seed* pro náhodný generátor. Tímto docílíme zcela náhodných výsledků.

## 4 Zlepšování strategií

Nyní máme plně funkční prostředí pro náš výzkum strategií. Máme základ ve formě primitivní umělé inteligence, která v pevném pořadí zkouší provést akce a při výběru karet, budov, lokací a surovin vždy vybírá první možnost, která se jí naskytne.

### 4.1 Základní zlepšení

Jako první vylepšení vyzkoušíme brát z možností výběru nějakou lepší položku než hned tu první. 4.1.1

Dále vyzkoušíme trochu zvolnit podmínku pro označení akce jako *'nesplnitelnou'*. Nejdříve tedy zkusíme zvolnit několik možností a až poté přejdeme na jinou akci. 4.1.2

Další vylepšení se nabízí v oblasti pořadí akcí. Vyzkoušíme různá pořadí a poté zkusíme pořadí dynamicky měnit v průběhu hry. 4.1.3

#### 4.1.1 Výběr nejlepší možnosti

Vybírat lepší možnost můžeme na základě několika kritérií. Pro každý výběr se tato kritéria liší.

Stručně si uvedme, co nám přináší příjem či vítězné body. Na základě těchto odměn budeme hodnotit přínos jednotlivých výběrů. Podrobnější informace nalezneme v pravidlech hry 2.2.1.

- **Příjem** lze získat za otočení budovy = prodání budovy obchodníkovi nebo vyčerpání veškerých surovin. Další možností získání příjmu je použití piva obchodníka při prodeji.
- **Vítězné body** lze získat na konci éry 2.2.1. Získávají se za každý otočený dílek budovy a postavený dopravní prostředek, který sousedí s otočenými dílky budov. Vítězné body lze též získat jako odměnu za použití piva u obchodníka.

#### Výběr Karty

Na výběru karty záleží hlavně v případě akce **Stavba** 2.2.1. Náš výběr budeme tedy mířit hlavně na ni.

Pokud vybíráme kartu pro **Stavbu**, pak zkusíme vybrat takovou, která nám dá nejvíce možností výběru budovy a místa.

V opačném případě, kdy vybíráme kartu pro jinou akci, tedy přesněji ji *zahazujeme*, vybereme takovou, která má tyto možnosti nejmenší. Chceme si nechat ty nejlepší karty pro **Stavbu**.

Pokud v ruce máme **Divokou kartu**, pak ji vždy vybereme pro **Stavbu**. Je totiž jisté, že bude mít možnosti nejširší. Naopak ji zahodíme až jako poslední možnost pro jinou akci, jelikož je jistě cennější než všechny ostatní karty v naší ruce.

Když v akci **Průzkum** vybíráme, kterou **Divokou kartu** si lízneme, použijeme stejný přístup. Zjistíme s jakou kartou bychom měli více možností a tu si vybereme.

## Výběr Budovy

Pro výběr budovy budeme brát v potaz její vlastnosti jako cenu nebo potenciální zisk příjmu a vítězných bodů. Důležitost těchto vlastností se liší podle prováděné akce.

Pro **stavbu** bude důležitá cena, potenciální odměna za otočení dílku budovy a její typ.

Pro **prodej** záleží pouze na odměně za otočení dílku budovy.

Pro **vývoj** záleží na skutečnosti, zda nám zbyde dostatek budov daného typu, na získané potenciální odměně, zda vyvíjíme budovu, která již nelze postavit a na další specifických informacích u specifických budov.

## Výběr Místa pro Budovu

Při výběru místa pro budovu se budeme řídit potenciálním přínosem postavených budov nebo případně potenciálním prodejem budovy.

Budeme tedy vybírat místo s maximálním přínosem. Tento přínos spočítáme jako maximální přínos postavené budovy.

Pokud již máme zvolenou budovu, kterou budeme stavět (vybrali jsme ji v dřívější fázi akce **Stavba 2.2.1**), pak je tento přínos pevně daný vybranou budovou.

Jestli ještě budovu vybranou nemáme, pak musíme projít všechny možné budovy, které bychom na dané místo mohli postavit a vybereme maximum z jejich přínosů.

Pokud lze vybranou budovu prodat (*přádelna*, *manufaktura* nebo *hrnčířství*), pak se podíváme, zda je k danému místu připojený správný obchodník. Pokud ano, přičteme k přínosu podstatnou sumu, jelikož máme přímou možnost dílek budovy otočit a získat tak odměnu.

Naopak odečteme podstatnou sumu od míst, kde se již nachází některá naše budova. Pokud totiž zvolíme dané místo a přestavíme postavenou budovu, přijdeme o potenciální přínos přestavěné budovy.

Pokud se na daném místě ovšem nachází budova, která naše není, můžeme k přínosu lehce přidat, jelikož tak ubereme potenciální přínos jinému hráči.

## Výběr Místa pro Síť

Výběr sítě záleží na spojení s novými obchodníky, připojení nových zdrojů surovin a počtu potenciálních vítězných bodů za spojené budovy.

U možných míst pro umístění našeho dopravního prostředku si opět spočítáme přínos na základě těchto vlastností.

Postavené budovy mohou na konci éry přinést vítězné body každému sousednímu dopravnímu prostředku. Proto si při výběru místa pro síť zjistíme jaké jsou okolo postavené budovy. Za každou takovou budovu přičteme místu pro síť přínos na základě její potenciální odměny za sousední síť. Doposud neotočené dílky přidávají méně přínosu než ty otočené.

Další možnost, která místu pro síť zvedne přínos, jsou zdroje surovin. Pokud je na okolních místech postavený *pivovar* nebo *uhelný důl* (zdroje, které musí být připojeny k naší síti pro spotřebu), který ještě není součástí naší sítě, zvýšíme přínos.

Posledním ohledem, který ovlivňuje zajímavost místa pro síť jsou obchodníci. Pokud místo přímo připojuje obchodníka, pak má důrazně zvýšený přínos.

