UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017 Václav Svoboda

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Návrh kooperativní hry

Václav Svoboda

Diplomová práce

2017

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: **2016/2017**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Václav Svoboda**
Osobní číslo:	**I15234**
Studijní program:	**N2646 Informační technologie**
Studijní obor:	**Informační technologie**
Název tématu:	**Návrh kooperativní hry**
Zadávající katedra:	**Katedra softwarových technologií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce bude navrhnout na základě principů teorie her koncept počítačové kooperativní hry.
U kooperativních her hráči nehrají proti sobě, ale hrají proti samotné hře.
Způsob implementace je ponechán na volbě diplomanta.
Výsledkem práce nebude hra s dokončeným grafickým designem, ale jen jádro hry pracující s vhodnou výplatní maticí. Tuto matici autor promyslí tak, aby hráči mohli zvolit různou obtížnost hry.
Autor vypracuje hrubý návrh herního plánu, po kterém se budou hráči pohybovat. Pohyb hráčů může být optimalizován pomocí teorie grafů. Dále autor navrhne fáze hry, akce hráče, herní prvky, interakci a komunikaci hráčů.
Aplikace bude obsahovat i analýzu aliancí, hráčů, a jejich strategií.
Součástí závěrečné práce bude uživatelská příručka, ve které bude popsáno ovládání vytvořené aplikace.

Rozsah grafických prací: **10**

Rozsah pracovní zprávy: **45**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

HYKŠOVÁ, Magdalena. Počátky teorie kooperativních her. In: Bečvář, Jindřich a Martina Bečvářová (eds.). 37. mezinárodní konference Poděbrady 2016. Praha: MATFYZPRESS, nakladatelství Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy, 2016, s. 11-24. Dostupný též z WWW: <https://www.fd.cvut.cz/personal/becvamar/konference/konference %20HM%2037%20-%20text%20na%20web.pdf>.

MAŇAS, Miroslav. Teorie her a konflikt zájmů. Praha: Nakladatelství Oeconomica. 2012. ISBN 80-245-0450-2.

MAŇAS, Miroslav. Teorie her a optimální rozhodování. Praha: SNTL. 1974.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Jaroslav Marek, Ph.D.**
Katedra matematiky a fyziky

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2017**

L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Antonín Kavička, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2016

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 16. 8. 2017

Václav Svoboda

ANOTACE

Diplomová práce se věnuje návrhu a vytvoření kooperativní počítačové hry. Jsou zde vysvětleny základní pojmy z teorie her a diskutována klasifikace konfliktních situací. Současně jsou popsány principy nekooperativní hry n hráčů, rovnovážné strategie a model nekoluzivního oligopolu. Následuje popis kooperativní hry n hráčů, princip tvorby koalic a model koluzivního oligopolu. Z matematických nástrojů jsou využity a popsány vybrané metody z teorie grafů. Aplikace tvořící součást práce je naprogramována v jazyku Java a vývojové prostředí NetBeans. Část práce je věnována popisu pravidel a ovládacích prvků aplikace, jsou demonstrovány funkcionality vybraných fragmentů zdrojového kódu a iterační proces vývoje a testování aplikace.

KLÍČOVÁ SLOVA

teorie her, teorie grafů, oligopol, kooperace, konflikt

TITLE

The concept of cooperative game

ANNOTATION

The thesis focuses on the design and development of cooperative computer games. The basic terms from the theory of games are introduced here and the classification of conflict situations is discussed. In the iterim, the principles of the uncooperative game of n players, offset strategies and the model of non-collusive oligopoly are described. Afterwards, the thesis follows up with a description of the cooperative game of n gamers, a principle of forming coalitions and a model of collusive oligopoly. As far as other mathematical tools are concerned, specifically chosen methods of graph theories are utilized and described. An application which relates to the thesis is programmed in the Java language and the NetBeans development enviroment. A part of the thesis is dedicated to the specification of rules and

operating elements of the application. Additionally, functionalities concerning selected fragments of the source code, iterative development process and application testing are displayed.

KEYWORDS

theory of games, graph theories, oligopoly, cooperation, conflict

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CDDL Common Development and Distribution License

CVS Concurrent Version System

GUI Graphical User Interface

GNU GNU is Not UNIX

GNUv2+CE GNU General Public License, version 2, with the Classpath Exception

HTML HyperText Markup Language

IDE Integrated Development Environment

PHP PHP: Hypertext Preprocessor

SVN Subversion

ÚVOD

Tato diplomová práce se zaměřuje na návrh kooperativní počítačové hry založené na principech teorie her. Při uplatnění kooperativních principů hráči nehrají proti sobě, ale snaží se porazit společného nepřítele. Bylo nutné navrhnout herní plán odpovídající účelu aplikace. Po tomto plánu je figurkám hráčů umožněno se pohybovat. Pohyb po hracím plánu je živým hráčům umožněn volně, pohyb společného nepřítele je částečně optimalizován s využitím teorie grafů. Při tvorbě herních mechanik byly navrženy jednotlivé fáze hry a definovány akce, které hráči aplikace mohou během svého tahu vykonat. Taktéž bylo nutné umožnit uživatelům aplikace z důvodu kooperace komunikaci.

První kapitola se bude zaobírat stručnou historií vzniku odvětví teorie her, následně budou popsány základní pojmy a názvosloví nutné pro snadnější pochopení a orientaci ve zbylém textu práce. Popsány také budou jednotlivé klasifikace her a konfliktů dle skupin vyznačujících se podobností při řešení dané problematiky z pohledu teorie her.

Druhá kapitola bude obsahovat popis nekooperativních konfliktů. Přestože je cílem práce vytvoření kooperativní hry, bude nutné nastudovat, popsat a vysvětlit i skupinu těchto nekooperativních her, neboť kooperativní hry z nich vycházejí a obohacují je o prvek možné součinnosti jednotlivých účastníků. Budou zde popsány principy rovnovážných strategií a základní vymezení ekonomického pojmu oligopol. Následovat bude podrobnější popis nekoluzivního oligopolu, ve kterém mezi jednotlivými účastníky konfliktní situace nemůže před volbou strategie docházet k dohodám volby optimální strategie.

Třetí kapitola bude věnována popisu kooperativních konfliktů a bude stavět na základech položených v kapitole předchozí. Budou zde popsány principy tvorby aliancí a rozdělení jednotlivých typů aliančních struktur. Taktéž bude následovat vysvětlení principů koluzivního oligopolu, který je rozšířením nekoluzivního o možnost spolupráce a volby optimálních strategií. Bude zde popsána problematika vzniku aliance, umělému potlačení zisku některých členů, vedoucí k navýšení zisků celé alianční struktury. Tento princip byl využit při implementaci pravidel aplikace.

Čtvrtá kapitola bude věnována vysvětlení základních pojmů a principů z teorie grafů, které byly použity při vytváření herního plánu aplikace. Budou zde popsány výpočty vzdáleností a metrik v grafu.

Pátá kapitola bude věnována matematickému pohledu na hru. Bude definován herní plán, základní a složené procesy na tomto plánu. Také bude popsána aplikace teorie her.

Šestá kapitola bude zabývat implementací softwaru. Bude informovat o historii jazyka Java a vývojovém prostředí NetBeans, ve kterém je aplikace vytvořena. Taktéž bude popsána konkrétní implementace vybraných softwarových metod.

V sedmé kapitole bude připravena obsáhlá uživatelská příručka popisující funkcionalitu programu, možnosti, které program nabízí a popis jednotlivých analýz, které jsou v aplikaci dostupné. Budou zde popsány typy jednotlivých akcí a interakcí, možnost komunikace a tvorba aliancí. Popsány budou též počáteční fáze hry a cíl, kterého se všichni hráči snaží dosáhnout.

Osmá kapitola bude věnována uživatelským zkušenostem. Interpretovány budou připomínky testerů. Popsán bude iterační proces vývoje a testování aplikace.