V opačném případě zohledníme vzdálenost k nejbližšímu nepřipojenému obchodníkovi. Za každý dílek vzdálenosti od takového obchodníka lehce ubereme přínos. Tato úprava by měla sloužit pouze pro rozhodnutí mezi stejně přínosnými místy pro síť. Je vždy lepší se trochu přiblížit nějakému obchodníkovi než nikoliv.

## Výběr Zdroje Suroviny

Různé suroviny potřebujeme pro různé akce 2.2.1. Přínos jejich zdrojů závisí tedy na jejich podmínkách ke spotřebě. Ty nalezneme v pravidlech hry 2.2.1.

Podíváme se, zda mezi zdroji není nějaký zdroj, který vlastníme. V tom případě jej chceme co nejrychleji vyčerpát, abychom si mohli daný dílek otočit. Primárně tedy bereme náš zdroj s nejmenším počtem surovin.

V případě, že žádný náš zdroj nemůžeme použít, pak se musíme obrátit na cizí zdroje. Takové zdroje naopak nechceme vyčerpát, aby soupeř neotočil dílek. Primárně tedy bereme cizí zdroj s nejvyšším počtem surovin.

Pokud není k dispozici ani cizí zdroj, nemáme na výběr nic jiného než si surovinu koupit z trhu v případě železa a uhlí.

Při výběru piva v akci **Prodej** 2.2.1 bereme především pivo od obchodníků, jelikož nabízejí lukrativní odměny, které jinak nezískáme.

## Analýza

Nyní si otestujeme, zda jsme tímto vylepšením zvýšili úspěšnost naší umělé inteligence. Necháme odehrát 200 her, ve kterých budou dva hráči zastoupeni umělou inteligencí s lepším výběrem možností a dva hráči zastoupeni základní umělou inteligencí vybírající první možnost.

| Strategie   | Výhry | 2.Místa | 3.Místa | 4.Místa | Výherních bodů |
|-------------|-------|---------|---------|---------|----------------|
| Lepší výběr | 60    | 56      | 53      | 31      | 5061           |
| Lepší výběr | 35    | 35      | 46      | 84      | 4194           |
| Vyber první | 56    | 60      | 51      | 33      | 4990           |
| Vyber první | 49    | 49      | 50      | 52      | 5000           |

**Tabulka 4.1** Analytická tabulka pro vylepšení jednotlivých výběrů

| Strategie      | Výhry (%) | 2.Místa (%) | 3.Místa (%) | 4.Místa (%) | Výherních bodů (%) |
|----------------|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| Lepší výběr    | 30.0      | 28.0        | 26.5        | 15.5        | 26.3               |
| Lepší umístění | 17.5      | 17.5        | 23.0        | 42.0        | 22.0               |
| Vyber první    | 28.0      | 30.0        | 25.5        | 16.5        | 26.9               |
| Vyber první    | 24.5      | 24.5        | 25.0        | 26.0        | 25.4               |

**Tabulka 4.2** Analytická tabulka pro vylepšení jednotlivých výběrů procentuální

Jak můžeme vidět na tabulkách 4.1 a 4.2, tak jsme bohužel žádného znatelného vzrůstu v úspěšnosti nedosáhli. Hráč 1 s lepším výběrem možností sice docílil nejlepších umístění, ale hráč 2 se stejným vylepšením se umísťoval nejhůře ze všech. Testy nám tedy neprokázaly žádný důkaz o vylepšení, ovšem ani o zhoršení. Můžeme tedy předpokládat, že je umělá inteligence s lepším výběrem obecně podobně úspěšná jako výběr první možnosti.

V dalších testech budeme tedy používat převážně lepší výběr možností. Je možné, že se výhoda tohoto vylepšení projeví až v dalších verzích. Například ve výběru karet vybíráme sice kartu, která nám poskytne nejširší možnosti, ovšem následně zkusíme stále pouze jeden výběr. Proto zkusíme vybírat možností více.

### 4.1.2 Volnější vyřazování akcí

Doposud jsme vždy při jakémkoliv nedostatku možností ihned označili celou akci za nedokončitelnou. To by se ovšem nemuselo vždy vyplatit.

Uvažme situaci, kdy konáme akci **Stavba**. Vybrali jsme podle nás nejlepší kartu a lokaci pro budovu i budovu, ale nemáme k lokaci připojený *uhelný důl*. Tedy nám chybí uhlí pro postavení budovy. Místo označení stavby jako nedokončitelnou akci bychom mohli pouze zvolit budovu, která nevyžaduje uhlí. Potenciálně tak postavíme budovu, která má podobný potenciální přínos.

Přesně na takové situace se zaměříme v této kapitole.

### Úpravy základních funkcí

Nejdříve musíme upravit některé funkce umělé inteligence, aby dokázala zpracovávat akce opakovaně.

Tato úprava se týká funkcí na získávání možností výběru. Tam musíme zakomponovat vyřazování již vyzkoušených možností.

Dále musíme upravit vybírání možností tak, že pokud opakujeme akci, nechceme správně zvolené možnosti hledat stále dokola. Proto si při opakování uložíme výběry, které nechceme měnit a při dalším průběhu je jednoduše zvolíme bez jakéhokoliv dalšího propočítávání výběru. Tato úprava spadá spíše do kategorie optimalizace, než do kategorie nutných součástí.

### Vyřazování možností

Kdykoliv narazíme na situaci, kdy nemáme žádnou možnost výběru, pak víme, že některý z našich minulých výběrů byl chybný a můžeme jej změnit. Možností, kdy nemůžeme akci dokončit je několik. Proto každou řešíme zvlášť.

**Žádné karty** Jelikož výběr karty se nachází na začátku každé akce, pak při nedostatku karet nemůžeme dělat nic jiného než akci opravdu označit za nedokončitelnou.

**Žádné budovy** Pokud nemáme na výběr žádné budovy, pak máme více možností.

Pokud provádíme akci **Prodej** nebo **Vývoj**, pak výběru budovy předchází pouze výběr karty. A jelikož výběr karty u těchto akcí nemění další průběh, nemáme jinou možnost než celou akci označit jako nedokončitelnou.

Pokud ovšem provádíme akci **Stavba**, tak můžeme změnit naše předešlá rozhodnutí. Pokud jsme již vybrali místo pro budovu, tak toto místo označíme jako nevhodné a zkusíme akci zopakovat. Pokud jsme místo ještě nevybrali, pak provedeme totéž, ale s vybranou kartou.

**Žádná místa pro budovu** Tato možnost se může objevit pouze při akci **Stavba**.

Při nedostatku výběru místa můžeme postupovat podobně jako u nedostatku možností výběru budovy. Pokud jsme již vybrali budovu, pak ji můžeme označit za nevhodnou a **Stavbu** následně zkusit znovu. Pokud jsme ještě budovu ne zvolili, pak jsme vybrali nevhodnou kartu. Označíme ji tedy a **Stavbu** opakujeme.

**Žádné pivo** Pokud nám v dokončení akce brání nedostatek dostupných zdrojů piva, pak můžeme zkusit změnit minulá rozhodnutí. Pivo potřebujeme v akcích **Síť** v éře železnic a **Prodej**.

V případě akce **Síť** můžeme označit vybrané místo pro síť jako nevhodné a akci zkusit opakovat. Je možné, že nějaké jiné místo bude se zdrojem piva spojeno.

V případě **Prodeje** můžeme postupovat obdobně. Zkusíme tedy vybrat jinou budovu k prodeji.

**Žádné uhlí** Pokud nemáme dostatek zdrojů uhlí, pak se můžeme vyskytovat v akcích **Stavba** nebo **Síť** v éře železnic.

V případě **Stavby** zjistíme, zda jsme nejdříve volili místo pro budovu nebo samotnou budovu. Pokud jsme nejdříve volili místo pro budovu, pak za nevhodnou označíme vybranou budovu. V opačném případě označíme vybrané místo pro budovu. Tímto si zajistíme, že ve výběrovém stromě měníme rozhodnutí nejbližší k listům. Po označení akci opakujeme. Při změně se můžeme dostat buď na místo, kde je zdroj uhlí dostupný nebo vybrat budovu, která uhlí pro postavení nepotřebuje.

V případě **Sítě** v éře železnic nemáme jinou možnost než zkusit vybrat jiné místo pro síť, ze kterého by mohl být nějaký zdroj uhlí dostupný.

**Žádné železo** Tento problém nastat nemůže, jelikož je vždy k dispozici trh se železem, kde je možné si jej odkoupit. Může tak ovšem nastat problém, kdy na železo z trhu nemáme dostatek peněz. To vyřešíme později v 4.1.2

**Žádné místo pro síť** V případě, kdy se dostaneme do situace, kde není možné umístit jediný dílek sítě, nemáme jinou možnost než označit akci **Síť** jako nedokončitelnou.

**Nedostatek peněz** Tento problém je velice rozšířený a může nastat v několika situacích. Ty vyřešíme odděleně:

- **Na postavení budovy** - Tento problém řeší hra za nás, jelikož nám nedovolí si zvolit budovu, na kterou nemáme dostatek peněz.
- **Na nákup železa** - Pokud musíme kupovat železo z trhu, znamená to, že nikde v herním světě není postavena *železárna*. Placení za železo se tedy nijak nevyhneme a jediná možnost je při akci **Stavba**, kdy můžeme zkusit zvolit jinou budovu, která nebude železo pro svou výstavbu potřebovat.
- **Na nákup uhlí** - Pokud musíme kupovat uhlí z trhu, znamená to pouze, že na dané stavěné lokaci není k dispozici žádný *uhelný důl*, který by nám poskytl uhlí zdarma. Máme tedy možnost jak v akci **Stavba**, tak v akci **Sít**, zkusit zvolit jinou lokaci, ve které důl k dispozici bude. Případně v akci **Stavba** můžeme zkusit zvolit budovu, která nevyžaduje uhlí k výstavbě.
- **Na postavení sítě** - Při nedostatku peněz pro stavbu sítě nemáme na výběr nic jiného než označit akci **Sít** jako nedokončitelnou.

**Nedostatek příjmu** Tento problém nastává jen v případě akce **Půjčka**. V této akci jinak volíme pouze kartu, jejíž výběr ovšem nic nemění. Přímo tedy musíme celou akci označit jako nedokončitelnou.

## Rekurze

Můžeme si všimnout, že způsob kterým jsme definovali aktuální zamítání akcí a výběrů se bude chovat rekurzivně. Například při akci **Stavba** nejdříve měníme poslední výběr (například budovu), po vyčerpání možností měníme druhý výběr (například místo pro budovu) a nakonec měníme výběr karty.

Abychom se nedostávali do příliš velkých časových složitostí, je vhodné zadat pevný limit, kolikrát se může jedna akce opakovat.

## Analýza

Nyní se opět podíváme, zda nám vylepšení v podobě volnějšího zavrlování akcí přineslo větší úspěšnost. Opět necháme odehrát 200 her. Tentokrát proti sobě necháme hrát dva hráče s volnějším zahazováním akcí, jednoho hráče s lepším výběrem možností a jednoho základního hráče vybírajícího první možnost.

| Strategie           | Výhry | 2.Místa | 3.Místa | 4.Místa | Výherních bodů |
|---------------------|-------|---------|---------|---------|----------------|
| Volnější zahazování | 87    | 45      | 40      | 28      | 8071           |
| Volnější zahazování | 50    | 60      | 49      | 41      | 7532           |
| Lepší výběr         | 36    | 57      | 55      | 52      | 7227           |
| Vyber první         | 27    | 38      | 56      | 79      | 6569           |