1 TEORIE HER

Tato kapitola bude zaměřena na vznik a historii teorie her. Budou zde popsány základní pojmy z teorie her a klasifikace konfliktů dle způsobu jejich řešení.

1.1 Vznik a historie

V osmnáctém století přispěla hra v kostky k vzniku pojmu matematická pravděpodobnost. V roce 1838 Augustin Cournot, matematizující ekonom, navrhl model popisující optimální chování duopolistů, sloužící k maximálnímu dosažení zisků. Tato koncepce racionálního chování nekooperativního střetu zájmů byla později zobecněna a nazvána Nashova rovnováha.

Od roku 1900 matematici Zermelo, Borel a později i von Neumann začali zkoumat optimalizační postupy při hraní salonních her. Zvláště se pak zaměřili na hru šachy. V této hře totiž existuje jen konečné množství variant, které hráč v daný okamžik může v souladu s pravidly použít a tím provést tah. Teoreticky lze tedy vyjádřit všechny možné alternativy, pro každou vzniklou situaci a vytvořit jakýsi návod. Existuje konečné množství strategií pro každého z hráčů. Tyto strategie lze zapsat například jako tabulku, obsahující údaj, jak daná strategie končí. Řádky této tabulky budou reprezentovat strategie bílého hráče a sloupce strategie černého hráče. Pak se na průsečíku nachází výsledek vybraných strategií.

V roce 1928 J. von Neumann publikoval práci, ve které popsal, jak mají hráči hrát hry definované tabulkami strategií. Pro šachisty však tato práce nepřinesla žádnou změnu. Herních variant hry šachy je tolik, že ani s použitím moderních výpočetních strojů nelze sestavit tabulku strategií. Počítač hrající šachy nehledá z celé tabulky optimální řešení podle von Neumanna, ale hledá jejích aproximaci napodobením myšlení profesionálních hráčů.

V roce 1944 von Neumann a Oskar Morgenstern vydali knihu shrnující známé teoretické výsledky teorie her. Taktéž upozornili na příbuznost analyzování strategických her a střetu zájmů v ekonomice. V kapitole bylo čerpáno z (1, str. 6 – 7) a (2, str. 11 – 15).

1.2 Základní pojmy

Teoreticko-herní terminologie může často budit určitou nedůvěru. Matematická podstata je však naprosto stejná, ať se jedná o vojenský letecký simulátor nebo duopolní postavení konkurence na trhu.

Teorie her používá tyto základní pojmy:

- Hra – jedná se o každou konfliktní situaci, kterou lze matematicky namodelovat.
- Konflikt zájmů – je označení používající se k označení situace, kdy osoba nebo uskupení prosazuje zájmy a zastává pozici, která je v rozporu se zájmy jiných účastníků v té samé konfliktní situaci.
- Hráč – jedná se o označení aktivního účastníka dané hry, jenž ovlivňuje její průběh a výsledek svým chováním. Typy hráčů lze dělit na:
    - racionální (inteligentní) hráč – svým chováním usiluje o optimální výsledek hry,
    - indiferentní (neinteligentní) hráč – takovému hráči je výsledek hry lhostejný.
- Strategie hráče – možnost určitého chování hráče při hře.
- Prostor strategií – je množina všech přípustných strategií daného hráče.
- Výplata hráče – je kvantitativně vyjádřený skutečný užitek hráče ze hry posuzovaný z hlediska tohoto hráče (např. získané body, peníze, materiál atd.). Hodnota výplaty nemusí být vždy kladná. Pokud se jedná o kladnou hodnotu, tak hovoříme o výhře (zisku). Pokud se jedná o zápornou hodnotu, pak o prohře (ztrátě).
- Výplatní funkce hráče – je předpis pro výplatu hráče (ideálně zisk) při konkrétní zvolené strategii.

V kapitole bylo čerpáno z (2, str. 20 – 25) a (3, str. 1 – 3).

1.3 Klasifikace her

Hry lze dělit podle stejného nebo podobného způsobu řešení do několika skupin:

- Podle počtu hráčů – lze rozlišovat hry dvou hráčů a hry více hráčů.
- Podle součtu výplat všech hráčů – lze rozlišovat hry následovně:
    - Hry s nulovým součtem – do této kategorie spadá většina salonních her. Všichni hráči vloží do banku nějakou částku a tato částka je pak rozdělena. Tudíž po součtu výher a proher je výsledek nula. Pokud toto zjednodušíme na hru dvou hráčů, tak co je výhrou pro jednoho, je prohrou pro druhého.
    - Hry s konstantním součtem (antagonistický konflikt) – tyto hry lze převést na hry s nulovým součtem a tudíž je jejich řešení stejné.
    - Hry s nekonstantním součtem (neantagonistický konflikt) – jedná se například o tržní situaci, při níž je investována různá částka.
    - Kooperativní hra – je speciální případ neantagonistické hry, při níž dochází ke spolupráci hráčů.
    - Nekooperativní hra – je speciální případ neantagonistické hry, při níž nedochází ke spolupráci hráčů.
- Podle velikosti prostoru strategií – lze dělit hry následovně:

    - Konečné hry – existuje omezený počet strategií pro hráče, tudíž je počet strategií konečný.
    - Nekonečné hry – pokud alespoň jeden z hráčů disponuje nekonečným množstvím strategií.
- Podle informací o důsledku volby – lze dělit hry následovně:
    - Deterministické hry – pokud zvolíme jako hráč strategii, pak s ohledem na strategii zvolenou protihráčem přesně víme, jaký bude zisk. Tímto typem hry je například hra kámen–nůžky–papír, kde je přesně známo, kdo vyhraje při zvolení strategií obou hráčů.
    - Stochastické hry – zisk z dané strategie má nějaké pravděpodobnostní rozdělení a ve hře je obsažen prvek náhody. Příkladem této hry je situace na trhu, kdy po zvolení strategií všech hráčů nelze určit množství příchozích zákazníků, a tudíž je zisk řízen pravděpodobnostním rozdělením.
- Podle racionality hráčů – lze dělit hry následovně:
    - Hry racionálních hráčů – všichni hráči jsou inteligentní a usilují o optimální výsledek hry.
    - Hry hrané proti přírodě – alespoň jeden z hráčů je neinteligentní a je mu výsledek hry lhostejný (například vliv počasí na úrodu).
- Podle počtu hraných her – lze rozdělit hry následovně:
    - Hry řešené v ryzích strategiích – hru lze hrát jen jednou a vznikají neopakovatelné situace.
    - Hry řešené ve smíšených strategiích – hru lze opakovat a máme možnost strategie volit s určitou pravděpodobností (např. hra kámen–nůžky–papír).

V kapitole bylo čerpáno z (2, str. 20 – 25), (3, str. 1 – 3) a (4, str. 1).

1.4 Klasifikace konfliktů

Na konflikty lze nahlížet z mnoha různých kritérií. Jedním z nejdůležitějších je počet účastníků daného konfliktu. Aby vůbec došlo ke vzniku konfliktu, jsou zapotřebí minimálně dva účastníci. Pokud je účastníků více, objeví se nový strategický prvek, kterým je tvorba koalic. Koalice je založena na principu dohodnutí a sjednocení strategií koaličních partnerů za účelem upevnění své pozice v konfliktu a maximalizaci zisků.

Inteligence a případná neinteligence je také velmi důležitým kritériem. Jak bylo nastíněno v předchozí kapitole, pokud je alespoň jeden z hráčů neinteligentní (náhodný mechanismus), nepřihlíží tento hráč k výši případné výhry. Pokud vznikne konflikt zájmů mezi dvěma hráči, z nichž je jeden hráčem inteligentním a druhý hráčem neinteligentním, pak není označení konflikt zájmů zrovna vhodné, protože zájem má ve skutečnosti jen inteligentní hráč. Proto se zavádí nové termíny rozhodování při riziku a rozhodování při neurčitosti. O rozhodování při riziku lze hovořit v případě, že je předem účastník seznámen s náhodným mechanismem. O rozhodování při neurčitosti lze hovořit, pokud je tento náhodný mechanismus účastníkovi skryt a rozložení pravděpodobností jsou tak neznámé.

V reálných konfliktních situacích lze sledovat případy, kdy s určitostí víme, že protihráčem je inteligentní účastník konfliktu, nikoli náhodný mechanismus, přesto protihráč volí strategie neodpovídající optimu. Nejčastěji dochází k tomuto rozporu tak, že konflikty jsou řešeny jinou metodou než schůzkou zúčastněných stran a sestavením matematického modelu odpovídajícímu optimální strategii. Všichni účastníci se obvykle rozhodují na základě hrubých výpočtů a intuice. Jedné straně se pak může zdát, že protistrana volí chybné strategie. Toto platí oboustranně. Neoptimální výběry strategií jsou často způsobeny nedostatkem času k dostatečné analýze. Experimentálně lze však i tuto časovou tíseň nasimulovat a kvantitativně vyhodnotit.

Z tohoto důvodu se k pojmům inteligentní a neinteligentní hráč zavádí pojem p-inteligentní účastník (hráč).

$$p \in \langle 0,1 \rangle.$$

Je-li p = 0, pak se p-inteligentní hráč chová jako náhodný mechanismus. Je-li p = 1, chová se p-inteligentní hráč jako inteligentní účastník. Pokud se p pohybuje někde v rozmezí mezi nulou a jednou, pak toto číslo odpovídá náhodnému pokusu vykonanému před každým rozhodnutím. S pravděpodobností p se p-inteligentní hráč zachová jako inteligentní hráč. Stejně tak s pravděpodobností $1 - p$ se p-inteligentní hráč zachová jako neinteligentní hráč (náhodný mechanismus).

Na konfliktní situace lze nahlížet ze dvou různých hledisek. Při zjišťování nejlepšího chování (strategie) hovoříme o normativním hledisku. Pokud budeme zkoumat, jak se při konfliktu zachovají reální řešitelé, pak mluvíme o deskriptivním hledisku. Toto souvisí s výše popsanou problematikou p-inteligentních hráčů, neboť normativní hledisko nám ukazuje, jak by se hráč zachovat měl, a deskriptivní hledisko ukazuje, jak se reálný p-inteligentní hráč zachová s přihlédnutím ke svému citu a intuici. Je tedy nutné definovat, zda na konflikt nahlížíme z normativního nebo deskriptivního hlediska.

Teorie her se zabývá primárně normativním hlediskem. Nicméně jen s ním si nevystačí, neboť kromě konfliktů, které disponují dokonale normativním řešením (lze jednoznačně vyjádřit optimální strategii a pokud se hráč od této strategie odchýlí, vždy dojde ke zmenšení zisku), existují i typy konfliktů, u kterých se nedá dokonale normativní řešení nalézt. Pak je nutné se zajímat o to, jak jsou teoreticky doporučené postupy přijímány reálnými řešiteli. Pokud jsou navržené koncepty užívány v praxi reálnými řešiteli, pak má tato koncepce řešení velkou normativnost. Pokud jsou obecně odmítány, pak hovoříme o malé normativnosti konceptu řešení. K odmítání řešení může docházet i přes to, že pro aktuální typ konfliktu lepší řešení neexistuje.

Neméně důležitou charakteristikou při řešení konfliktních situací je závislost mezi zvolenými strategiemi a sumou výher, které si mezi sebou hráči rozdělí. Jak bylo uvedeno výše, dělí se na tři typy. Pokud je součet pevně znám předem a nelze ho ovlivnit rozhodnutími jednotlivých hráčů, pak hovoříme o konfliktu s konstantním součtem. Speciálním případem konfliktu s konstantním součtem je konflikt s nulovým součtem, kde zisk jednoho hráče či skupiny je ztrátou ostatních hráčů či skupin. Posledním případem je konflikt s nekonstantním součtem.

Pokud se jedná o konflikt s nulovým součtem, nelze předpokládat, že by docházelo ke spolupráci jednotlivých účastníků konfliktu (zisk jednoho je ztráta druhého). To samé platí i u silně antagonistického střetu zájmů při konfliktu s konstantním součtem. Konstantní, byť nenulový součet totiž vede účastníky ke stejné nevraživosti jako konflikt s nulovým součtem. Obecně dochází totiž k rozepřím o rozdělení zisku a tím i k nemožnosti uzavřít dohody. Jediným typem konfliktu umožňujícího spolupráci a vytváření aliancí je konflikt s nekonstantním součtem. Nenulový a nekonstantní součet je tedy podmínkou ke vzniku kooperativního chování hráčů účastnících se konfliktu.

V kapitole bylo čerpáno z (1, str. 8 – 11) a (2, str. 20 – 25).

2 NEKOOPERATIVNÍ HRY *N* HRÁČŮ

Tato kapitola je zaměřena na nekooperativní konflikty N hráčů. Bude se se soustředit na vysvětlení pojmu rovnovážná strategie. Taktéž bude představen model oligopolu a jeho nekooperativní varianta, tedy nekoluzivní model oligopolu.

2.1 Rovnovážné strategie

Předpokládejme, že máme konflikt N inteligentních hráčů, přičemž $N > 2$. V tomto případě již není nutné striktně oddělovat teorie o konfliktní situaci s konstantním součtem a teorii o konfliktní situaci s nekonstantním součtem. Vzhledem k počtu hráčů většímu než dva a obecně různorodým zájmům hráčů při hře s konstantním součtem nelze předpokládat, že všechny akce, které hráč nemá pod kontrolou (vykonali je ostatní hráči), nutně povedou k jeho poškození (ztrátě).

Nekooperativní hry jsou založeny na principu nemožnosti vytvořit předem závaznou dohodu o volbách strategií ani o následném přerozdělení výher (zisků).

Seznam očíslovaných hráčů bude značen takto:

$$Q = \{1, 2, \dots, N\},$$

prostory jednotlivých strategií takto:

$$X_1, X_2, \dots, X_N,$$

a výplatní funkce takto:

$$M_1(x), M_2(x), \dots, M_N(x).$$

Definice rovnovážných strategií:

N-tici strategií $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N)$ nazveme rovnovážnou (v příslušné hře v normálním tvaru), jestliže platí nerovnost $M_i(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{i-1}, \bar{x}_i, \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_N) \leq M_i(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N)$ pro všechna $\mathrm{i} = 1, 2, \dots, \mathrm{N}$ a všechna $x_i \in X_i$.

Složka x_i se nazývá rovnovážnou strategií i-tého hráče. Za předpokladu že všichni ostatní hráči zahrají svou rovnovážnou strategii, jedná se o takovou strategii, od níž nemá smysl se odchylovat, protože jakákoli odchylka by vedla ke snížení zisku.

V této kapitole bylo čerpáno z (2, str. 121 – 124) a (5, str. 1 – 22).

2.2 Modely oligopolu

Oligopol je termín pro trh, na který několik výrobců dodává stejné, případně substituční zboží. Oligopol je nejvíce relevantním modelem ekonomiky, protože na rozdíl od monopolu a dokonale konkurenčního trhu je nejméně zjednodušujícím.

Oligopol lze dělit na kooperativní a nekooperativní. Při kooperativní variantě jsou dohody mezi oligopolisty špatně vymahatelné právními prostředky. Tyto právně nevynutitelné dohody se v souvislosti s teorií oligopolu nazývají koluze. Z toho se vyvozuje, že název pro nekooperativní oligopol je nekoluzitivní a kooperativní se označuje jako koluzitivní oligopol. Dohody vzniklé mezi oligopolisty jsou obecně nevýhodné pro spotřebitele a výhodné pro samotné účastníky oligopolu. V rozvinutých zemích se vlády snaží vznik dohod oligopolistů redukovat, případně mu právními prostředky zabránit.