**Tabulka 4.3** Analytická tabulka pro volnější zahazování akcí



| Strategie           | Výhry (%) | 2.Místa (%) | 3.Místa (%) | 4.Místa (%) | Výherních bodů(%) |
|---------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| Volnější zahazování | 43.5      | 22.5        | 20.0        | 14.0        | 27.5              |
| Volnější zahazování | 25.0      | 30.0        | 24.5        | 20.5        | 25.6              |
| Lepší výběr         | 18.0      | 28.5        | 27.5        | 26.0        | 24.6              |
| Vyber první         | 13.5      | 19.0        | 28.0        | 39.5        | 22.3              |

**Tabulka 4.4** Analytická tabulka pro volnější zahazování akcí procentuální

Z tabulek 4.3 a 4.4 je zřejmé, že volnější vyřazování akcí je mnohem úspěšnější než jiné dosavadní strategie. Zdá se tedy, že plnění dřívějších akcí z našeho pevně daného pořadí přináší lepší výsledky. Pro další vylepšení tedy budeme používat jako základ pouze umělou inteligenci používající strategii volnějšího vyřazování akcí.

### 4.1.3 Změna pořadí akcí

#### Různá pevná pořadí

Do této chvíle jsme používali stále stejné pevné pořadí akcí, podle kterého se umělá inteligence řídila. Akce byly vykonávány v pořadí **Prodej, Stavba, Síť, Vývoj, Průzkum a Půjčka**. Toto pořadí se zdálo být nejefektivnější, a proto vypadalo vhodné pro testování jiných vylepšení. Co když ale není ideální. Proto se podíváme i na jiná pevná uspořádání akcí a porovnáme je s tím dosavadním.

Než se vrhneme do testování, uveďme pár základních poznatků.

- **Půjčka** by měla vždy být poslední možnost. Dokud máme peníze na akce, které nám mohou přinést zisk a vítězné body, není důvod brát si půjčku.
- **Vývoj** by měl být až po **Stavbě**. Pokud můžeme budovu postavit, dostaneme větší zisk než když ji vyvineme.
- **Průzkum** by měl být až po **Stavbě**. V jiné akci než **Stavba** divoké karty nevyužijeme. Pokud můžeme stavět i bez divoké karty, měli bychom využívat normálních karet.
- **Prodej** by měl být vždy na prvním místě. Jelikož je nejméně pravděpodobné, že prodej dokončíme úspěšně, můžeme jej dát na první místo a ve většině případů se i tak dostaneme k dalším akcím. Navíc je **Prodej** nejjednodušší a nejefektivnější způsob jak otočit dílky a tedy i získat příjem a vítězné body.

Pokud se budeme držet uvedených poznatků, tak se nám možnosti pro poskládání pořadí akcí důrazně zúží.

Zbudou:

- Prodej, Stavba, Síť, Vývoj, Průzkum, Půjčka (původní pořadí)
- Prodej, Stavba, Síť, Průzkum, Vývoj, Půjčka
- Prodej, Stavba, Vývoj, Síť, Průzkum, Půjčka

- Prodej, Stavba, Vývoj, Průzkum, Síť, Půjčka
- Prodej, Stavba, Průzkum, Vývoj, Síť, Půjčka
- Prodej, Stavba, Průzkum, Síť, Vývoj, Půjčka
- Prodej, Síť, Stavba, Vývoj, Průzkum, Půjčka
- Prodej, Síť, Stavba, Průzkum, Vývoj, Půjčka

## Analýza

Opět provedeme analýzu změny pořadí akcí, abychom zjistili, která z možností je nejlepší. Budeme procházet opět vzorek 200 her. Ovšem tentokrát se neobejdeme bez testování vícero konfigurací, jelikož permutací máme 8 a hra je maximálně pro 4 hráče.

Najdeme tedy nejlepší pořadí pomocí hraní ve skupinách. Rozdělíme možnosti na 2 poloviny a ty necháme hrát proti sobě. Následně vezmeme 2 nejlepší z každé skupiny, které necháme hrát ve "finále". Nejlepší hráč finále bude označen jako celkově nejlepší.

| Strategie           | Výhry | 2.Místa | 3.Místa | 4.Místa | Výherních bodů |
|---------------------|-------|---------|---------|---------|----------------|
| Pro,St,Sí,Vý,Prů,Pů | 90    | 51      | 29      | 30      | 6914           |
| Pro,St,Sí,Vý,Prů,Pů | 68    | 58      | 28      | 46      | 6895           |
| Pro,St,Vý,Sí,Prů,Pů | 31    | 56      | 65      | 48      | 4375           |
| Pro,St,Vý,Prů,Sí,Pů | 11    | 35      | 78      | 76      | 4384           |

**Tabulka 4.5** Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - 1. skupina

| Strategie           | Výhry (%) | 2.Místa (%) | 3.Místa (%) | 4.Místa (%) | Výherních bodů (%) |
|---------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| Pro,St,Sí,Vý,Prů,Pů | 45.0      | 25.5        | 14.5        | 15.0        | 30.6               |
| Pro,St,Sí,Vý,Prů,Pů | 34.0      | 29.0        | 14.0        | 23.0        | 30.6               |
| Pro,St,Vý,Sí,Prů,Pů | 15.5      | 28.0        | 32.5        | 24.0        | 19.4               |
| Pro,St,Vý,Prů,Sí,Pů | 5.5       | 17.5        | 39.0        | 38.0        | 19.4               |

**Tabulka 4.6** Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - 1. skupina procentuální

| Strategie           | Výhry | 2.Místa | 3.Místa | 4.Místa | Výherních bodů |
|---------------------|-------|---------|---------|---------|----------------|
| Pro,St,Prů,Vý,Sí,Pů | 89    | 56      | 37      | 18      | 7929           |
| Pro,St,Prů,Sí,Vý,Pů | 60    | 60      | 56      | 24      | 6889           |
| Pro,Sí,St,Vý,Prů,Pů | 27    | 49      | 86      | 38      | 4511           |
| Pro,Sí,St,Prů,Vý,Pů | 24    | 35      | 21      | 120     | 4558           |