U oligopolů je nutné určit strategické proměnné jako klíčovou charakteristiku. Za strategickou proměnnou lze považovat jen tu proměnnou, kterou mohou ovládat oligopolisté, a tím optimalizovat svůj dopad na trh. Příkladem strategických proměnných jsou jednotky zboží dodané za určité časové období nebo cena, za kterou je dodávka zboží realizována.

Oligopoly lze rozdělit na jednovýrobkové (omezují se jen na jeden typ dokonale zastupitelného výrobku) a vícevýrobkové (nejsou omezeny jedním typem výrobku). Při výpočtech jednovýrobkových modelů olygopolu si lze vystačit jen s použitím skalárních veličin, kdežto u vícevýrobkových modelů je již nutné použít vektorové veličiny.

V této kapitole bylo čerpáno z (1, str. 49 – 50), (2, str. 124 – 128) a (6, 341 – 363).

2.3 Model nekoluzivního oligopolu

Model nekoluzivního oligopolu je tvořen:

- Seznamem jednotlivých oligopolistů.
- Seznamem strategií, jenž může každý z oligopolistů využít. Jedná se tedy o specifikaci velikosti dodávek zboží na trh, přičemž dolní hranicí je 0 (nedodává žádné zboží) a horní hranicí je výrobní kapacita oligopolisty K_i.
- Funkcemi nákladů jednotlivých oligopolistů (funkce rozsahu jejich výroby).
- Funkcí popisující tržní cenu reagující na změnu objemu zboží dodávaného na trh.

Pro zjednodušení výpočtů se neuvažuje varianta, že některý oligopolista vyráběl zboží do zásoby (na sklad).

Cílem každého oligopolisty je maximalizovat vlastní zisk. Konflikt mezi jednotlivými účastníky vzniká na základě faktu, že zisk obecně vzrůstá se zvětšováním dodávek zboží na trh, přičemž realizace velkých dodávek na trh vede ke snížení ceny za jednotku zboží a tím pádem i k poklesu zisků oligopolistů.

Jednotlivé oligopolisty označíme čísly $1, 2, \dots, N$. Prostory strategií oligopolistů označíme $X_1, X_2, \dots, X_N$ a rozsahy výroby jako $x_1, x_2, \dots, x_N$, kde $x_i \in X_i$. Jak bylo již popsáno výše, prostor pro strategii X_i bude odpovídat kompaktnímu intervalu $\langle 0, K \rangle$. Náklady oligopolisty na realizaci strategie označíme $c_i(x_i)$.

Na trh je dodáváno celkem $t = x_1 + x_2 + \dots + x_N$ výrobků. Cena se ustanoví jako $p = f(t)$. Předpokládá se, že funkce $f(t)$ je v celém definičním oboru spojitá a nerostoucí.

Oligopolista i vytvoří při velikosti výroby x_i zisk $z_i(x_1, x_2, \dots, x_N) = x_i f(t) - c_i(x_i)$. Při nekoluzivním modelu oligopolu se za optimální řešení považuje nalezení rovnovážné strategie. Jedná se o strategii, při níž oligopolista nikdy nezvýší svůj zisk, jestliže se od této strategie odchýlí, maximálně se může poškodit. Rovnovážná strategie je tedy taková strategie $x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*$, pro kterou platí $z_i(x_1^*, x_2^*, \dots, x_i^*, \dots, x_N^*) \leq z_i(x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*)$.

Základním problémem teorie oligopolů je nalezení postupů, díky kterým můžeme s přijatelným výpočetním úsilím nalézt rovnovážné strategie. Pro zjištění základních vlastností oligopolů je vhodné modely zjednodušit tak, že nákladová i cenová funkce trhu jsou lineární.

Uvažujme model oligopolu s nákladovými funkcemi zapsanými ve tvaru $c_i(x_i) = p_i x_i + q_i$, kde $i = 1, 2, \dots, N$, definovanými na rozsahu výroby $X_1 = \langle 0, K_i \rangle$. Cenová funkce je zapsána ve tvaru $f(t) = r(x_1 + x_2 + \dots + x_N) + s$.

Zisk i-tého oligopolisty je dán vztahem
$z_i(x_1, x_2, \dots, x_N) = x_i(r(x_1 + x_2 + \dots + x_N) + s) - (p_i x_i + q_i)$,
což odpovídá $z_i(x_1, x_2, \dots, x_N) = x_i f(t) - c_i(x_i)$.

Maximem funkce $z_i(x_1^*, x_2^*, \dots, x_i^*, \dots, x_N^*)$ definované na intervalu $\langle 0, K \rangle$ je prvek x_i^* z vektoru rovnovážných strategií $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*)$. Pokud není maximum rovno jednomu z krajních bodů intervalu $\langle 0, K_i \rangle$, je nutné anulovat parciální derivace funkce $z_i(x_1, x_2, \dots, x_N) = x_i$. Po sepsání podmínek pro všechny oligopolisty dostaneme soustavu rovnic. Pokud optimum odpovídá krajnímu bodu 0, pak parciální derivace musí být nekladná. Pokud odpovídá hodnotě K_j, pak musí parciální derivace vyjít nezáporná.

Vektor odpovídající definici Nashovy rovnováhy získáme řešením úlohy tak, že minimalizujeme x, v, w ve vztahu $\sum_{j=1}^{N} (v_j x_j + (K_j - x_j) w_j + v_j w_j)$ při splnění podmínek:

- $z_j' + v_j - w_j = 0$,
- $v_j \geq 0$,
- $w_j \geq 0$,
- $0 \leq +x_j \leq K_j$,
- $j = 1, 2, \dots, N$,

kde z_j' odpovídá první parciální derivaci podle x_j.

Nashova rovnováha je nalezena, pokud optimální hodnota minimalizované funkce vyjde rovna 0. Vektory v a w jsou vektory obsahující pomocné podmínkové proměnné. Při dodržení podmínek:

- $p_i > 0$,
- $\mathrm{r} < 0$,
- $s > p_i$

má úloha právě jedno řešení. Lze tedy tvrdit, že získané strategie jsou skutečným návodem k nejlepšímu možnému jednání oligopolistů.

V této kapitole bylo čerpáno z (1, str. 49 – 54).

3 KOOPERATIVNÍ HRY *N* HRÁČŮ

Tato kapitola je zaměřena na kooperativní konflikty N hráčů. Bude zde popsána problematika vzniku koaličních struktur. Taktéž bude představen model kooperativního oligopolu. Vysvětlen bude přínos jednotlivých členů oligopolu a vznik superaditivního přebytku jako následku spolupráce.

3.1 Tvorba koalic

Pokud je v konfliktu dovoleno vytváření koalic, potažmo koaličních struktur, hovoříme o kooperativním konfliktu. Dochází tedy ke značné změně chování účastníků, pokud se mohou dohodnout na strategii před jejím uskutečněním.

Z důvodu zjednodušení principů koaličních struktur se za právoplatnou koalici považují i osamostatnění hráči. Vznikají tak i jednoprvkové koalice. Vhodné je zavést i pojem prázdná koalice (koalice neobsahující žádné členy), protože při hledání výhodné koalice se může ukázat, že taková koalice neexistuje.

Koalice lze rozdělit do několika kategorií:

- S volnou koaliční strukturou – pokud lze za účelem maximalizace zisku tvořit libovolné koalice.
- S omezenou koaliční strukturou – pokud existuje nějaké omezení při tvorbě koalicí (jiné než samotná nevýhodnost takového svazku).
- Nedisjunktivní koaliční struktura – připouští možnost, že hráč se současně nachází ve více koalicích.
- Disjunktivní koaliční struktura – hráč se v jeden okamžik může nacházet jen v jedné koalici.