**Tabulka 4.7** Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - 2. skupina

| Strategie           | Výhry (%) | 2.Místa (%) | 3.Místa (%) | 4.Místa (%) | Výherních bodů(%) |
|---------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| Pro,St,Prů,Vý,Sí,Pů | 44.5      | 28.0        | 18.5        | 9.0         | 33.2              |
| Pro,St,Prů,Sí,Vý,Pů | 30.0      | 30.0        | 28.0        | 12.0        | 28.8              |
| Pro,Sí,St,Vý,Prů,Pů | 13.5      | 24.5        | 43.0        | 19.0        | 18.9              |
| Pro,Sí,St,Prů,Vý,Pů | 12.0      | 17.5        | 10.5        | 60.0        | 19.1              |

**Tabulka 4.8** Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - 2. skupina procentuální

| Strategie           | Výhry | 2.Místa | 3.Místa | 4.Místa | Výherních bodů |
|---------------------|-------|---------|---------|---------|----------------|
| Pro,St,Sí,Vý,Prů,Pů | 76    | 59      | 39      | 26      | 5953           |
| Pro,St,Sí,Prů,Vý,Pů | 49    | 55      | 49      | 47      | 5695           |
| Pro,St,Prů,Vý,Sí,Pů | 21    | 43      | 61      | 75      | 4068           |
| Pro,St,Prů,Sí,Vý,Pů | 54    | 43      | 51      | 52      | 5511           |

**Tabulka 4.9** Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - finále

| Strategie           | Výhry (%) | 2.Místa (%) | 3.Místa (%) | 4.Místa (%) | Výherních bodů(%) |
|---------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| Pro,St,Sí,Vý,Prů,Pů | 38.0      | 29.5        | 19.5        | 13.0        | 28.0              |
| Pro,St,Sí,Prů,Vý,Pů | 24.5      | 27.5        | 24.5        | 23.5        | 26.8              |
| Pro,St,Prů,Vý,Sí,Pů | 10.5      | 21.5        | 30.5        | 37.5        | 19.2              |
| Pro,St,Prů,Sí,Vý,Pů | 27.0      | 21.5        | 25.5        | 26.0        | 26.0              |

**Tabulka 4.10** Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - finále procentuální

Z tabulek 4.9 a 4.10 můžeme vidět, že naše původní teorie o pevném pořadí Prodej, Stavba, Síť, Vývoj, Průzkum, Půjčka byla pravdivá a tato posloupnost je skutečně nejúspěšnější ze všech pevných posloupností akcí.

### Dynamická změna pořadí

Další možností je měnit důležitost a tedy i pořadí akcí v průběhu hry. Pro takovou funkci ovšem budeme potřebovat dodatečné informace o celkovém stavu hry 4.2.1. Podle těchto informací poté můžeme například zjistit, zda nemáme již dostatečnou síť a je třeba více prodávat nebo naopak. Dále můžeme zjistit, zda nemáme příliš málo vyvinuté budovy a již je nemůžeme stavět -> posuneme důležitost vývoje nahoru. Všechny tyto možnosti probereme v další kapitole.

## 4.2 Hlubší zkoumání stavu

Jako další možné vylepšení strategie naší umělé inteligence zkusíme prozkoumat celý stav hry. Doposud byl náš "dohled" pouze do aktuální akce a dokázali jsme vyhodnotit pouze právě vybranou možnost a pouze její okamžitý užitek. Nyní se pokusíme zhodnotit celý stav hry před a po akci.

### 4.2.1 Vyhodnocení stavu hry

Pro vyhodnocení stavu hry potřebujeme zjistit jaké objekty se ve hře nacházejí a jaký mají dopad. Pro tyto účely nám poslouží funkce **ObjectManageru** 2.3.2. Samozřejmě získáváme pouze informace, které jsou veřejné nebo k nim právě hrající hráč má přístup. Umělá inteligence totiž nesmí porušovat pravidla, které lidští hráči musí dodržovat.

Jakmile máme k dispozici všechny objekty aktuálně přítomné ve hře, můžeme je začít hodnotit. Každému objektu přiřadíme hodnotu podle jeho typu.

- **Postavené budovy** - Budovy hrajícího hráče, které již postavil hodnotíme na základě jejich získaného příjmu a vítězných bodů při otočení 2.2.1. Takto zhodnotíme dopad akce **Stavba**.
- **Nepostavené budovy** - Nepostavené budovy hodnotíme též podle jejich potenciálního zisku příjmu a vítězných bodů. Hodnotíme však pouze nepostavené budovy, které jsou právě na řadě k postavení. Takto zhodnotíme dopad akce **Vývoj**.
- **Síť** - Každý dílek postavené sítě zhodnotíme podle potenciálního zisku vítězných bodů na konci éry. Vezmeme tedy do úvahy všechny okolní budovy a jejich přínos vítězných bodů pro dílky sítě. Takto zhodnotíme dopad akce **Síť**.
- **Připojení obchodníků** - Pokud akcí **Síť** připojíme k naší síti nějakého obchodníka, je vhodné to ocenit. Potenciálně nám může přinést možnost otočit naše dílky a tedy i přinést vítězné body a příjem.
- **Dostupné suroviny**