Omezení koaličních struktur výhradně na disjunktivní se nepovažuje za nevýhodu. Značně zjednodušuje problematiku, neboť je obtížné určit hráčův přínos do jednotlivých koalic. Tento problém je pak často řešen tak, že je hráč započítáván jen do koalice, kde je jeho přínos největší.

Hru, která dovoluje vytvoření všech koalic bez omezení, kdy každý hráč je členem právě jedné koalice, nazveme hrou s volnou disjunktivní koaliční strukturou. Počtem možných koaličních svazků je možné pomocí kombinatoriky vyjádřit jako

$$R(N) = \sum_{k=1}^{N} \sum_{j=0}^{k} (-k)^{-j} \binom{k}{j} (k-j)^{N}.$$

Hru, ve které je dovoleno vytvářet všechny koaliční svazky a zároveň je hráči dovoleno být současně ve více koaličních strukturách, nazýváme hrou s volnou nedisjunktivní koaliční strukturou. Počet přípustných koalic je roven počtu všech způsobů, jak lze z množiny N vybrat podmnožinu (prázdnou podmnožinu nezapočítáváme). Je vyjádřen jako $Q(N) = 2^k - 1$, kde $k = 2^N - 1$.

Můžeme též vytvořit hru s fixovanou koaliční strukturou, která je, co se vzniku koalic týká, více omezená než předchozí dva uváděné typy. Lze zde zavést restrikční pravidla, která konkrétně omezí možnosti vzniku koalic.

V této kapitole bylo čerpáno z (1, str. 55 – 56) a (2, str. 134 – 135).

3.2 Model koluzivního oligopolu

Na rozdíl od nekoluzivního oligopolu se postavení oligopolistů v případě koluzivního obecně zlepší, pokud mezi sebou uzavřou dohody o rozsazích dodávek zboží na trh. Do tohoto je případně zahrnuta i kompenzace těch oligopolistů, kteří utlumí částečně svou výrobu a nebudou tak kazit tržní cenu zboží.

Pro oligopolisty a případně i pro koncové spotřebitele může být výhodné, pokud zboží na trh dodávají oligopolisté, kteří ho dokáží vyprodukovat s nízkými náklady. To dokonce i za cenu toho, že oligopolisté, kteří by vzhledem ke svým nákladům na výrobu byli stále schopní přežít a jejich ztráty způsobené útlumem výroby zboží, budou kompenzovány. Kompenzace však musí být tak velká, že oligopolisté v útlumu výroby získají více, než kdyby na dohodu o útlumu nepřistoupili a produkovali maximální možné množství zboží.

Předpokládejme, že charakteristiky u koluzivního oligopolu jsou stejné jako u dříve popsaného nekoluzivního oligopolu. Máme tedy k dispozici seznamy jednotlivých strategií, cenové a nákladové funkce. Prvkem, o který tento původní model rozšíříme, je možnost tvorby koalic mezi oligopolisty.

Skupina oligopolistů vytvoří koalici a tím budou dopředu dohodnutou formou omezovat a koordinovat rozsah výroby. Tato skupina bude případná omezení výroby kompenzovat převodem části svých zisků. Koalici těchto oligopolistů označme Q a jiné obecné koalice označme jako $K, L, M, \ldots$.

Je nutné vypočítat, jaký zisk může vytvořit každá z přípustných koalic. Pokud lze vytvářet koalice bez omezení, může vzniknout až 2^N koalic a pokud není toto možné, je nutné pracovat s explicitně zadaným seznamem koaličních struktur. V případě utvoření koalice, jejíž členové budou všichni oligopolisté, je zisk dané koalice roven $v(Q) = max_Q \sum_i z_i(x_1, x_2, \ldots, x_N)$, kde dochází ke sčítání skrze všechny indexy $i \in Q$. Maximum je bráno skrze všechny proměnné ze seznamu strategií $X_1,\ X_2, \dots, X_N$. Ne vždy je vhodné vytvořit koalice všech oligopolistů. Částka $v(Q)$ nemusí být největším souhrnným ziskem, který lze vytvářením koalic vygenerovat (menší koalice může dosáhnout vyšších zisků, než koalice všech oligopolistů). Dalším důvodem pro nevytvoření jedné globální koalice může být fakt, že při dělení zisků $v(Q)$, mohou někteří ze slabších účastníků požadovat nepřiměřeně velkou kompenzaci a tím pádem se oligopolistům se silnějším postavením nevyplatí do koalice s nimi vstupovat.

V daný moment je nutné vyjádřit zisk, který by dokázali generovat koalice K, které budou menší než Q. Nastává však problém, neboť vzniklá koalice K nedokáže určit, jak velké budou dodávky zboží na trh od členů mimo tuto koalici. Bez tohoto údaje nedokáže koalice K určit své postavení na trhu a tím určit strategii vedoucí k dosažení maximálního koaličního zisku.

Existují dvě alternativy, jak vzniklou situaci řešit. První z nich je výpočet založený na nejhorší možné alternativě. Tou je v daný moment stav, kdy členové mimo koalici K dodají na trh zboží v rozsahu svých maximálních výrobních kapacit. Druhou variantou je na základě odhadu vytvořeného pomocí Nashovy rovnovážné strategie určit reálné objemy produkce nečlenů koalice K. Tato varianta spoléhá na fakt, že si nečlenové koalice nevšimnou vznikajících koluzivních dohod oligopolistů a budou se chovat jako při konkurenci. Oba přístupy trpí zjevnými nedostatky. První přístup je považován za vhodný, pokud je trh evidentně nenasycený (pak lze předpokládat dodávky ve výši plné kapacity možností nečlenů koalice K). V opačném případě je lepší využít druhého přístupu.

Máme-li vyřešen problém zvolené strategie nečlenů koalice K, je možné určit velikost celkového zisku, kterého tato koalice může dosáhnout. Tento zisk je $v(K) = max_{i \in K} \sum_i z_i(x_1,\ x_2, \dots, x_N)$, kde se maximalizuje skrze členy koalice K a hodnoty nečlenů koalice K v x_i (jsou fixní s ohledem na jednu ze dvou zvolených strategií).

Za obecného předpokladu lze vycházet z faktu, že bez ohledu na zvolenou strategii je výsledná charakteristika superaditivní. Pro každé dvě koalice L a K, kde platí $K \cap L = \emptyset$, platí $v(K) + v(L) \leq v(K \cup L)$. Z toho vyplývá, že zisk větší koalice je větší nebo rovný součtu zisků z koalic vzniklých rozpadem této koalice.

Jak již bylo napsáno, je ideálním případem, pokud všichni oligopolisté vytvoří dohromady koalici Q. Tato koalice má však naději na vznik pouze tehdy, pokud jsou kompenzace dostatečné, neexistuje proto důvod se odštěpit na menší podkoalici K a tím zvýšit své zisky.

Označíme-li konečný efekt i-tého oligopolisty z působení na trhu a_i, pak vznik koalice Q dává smysl za předpokladů, že soustava jedné rovnice a $2^N - 2$ nerovnic

$$\sum_{i \in Q} a_i = v(Q),$$

$$\sum_{i \in K} a_i \geq v(K)$$

má řešení. Jestliže řešení této soustavy neexistuje, existuje minimálně podkoalice K, která dokáže zvýšit své zisky odštěpem od koalice Q. To znamená konec uvažování o koalici utvořené ze všech oligopolistů.

V daný moment by měla vzniknout koalice s největším celkovým ziskem, u které opět nesmí nastat z důvodu neadekvátní kompenzace zisků popud k odštěpení některého z oligopolistů. V krajním případě se tento postup odštěpů bude opakovat tak dlouho, až vznikne jednoprvková koalice, která generuje největší zisk. Existuje i varianta, kdy je rozpad koalic takový, že vzniknou pouze jednoprvkové koalice a koluzivní oligopol se začne chovat jako nekoluzivní.

Jádrem oligopolu nazýváme množinu všech řešení výše uvedené soustavy rovnice a nerovnic, kde v první rovnici vystupuje nejsilnější koalice K, která je však menší než Q.

Nastane-li případ, kdy se oligopolisté nedostanou do koalice s největším ziskem, je vhodné, aby si zlepšili své postavení na trhu vytvořením vlastní koalice. Daný postup je totožný s tvorbou nejsilnější koalice snížené o zisky oligopolistů, kteří jsou součástí nejsilnější koalice. Tento postup by se měl opakovat tak dlouho, dokud nezbydou žádní oligopolisté mimo koalice (mohou však vzniknout i koalice jednoprvkové). Vznikne tak optimální koaliční struktura.

Pokud má soustava jedno řešení, je zřejmé, že existuje možnost jak rozdělit zisk v nejsilnější koalici tak, že nikdo z oligopolistů nebude mít důvod tuto koalici opustit z důvodu zvýšení svých příjmů.

V případě, že existuje více řešení soustavy, je otázkou, které z řešení použít k reálnému dělení zisků mezi koaliční partnery. Dle principu rovného dělení superaditivích efektů dostane každý oligopolista zisk, který by byl schopen vygenerovat separátně (bez členství v koalici) a přebytek (vzniklý spoluprací) je rozdělen rovným dílem mezi koaliční partnery. Bohužel může existovat více koalic K, které mají největší zisk $v(K)$ a zároveň jsou schopné spravedlivého dělení zisků. V důsledku přetahování oligopolistů za účelem vytvoření jedné z nejbohatších koalic si může některý z kandidátů začít vynucovat větší podíl ze superaditivního přebytku. V případě, že některému z oligopolistů hrozí nemožnost vstupu (případně vyloučení) z lukrativní koalice, může takovému nátlaku podlehnout a podřídit se (za cenu snížení vlastního podílu na superaditivním přebytku).

V této kapitole bylo čerpáno z (1, str. 57 – 60) a (7, str. 28 – 32).

4 TEORIE GRAFŮ

Tato kapitola okrajově popíše základní pojmy z teorie grafů, jenž jsou nutné k pochopení praktické části diplomové práce. Bude zde vysvětlen i výpočet metrik a vzdáleností v grafu.

4.1 Historie teorie grafů

Jednou z mladších odvětví matematiky je teorie grafů. Datují se do roku 1736, kdy švýcarský matematik Leonhard Euler vyřešil takzvaný „Problém sedmi mostů města Královce“. Při řešení nepoužil tehdy známé matematické disciplíny, ale položil základy teorie grafů. První knihu o této teorii vydal až o dvě stě let později, v roce 1936, maďarský matematik Dénes Kőnig.

V kapitole bylo čerpáno z (8, str. 1).

4.2 Základní pojmy grafu

Graf se skládá z objektů, nazvaných vrcholy a jejich spojnicemi, tj. hranami.

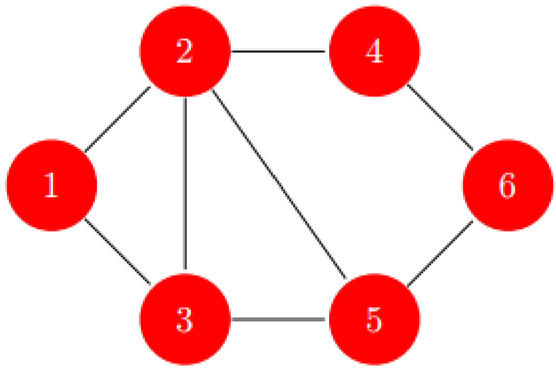
„Definice: Graf G (také jednoduchý graf nebo obyčejný graf) je uspořádaná dvojice $G = (V, E)$, kde V je neprázdná množina vrcholů a E je množina hran – množina (některých) dvouprvkových podmnožin množiny V.“ (8, str. 1).

Při grafickém znázornění grafu je dobré dbát s ohledem na výslednou přehlednost těchto pravidel:

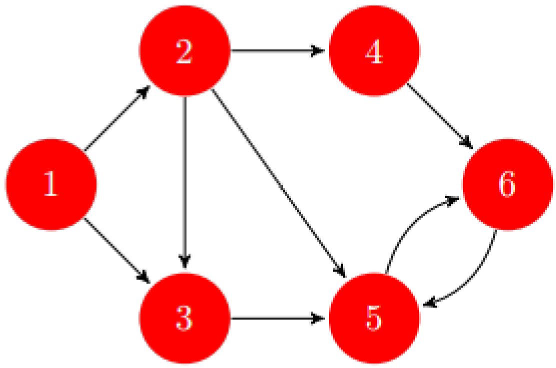
- Každý vrchol grafu má být zakreslen na jiných souřadnicích, nedochází tedy ke grafickému překrývání jednotlivých vrcholů.
- Každá hrana má procházet jen svými krajními body. Bude tedy protínat jen svůj počáteční a koncový vrchol. Po celé délce nebude protínat žádný z ostatních vrcholů.
- Žádná hrana nesmí protínat sama sebe. Pokud jsou hrany zakreslovány pomocí úseček, tento jev nenastane.
- Dvě různé hrany se mohou protínat jen v jednom bodě. Stejně jako u přechozího pravidla je i zde tento případ vyřešen použitím úseček.
- V grafu by mělo docházet co nejméně ke křížení jednotlivých hran.

Všechna tato pravidla s výjimkou posledního lze splnit vždy při grafickém znázornění grafu. U posledního pravidla existují varianty grafu, kdy se nelze při zobrazení vyhnout křížení hran.

Grafy lze dělit na neorientované (vizte obrázek 1) a orientované (vizte obrázek 2). Graf nazveme neorientovaným za podmínky, že pokud vede hrana z vrcholu u do vrcholu v, pak vždy vede i hrana z vrcholu v do vrcholu u. Orientovaný graf na rozdíl od neorientovaného má hrany směrově orientované, tudíž jednostranně průchozí. Orientované hrany se označují a též graficky znázorňují jako šipky. Říká se tedy, že orientovaná hrana vychází z vrcholu *v* a končí ve vrcholu *u*.



Obrázek 1 - Neorientovaný graf



Obrázek 2 - Orientovaný graf

Obrázek 1 čerpal z (9, str. 1) a obrázek 2 z (9, str. 6).

Důležitým výrazem je stupeň vrcholu. Ten nám udává počet hran, s kterými daný vrchol sousedí (je incidenční). Obvykle se značí jako deg(v). S tímto souvisí i pravidlo, že součet stupňů vrcholů v grafu je vždy sudý a je roven dvojnásobku počtu hran (každá hrana totiž vede mezi dvěma vrcholy a tím pádem přidává jeden stupeň vrcholu jak svému počátečnímu, tak koncovému vrcholu).

Pojem podgraf je výraz, kterým označujeme nově vzniklý graf, který je podmnožinou grafu původního. Vzhledem k tomu, že každá z hran musí být uzavřena počátečním a koncovým vrcholem, je nutné odstranit i incidenční hrany v případě, že se rozhodneme vytvořit podgraf odebráním některých vrcholů z grafu.

Souvislým grafem se rozumí graf, ve kterém existuje sled (možnost spojení vrcholu *u* a vrcholu *v*) mezi všemi vrcholy. Lze se tudíž dostat z jakéhokoli počátečního vrcholu do jakéhokoli vrcholu koncového. Pokud se ve sledu neopakují žádné hrany, nazýváme ho tahem a pokud se v něm neopakují žádné vrcholy (tedy ani hrany), nazýváme ho cestou.

V kapitole bylo čerpáno z (8, str. 1 – 18) a (9, str. 1 – 8).