- **Uhlí** - Uhlí přítomné na herní desce v *uhelných dolech* hodnotíme pouze pokud je propojené s naší sítí a tedy jej můžeme čerpat pro vlastní účely. Uhlí zhodnotíme podle aktuální ceny uhlí na trhu.
- **Železo** - Železo, přítomné na libovolné *železárně*, hodnotíme stejně, jelikož je nám vždy k dispozici. Železo hodnotíme podle jeho aktuální ceny na trhu.
- **Pivo** - Pivo hodnotíme zvláště pro naše *pivovary* a pro cizí. Naše *pivovary* hodnotíme všechny s malým bonusem, jelikož z nich můžeme čerpat vždy a navíc nám jejich čerpání přinese zisk. Cizí *pivovary* hodnotíme pouze pokud jsou propojeny s naší sítí.
- **Karty** - U karet můžeme hodnotit divoké karty. Takto zhodnotíme dopad akce **Průzkum**.
- **Atributy hráče** - Asi nejdůležitější aspekt hry, který potřebujeme zhodnotit jsou atributy hráče. Konkrétně *Peníze, příjem, vítězné body a utracené peníze*. Toto ohodnocení nám řekne přímé vlastnosti stavu pro hrajícího hráče. Mimo jiné tímto například ohodnotíme dopad akce **Prodej**

Všem hodnotám můžeme přiřadit různé váhy, abychom docílili různých výsledků. Dle těchto hodnot lze určovat strategii. Na tuto oblast se zaměříme v kapitole "*Částečné cílové stavy*" 4.3.

#### 4.2.2 Základní pravidla hodnocení stavu

Ať budeme upravovat vyhodnocování stavu hry jakkoliv, existují jistá pravidla, která je dobré dodržovat z logických důvodů. Tato pravidla jsou:

- **Půjčka** by měla mít jako akce nulovou hodnotu. Logicky by měla být půjčka poslední možností, když hráč nemá dostatek peněz na žádnou jinou akci. Z tohoto pravidla tedy plyne vztah mezi hodnocením peněz a příjmu. Konkrétně by měl mít příjem 10krát vyšší hodnotu než peníze.
- Hodnota utracených peněz by měla být téměř mizivá. Tento atribut pouze určuje pořadí v dalším kole, které není tak důležité jako jiné okolnosti.
- Hodnota surovin se liší, pokud se nachází na námi vlastněném zdroji či nikoliv. Suroviny na našem zdroji by měli mít vyšší hodnotu, jelikož jejich spotřeba nám může otočit dílek.
- Hodnota uhlí by se měla zvýšit v éře železnic. Tehdy je více žádané, jelikož je potřeba pro stavbu **Sítě**.
- Postavené budovy by měli být hodnoceny na základě faktu, zda již jsou otočené, či nikoliv. Pokud je budova otočená, přinese nám jisté body, proto by měla mít vyšší hodnotu vítězných bodů. Na druhou stranu nám již nemůže přinést příjem, takže za něj by neměla dostat hodnotu žádnou.

### 4.2.3 Volba akce dle stavu

Když máme k dispozici kompletní ohodnocení stavu hry, můžeme se podle něj začít řídit. Například můžeme efektivně dynamicky měnit pořadí akcí, které konáme.

Dříve jsme měli pevně danou posloupnost, ve které jsme konali první akci, kterou jsme dokázali dokončit.

Nyní můžeme vyzkoušet všechny akce. Po provedení akce porovnáme celkový stav hry se stavem před jejím provedením. Následně se můžeme podle těchto stavů rozhodnout, kterou akci zvolíme. Zpravidla to bude právě ta akce, ze které vzejde nejlépe hodnocený stav.

Akce, které nelze dokončit budou mít nekonečně zápornou hodnotu. Možnost neprovedení žádné akce bude mít lehce zápornou hodnotu, abychom zamezily mrhání akcemi.

#### Analýza

Otestujeme, zda naše adaptivní volba akce přinesla vyšší úspěšnost. Necháme proběhnout 200 her, kde nahradíme jednoho hráče umělou inteligencí se strategií adaptivní volby akce dle stavu hry a zbylé 3 hráče nahradíme umělou inteligencí s pevným pořadím akcí. Konkrétní pevná pořadí hráčů budou právě 3 nejúspěšnější pořadí dle výzkumu různých pevných pořadí 4.1.3.

| Strategie           | Výhry | 2.Místa | 3.Místa | 4.Místa | Výherních bodů |
|---------------------|-------|---------|---------|---------|----------------|
| Adaptivní akce      | 80    | 60      | 42      | 18      | 9910           |
| Pro,St,Sí,Vý,Prů,Pů | 41    | 48      | 49      | 62      | 6305           |
| Pro,St,Sí,Prů,Vý,Pů | 59    | 51      | 51      | 39      | 6754           |
| Pro,St,Prů,Sí,Vý,Pů | 20    | 41      | 58      | 81      | 6490           |

**Tabulka 4.11** Analytická tabulka pro volbu akce dle stavu hry

| Strategie           | Výhry (%) | 2.Místa (%) | 3.Místa (%) | 4.Místa (%) | Výherních bodů (%) |
|---------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| Adaptivní akce      | 40.0      | 30.0        | 21.0        | 9.0         | 33.6               |
| Pro,St,Sí,Vý,Prů,Pů | 20.5      | 24.0        | 24.5        | 31.0        | 21.4               |
| Pro,St,Sí,Prů,Vý,Pů | 29.5      | 25.5        | 25.5        | 19.5        | 22.9               |
| Pro,St,Prů,Sí,Vý,Pů | 10.0      | 20.5        | 29.0        | 40.5        | 22.1               |

**Tabulka 4.12** Analytická tabulka pro volbu akce dle stavu hry procentuální

Podle tabulek 4.11 a 4.12 můžeme prohlásit, že dynamická změna pořadí akcí podle hodnocení celkového stavu hry je opravdu úspěšnější než-li jiná pevná pořadí akcí. Můžeme tedy další strategie odvíjet od umělé inteligence, která akce volí dynamicky, nikoliv podle předem připraveného pořadí.

## 4.3 Částečné cílové stavy

Nyní se podíváme na různé strategie, které budou mít jasný částečný cíl. Částečný ve smyslu, kdy celkovým cílem je vyhrát.

K plnění těchto částečných cílů můžeme umělou inteligenci navést pomocí změny vah a hodnot při hodnocení stavu hry 4.2.