4.3 Vzdálenosti a metriky v grafu

V teorii grafů je velmi důležitým údajem informace o průchodu grafu. Pokud graf není ohodnocený, tak se za takovýto údaj dá považovat počet cest, které musíme navštívit při průchodu z počátečního do koncového vrcholu. V obecném případě však při výpočtu délky bereme v potaz ohodnocení délky jednotlivých hran (musí být nezáporné).

„Definice: Vzdálenost dist$G$(u, v) mezi vrcholy u a v grafu G je dána délkou nejkratšího sledu mezi u a v v G (tj. sledu s nejmenším počtem hran). Pokud sled mezi u, v neexistuje, položíme vzdálenost dist$G$(u, v) = ∞.“ (8, str. 63).

Vzdálenost je tedy rovna minimálnímu počtu hran, které v grafu musíme projít, pokud se chceme dostat z *u* do *v*. Faktem je, že nejkratší sled je vždy cestou. V neorientovaném grafu je hodnota vzdálenosti vždy symetrická (*distG(u, v) = distG(v, u)*).

V kapitole bylo čerpáno z (8, str. 61 – 65) a (10, str. 26 – 28).

5 MATEMATICKÝ POHLED NA HRU

V této kapitole bude popsán koncept počítačové aplikace hry z matematického pohledu. Bude zde nadefinován herní plán, základní a složené procesy, které na tomto plánu probíhají. Taktéž bude popsána aplikace teorie her.

5.1 Definice herního plánu

Herní plán je při každém spuštění aplikace vygenerován nově a pseudonáhodně. Plán je postaven jako neorientovaný graf složený z neprázdné množiny vrcholů V, které jsou pospojovány pomocí množiny hran E, která je vybrána dle nadefinovaných pravidel z dvouprvkových podmnožin vrcholů V.

Všechny vrcholy grafu jsou vždy označeny barvou daného vrcholu. Toto barvení vrcholů bylo inspirováno obarvenou variantou Petriho sítí. Vrcholy jsou ohodnoceny metrikou M_j, která odpovídá počtu jednotek nacházejících se na vrcholu. Tato metrika není pro celou dobu existence grafu konstantní. Druhou metrikou, kterou vrcholy disponují je metrika M_o, která udává velikost obranného koeficientu, kterým danému vrcholu náleží.

Hrany jsou ohodnoceny pevně. Tato metrika je nazvána M_h. Při generování herního plánu je vypočtena euklidovská vzdálenost dvouprvkové množiny vrcholů V. Na této hodnotě je pak aplikován stochastický proces. Výsledné ohodnocení dané hrany je tedy vypočteno jako součin euklidovské vzdálenosti bodů a hodnoty normálního (Gaussova) rozdělení pravděpodobnosti.

5.2 Základní procesy na herním plánu

Zde budou popsány základní procesy, které mohou probíhat na herním plánu.

5.2.1 Proces přesunu

Přesun je takový proces, při kterém se zvýší ohodnocení M_j cílového vrcholu a zároveň dojde ke snížení ohodnocení M_j zdrojového vrcholu. Hodnoty zvýšení a snížení uvedeného ohodnocení se nemusí rovnat.

Proces přesunu probíhá po herním plánu vždy jako pohyb z vrcholu grafu v_p do vrcholu grafu v_k. Tyto vrcholu musí tvořit dvouprvkovou podmnožin sousedních vrcholů V, tudíž musí být přímo spojeny hranou e.

Po vykonání procesu přesunu mezi dvěma sousedními vrcholy je proces přesunu považován za ukončený. Následná akce je považována za separátní přesun.

Při přesunu dochází k úbytku jednotek, které se přesunují. Vybraná hodnota z počátečního vrcholu v_p odpovídající hodnotě z intervalu $\langle 1, MAX \rangle$ je ponížena o hodnotu metriky hrany vedoucí do koncového vrcholu v_k.

5.2.2 Proces zvýšení hodnoty vrcholu

Každému obarvenému vrcholu je na začátku herního kola zvýšeno jeho ohodnocení. Přírůstek ohodnocení je dvojího typu. Fixní a proměnný. Fixní přírůstek se projeví jako navýšení metriky vrcholů M_j o 100 na každém vrcholu obarveném barvou daného hráče na počátku jeho herního kola. Proměnný přírůstek M_j se vypočte jako 10 krát počet obarvených vrcholů danou barvou. Tento proměnný přírůstek je připsán taktéž k ohodnocení každého obarveného vrcholu na počátku herního kola.

Například pří započetí nového herního kola je červeně obarveno 13 vrcholů grafu. V každém z jeho třinácti vrcholů tedy dojde k fixnímu přírůstku ohodnocení vrcholu o 100 a proměnnému přírůstku rovnému $13 \cdot 10$, tudíž 130. To v součtu dělá celkový přírůstek metriky M_j na každém z obarvených vrcholů 230 jednotek na počátku kola.

5.2.3 Proces dočasného odstranění hrany

Jedná se o proces dočasného odstranění hrany z grafu odpovídajícího hernímu plánu. Hrana mezi vybranými sousedními vrcholy v_p a v_k je dočasně blokována a tím se stane neprůchozí. To odpovídá odstranění hrany e z původního grafu G a vznik podgrafu $G_{podgraf}$.

5.2.4 Proces dosažení vrcholu

V případě, že je vybraná hodnota z vrcholu v_p větší než hodnota metriky hrany M_h mezi vrcholy v_p a v_k, je pomocí procesu přesunu dosaženo vrcholu v_k.

5.2.5 Proces počasí

Před každým herním kolem, po vystřídání hry všech hráčů, dojde ke změně počasí. Nad 10 % pseudonáhodně vybraných vrcholů grafu je aplikována funkce počasí. Vrchol, nad kterým je aplikován koeficient počasí K_p, má náhodně upravenou obranou schopnost. Tato úprava je v rozmezí -25 % až $+25$ %. Pokud tedy hráč útočí na vrchol ovlivněný počasím, nelze určit přesnou obranyschopnost (tím pádem ani ztráty při útoku) daného města. Obrana může být za nepřízně počasí oslabená, případně posilněná za vlivu příznivého počasí.

Například posílení hradeb na hodnotu dvě pro obrannou posádku hodnoty 100, je obraná hodnota 125. Při maximální nepřízni počasí (-25 %) je tato hodnota tedy rovna 93,75 jednotky, zaokrouhleně 94 jednotek.

5.2.6 Proces síla opevnění

Síla obrany vrcholu je dána koeficientem obrany K_o, který se pohybuje v rozmezí hodnot jedna až pět. Přičemž obrana na úrovni jedna neposkytuje aktuálnímu majiteli vrcholu žádný bonus. Každým dalším nárůstem obraného koeficientu o jedna, dochází k virtuálnímu navýšení hodnoty metriky M_j daného vrcholu o 25 %. Pokud koeficient obrany má hodnotu 2 a hodnota metriky vrcholu M_j je 100 reálných jednotek, je tato hodnota virtuálně navýšena na 125 %. Při koeficientu obrany 3, je virtuálně navýšena na 150 %, při hodnotě čtyři na 175 % a při maximální hodnotě na 200 % reálných jednotek.

5.3 Složené procesy na herním plánu

Zde budou popsány složené procesy, které probíhají na herním plánu.

5.3.1 Proces obrany vrcholu

Jde o spojení elementárního procesu počasí a elementárního procesu síla opevnění. Proces obrany vrcholu je zastoupen metrikou M_o, která je vypočtena jako

$$M_o = K_p \cdot \left(1 + \frac{25 \cdot (K_o - 1)}{100}\right);\ K_o \in 1,2,3,4,5,$$

přičemž K_p je koeficient počasí a K_o je koeficient obrany.

5.3.2 Proces souboje o vrchol

Jde o spojení elementárních procesů přesunu a dosažení vrcholu a složeného procesu obrany vrcholu.

Pokud je vrchol grafu v_p obarven stejnou barvou jako je vrchol v_k, dojde k sečtení metrik koncového vrcholu a jednotek, které absolvovaly proces přesunu.