### 4.3.1 Rychlý prodej

První z logických cílových stavů a strategií je **Rychlý prodej**, Tato strategie se snaží co nejrychleji dostat do situace, kdy může prodat některou ze svých budov. Dá se říci, že se tak hladově snaží získat co nejvíce bodů z otočených dílků *přádelen, manufaktur a hrnčírství*.

Pro nasměrování umělé inteligence na tento cíl potřebujeme nastavit vyšší hodnoty pro propojení s obchodníky a pro budovy, které lze prodat.

### 4.3.2 Stavební magnát

Směr **Stavební magnát** dává největší důraz na poskytování surovin. Prodej v tomto případě není až tak důležitý jako výstavba co největšího počtu budov se surovinami, které se stavbou dalších budov snažíme využít a otočit tak vlastní dílky.

Umělou inteligenci na tento cíl nasměrujeme snadno tak, že nastavíme budovám generujícím nějakou surovinu vyšší hodnotu.

### 4.3.3 Pokrytí sítě

Dalším možným směrem, kterým se můžeme vydat, je takzvané **Pokrytí sítě**. Během této strategie se snažíme vybudovat co možná nejrozlehlejší síť. Vítězné body tak získáme pouhým spojováním otočených dílků.

Na tento cíl nasměrujeme umělou inteligenci zvýšením hodnoty pro postavení libovolné sítě. Také můžeme snížit veškeré hodnoty pro **Vývoj** a **Průzkum**, jelikož nám na budovách ani kartách tolik nezáleží. Budovy však budeme potřebovat, jinak nebudeme mít pro budování sítě dostatek peněz.

### 4.3.4 Vysoké úrovně

Strategií, která se také nabízí, je strategie **Vysokých úrovní**. Tato strategie klade větší důraz na **Vývoj**. Snaží se tak co nejdříve dostat k budovám vyšší úrovně, které mají také vyšší přínos příjmu a vítězných bodů.

Nasměrujeme tedy umělou inteligenci přidáním hodnoty více vyvinutým budovám.

### 4.3.5 Analýza

Provedeme analýzu strategií, abychom zjistili, která z nich je ta nejúspěšnější. Necháme odehrát 200 her, kde každého hráče nahradíme umělou inteligencí s jiným částečným cílem.

| Strategie       | Výhry | 2.Místa | 3.Místa | 4.Místa | Výherních bodů |
|-----------------|-------|---------|---------|---------|----------------|
| Rychlý prodej   | 37    | 62      | 69      | 32      | 8617           |
| Stavební magnát | 13    | 25      | 40      | 122     | 6245           |
| Pokrytí sítě    | 98    | 50      | 36      | 16      | 9639           |
| Vysoké úrovně   | 52    | 63      | 55      | 30      | 8493           |

**Tabulka 4.13** Analytická tabulka pro různé částečné cíle

| Strategie       | Výhry (%) | 2.Místa (%) | 3.Místa (%) | 4.Místa (%) | Výherních bodů(%) |
|-----------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| Rychlý prodej   | 18.5      | 31.0        | 34.5        | 16.0        | 26.2              |
| Stavební magnát | 6.5       | 12.5        | 20.0        | 61.0        | 18.9              |
| Pokrytí sítě    | 49.0      | 25.0        | 18.0        | 8.0         | 29.2              |
| Vysoké úrovně   | 26.0      | 31.5        | 27.5        | 15.0        | 25.7              |

**Tabulka 4.14** Analytická tabulka pro různé částečné cíle procentuální

Z tabulek 4.13 a 4.14 můžeme vidět, že v tomto rozložení strategií zcela dominuje strategie **Pokrytí sítě**. Můžeme ji tedy považovat za tu nejúspěšnější. Ovšem je zřejmé, že ve chvíli, kdybychom nechali hrát 4 stejné hráče se strategií **Pokrytí sítě**, tak nebudou v ohledu vítězných bodů příliš úspěšní. Potřebují totiž hrát proti někomu, kdo bude primárně dodávat budovy se surovinami a své dílky budov otáčet, jelikož to je jediný způsob, jakým síť získává vítězné body.

Dále vidíme, že strategie **Rychlý prodej** sice není ve vítězstvích stejně úspěšná jako **Vysoké úrovně**, ale získává větší počet vítězných bodů. Proto můžeme tyto strategie obě považovat za dostatečně úspěšné.

Nejlepšími ze zkoumaných strategií nakonec tedy zůstávají postupně **Pokrytí sítě**, **Vysoké úrovně** a **Rychlý prodej**. Strategie **Stavební magnát** se projevila jako poměrně neúspěšná, přestože bychom možná čekali opak.



# Závěr

Tato práce měla dva hlavní cíle. Nejdříve jsme chtěli naprogramovat hru "Brass: Birmingham" tak, aby bylo příjemné ji hrát. Úspěšně jsme připravili celou hru, která fungovala podle komplexních pravidel jejího deskového vzoru. V této první části jsme pouze zavadili o použití umělé inteligence. Přidali jsme podporu pro vnitřní samovolné ovládání hry, aby si hráči mohli hru zahrát i v případě, že například neměli dostatek spoluhráčů.

Jako druhý cíl jsme si stanovili výzvu nalézt co možná nejúspěšnější strategii, podle které by umělá inteligence mohla hrát. Hledali jsme různá vylepšení a postupy hraní. Nejdříve jsme se pokoušeli jen hladově zvolit nejlepší možnost jednoho výběru. Následně jsme se pokusili opakovaně dokončit důležitější akce dříve než bychom přešli k jiným akcím. Tyto důležité akce jsme zkusili proházet, abychom zjistili, které z nich jsou úspěšnější. Dále jsme se zkusili podívat na věci z širší perspektivy a zkoušeli jsme zhodnotit celkový stav hry, podle kterého jsme volili akce dynamicky během hry místo předem určeného pořadí. Nakonec jsme využili vyhodnocení stavu pro zaměření strategií na určitý částečný cíl, který se pro nás stal prioritou. Mezi těmito částečnými cíli jsme se pokusili nalézt ten nejpřínosnější.

U každého vylepšení jsme věřili, že nám oproti těm minulým přinese větší úspěšnost. Tato předsevzetí jsme následně testovali v dostatečných kvantech, abychom si mohli být jistější, že jsme měli pravdu. Ne vždy jsme ji měli, ovšem v drtivé většině případů jsme s každým krokem dostávali do rukou úspěšnější umělou inteligenci. Testování jsme prováděli skrze opakované hraní různých umělých inteligencí proti sobě navzájem. Nakonec jsme si otestovali různé směry, kterými můžeme strategii vést a odnesli jsme si tak hned několik poznatků o tom, kterou strategii máme do naší hry přidat, aby byla co nejzábavnější.

Jsme si však vědomi, že námi nalezená a vylepšovaná umělá inteligence není zcela ideální. Jistě by mohla být i úspěšnější po dalším výzkumu. Zejména u poslední fáze našeho výzkumu jsme narazili na upravování hodnot při hodnocení herního stavu. Konkrétně v tomto případě by bylo vhodné použít 'Evoluční algoritmus', který by zmíněné hodnoty upravoval a podle výsledků testů je mohl optimalizovat.

Další zlepšení se nabízí v již zmíněném hodnocení stavu hry. Během našeho výzkumu jsme jej využili pouze pro volbu herní akce. Potenciální vylepšení by však mohlo nastat při volbě karet, budov či jiných součástí hry na základě celkového herního stavu.

Nesmíme též opomenout možnost pohledu do budoucích stavů a implementace nějaké verze 'Minimax' algoritmu.

I samotná hra nabízí prostor pro několik vylepšení. Je v aktuální verzi sice funkční, mimo neobjevené chyby, ovšem chybí v ní několik detailů, díky kterým by se mohla hrát příjemněji.

V konečném důsledku jsme však v této práci byli schopni vytvořit zábavnou hru, která může pro hráče představovat i jistou výzvu a je možné u ní strávit několik hodin.

# Literatura

1. ROXLEY GAMES. *Brass: Birmingham Board Game* [online]. [cit. 2024-07-02]. Dostupné z: <https://roxley.com/products/brass-birmingham-deluxe-edition>.
2. UNITY TECHNOLOGIES. *Unity* [online]. [cit. 2024-07-04]. Dostupné z: <https://unity.com/>.
3. RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter. *Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th Edition)*. Pearson, 2020. ISBN 9781292401133. Dostupné také z: <http://aima.cs.berkeley.edu/>.
4. ROXLEY GAMES. *Brass: Birmingham Rules* [online]. [cit. 2024-07-03]. Dostupné z: <http://files.roxley.com/Brass-Birmingham-Rulebook-2018.11.20-highlights.pdf>.

# Seznam obrázků

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Hlavní menu. . . . .  | 16 |
| 2.2  | Nastavení hry. . . . .                                      | 16 |
| 2.3  | Hlavní herní deska. . . . .                                 | 17 |
| 2.4  | Karty v ruce hráče - vybírání karty. . . . .                | 17 |
| 2.5  | Odhazovací balíček hráče. . . . .                           | 18 |
| 2.6  | Osobní deska hráče - výběr budovy. . . . .                  | 18 |
| 2.7  | Zvýraznění možných lokací pro akci. . . . .                 | 18 |
| 2.8  | Popis akce, kterou by měl hráč provést. . . . .             | 18 |
| 2.9  | Oznámení o změně stavu hry. . . . .                         | 19 |
| 2.10 | Oznámení proč nelze aktuální/minulou akci dokončit. . . . . | 19 |
| 2.11 | Pomocná karta s nápovědou. . . . .                          | 19 |
| 2.12 | Obrazovka mezi érami. . . . .                               | 19 |
| 2.13 | Finální obrazovka. . . . .                                  | 20 |

# Seznam tabulek

|      |   |    |
|------|---|----|
| 4.1  | Analytická tabulka pro vylepšení jednotlivých výběrů . . . . .      | 29 |
| 4.2  | Analytická tabulka pro vylepšení jednotlivých výběrů procentuální   | 30 |
| 4.3  | Analytická tabulka pro volnější zahazování akcí . . . . .           | 32 |
| 4.4  | Analytická tabulka pro volnější zahazování akcí procentuální . . .  | 33 |
| 4.5  | Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - 1. skupina . . . . .    | 34 |
| 4.6  | Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - 1. skupina procentuální | 34 |
| 4.7  | Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - 2. skupina . . . . .    | 35 |
| 4.8  | Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - 2. skupina procentuální | 35 |
| 4.9  | Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - finále . . . . .        | 35 |
| 4.10 | Analytická tabulka pro různá pevná pořadí - finále procentuální .   | 35 |
| 4.11 | Analytická tabulka pro volbu akce dle stavu hry . . . . .           | 38 |
| 4.12 | Analytická tabulka pro volbu akce dle stavu hry procentuální . .    | 38 |
| 4.13 | Analytická tabulka pro různé částečné cíle . . . . .                | 40 |
| 4.14 | Analytická tabulka pro různé částečné cíle procentuální . . . . .   | 40 |

# A Přílohy

Jako příloha k práci je .ZIP soubor s vícero složkami.

## A.1 Složka Build hry

Obsahuje "Build" hry, který je určen pro uživatele široké veřejnosti. Skrze .exe soubor lze hru kompletně nastavit a hrát tak, jakoby se jednalo o její deskovou verzi.

## A.2 Složka Testovací buildy

Obsahuje každý "Build", který byl použit pro testování strategií. Tyto buildy nejsou určeny pro hraní. Hra je nastavena tak, že hráči jsou zcela nahrazeni umělou inteligencí, která hraje nekonečně proti sobě.

## A.3 Složka Zdrojové kódy

Obsahuje zdrojové kódy každého ze skriptů, který je součástí Unity projektu.