V případě, že je koncový vrchol před přesunem obarven barvou různou od počátečního, dojde k souboji. Výpočet hodnoty výsledku souboje o vrchol $M_{j_{výsledek}}$ je vypočten jako

$$M_{j_{výsledek}} = M_{j_{útok}} - M_h - \left(M_o \cdot M_{j_{obrana}}\right),$$

Kde $M_{j_{útok}}$ je hodnota metriky na počátečním vrcholu přesunu v_p a $M_{j_{obrana}}$ je hodnota metriky na koncovém vrcholu přesunu v_k. Hodnota M_o udává velikost obranného koeficientu na koncovém vrcholu v_k a hodnota M_h odpovídá metrice hrany mezi počátečním vrcholem v_p a koncovým vrcholem v_k.

Pokud je $M_{j_{výsledek}} > 1$, je výsledek procesu souboje o vrchol z pohledu útočníka považován za úspěšně vykonaný a dojde k přebarvení vrcholu v_k.

Pokud je $M_{j_{výsledek}} < 1$, je výsledek procesu souboje o vrchol z pohledu útočníka považován za neúspěšně vykonaný a barva vrcholu v_k zůstane nezměněna.

5.3.3 Expanze globálního nepřítele

Algoritmus ovládající globálního nepřítele má jako jednu z možností expanze jednotek přesuny založené na výpočtu nejkratší cesty v grafu. Za počáteční vrchol je vždy zvolen vrchol označený v_0, nacházející se v absolutním středu herního plánu. Při výpočtu je z množiny všech vrcholů V vytvořena podmnožina vrcholů V_{global}, která je určena barvou globálního nepřítele. Z této podmnožiny jsou vybrány tři vrcholy, které disponují nejnižší metrikou obsazenosti jednotek M_j. K těmto třem vrcholům v_x, v_y a v_z je následně pomocí algoritmu vypočtena nejkratší cesta z vrcholu v_0 a to na základě euklidovských vzdáleností jednotlivých vrcholů, tedy metrikou hran M_h. Po těchto cestách je následně vedena expanze jednotek za použití procesu přesunu. Tato varianta expanze je aplikována vždy na konci herního kola globálního nepřítele.

5.3.4 Procesy speciálních tahů

V rámci pravidel hry byly přidány zvláštní procedury, které je možné za zvláštních podmínek uplatnit. Možnosti uplatněních těchto procedur však budou řešeny až v rámci vlastí kazuistiky, kdy bude nutné sledovat především vztah potenciálu využití těchto procedur ku obtížnosti, nebo vlastní zvládnutelnosti hry. Zvláštními procedurami (resp. procesy) jsou:

Stavitel – Vykonáním této akce dojde k posílení obranyschopnosti vybraného vrcholu v grafu. Každé použití zvedne ohodnocení koeficientu obrany K_o vybraného vrcholu o jednu jednotku. Maximální dosažitelné ohodnocení koeficientu obrany K_o vrcholu je pět.

Ničitel – Vykonáním této akce dojde ke snížení ohodnocení koeficientu obrany K_o vybraného vrcholu o jedna. Minimální dosažitelné ohodnocení koeficientu obrany K_o je jedna. Na této hodnotě koeficientu je obranná metrika přesně rovna počtu jednotek.

Teleportér – Vykonáním této akce dojde k přesunu vybraného množství jednotek z počátečního vrcholu přímo do vrcholu koncového. Počáteční i koncový vrchol mohou být vybrány bez ohledu na obarvení. Rozdíl od standardního přesunu po herním plánu, není zde nutné dodržet podmínku sousednosti počátečního a koncového vrcholu. Lze se tedy přesunout mezi jakýmikoli dvěma vrcholy s výjimkou vrcholu umístěného v absolutním středu herního plánu. Tato akce tedy dovolí anulovat ztráty, které by vznikly běžným přesunem po hranách grafu. Pokud je počáteční i koncový vrchol obarven totožnou barvou, dojde k prostému přičtení zvolené hodnoty počátečního vrcholu k hodnotě koncového vrcholu. Pokud je obarvení rozdílné, proběhne proces souboje o vrchol.

Šaman – Vykonáním této akce dojde na vybraném vrcholu k vyvolání procesu počasí. Pokud nebyl před touto akcí vrchol zatížen koeficientem počasí, bude tento koeficient vygenerován, dle pravidel popsaných výše. Pokud naopak vybraný vrchol byl koeficientem zatížen, dojde k jeho zrušení, respektive nastavení na standardní hodnotu 100 %.

Sabotér – Vykonáním této akce je řízeno přesně podle pravidel popsaných u procesu dočasného odstranění hrany. Dojde tedy k její dočasné blokaci.

5.4 Aplikace teorie her

V této kapitole bude vysvětleno, jak je v rámci práce aplikována teorie her. Bude pomoci ní klasifikován konflikt, ke kterému dochází na herním plánu. Bude zde také vysvětlena analýza hráčů a jejich tahů a volba a metodika tvorby optimální strategie z výplatních matic.

5.4.1 Zavedení teorie her na herní plán

V textu následujících kapitol již bude pojem barva vrcholu úzce spjat s pojmem hráč. Každému hráči je v konfliktu přidělena právě jedna unikátní barva zastupující a jednoznačně identifikující vrcholy grafu v hráčově vlastnictví. Ve hře se vyskytují také bíle obarvené vrcholy, které patří virtuálnímu iracionálnímu neutrálnímu hráči.

5.4.2 Klasifikace herního konfliktu pomocí teorie her

Nechť se jedná se o tahovou, kooperativní hru více hráčů, s omezením tří až pěti hráčů. O tahové hře hovoříme, když všichni hráči nevolí svou strategii naráz a teprve pak dojde k vykonání těchto zvolených strategií, ale pokud vybraná hráč (který je na tahu) uplatní svou strategii a následně je po její aplikaci na tahu hráč následující. Jedná se tedy o procesy, u kterých jsou časové přírůstky skokové. K přírůstku času dojde vždy na konci herního kola každého z hráčů. Taktéž v této variantě hry nedochází ke kontinuálním přírůstkům metrik, nýbrž ke skokovému přírůstku. Kooperace je založena na samotné definici kooperativní hry jako speciálního případu neantagonistické hry, při které dochází ke spolupráci hráčů.

Nekonstantní součet v této neantagonistické hře je vytvořen na principu proměnlivé složky procesu zvýšení hodnoty vrcholu (popsáno v kapitole 5.2.2). Tím je potlačen princip hry s nulovým součtem, kdy zisk jednoho je ztrátou druhého a princip hry s konstantním součtem, který rovněž vede k rivalitě mezi hráči, nikoli k jejich spolupráci.

Jako příklad lze uvést situaci, kdy hráč *A* i hráč *B* jsou členy koalice *K*. Oba hráči by k obarvení vrcholu hráče *C* (globální nepřítel řízený algoritmem) museli investovat totožné množství jednotek jejich barvy. Pokud hráč *A* je vlastníkem menšího množství vrcholů než hráč *B*, jeho budoucí zisk na nárůstu jednotek v příštím kole bude taktéž menší než u hráče *B*. Přestože náklady mají oba hráči totožné, zisk je rozdílný.

Hra nemá přenositelnou výhru. Tudíž v případě obarvení vrcholu hráče *C*, hráčem *B*, je zisk jen a pouze hráče *B*. Kompenzací hráče *A* (místo přenositelné výhry) je pouze celkové posílení celé koalice *K*.

Podle velikosti prostoru strategií spadá hra do kategorie konečných her. Prostoru strategií je velmi velké množství, nicméně je stále konečné.

Výsledek hry není možné deterministicky určit, neboť, jak bylo uvedeno výše, řada procesů využívá stochastických průběhů. Je to způsobeno tím, že je do hry implementován v řadě případů prvek náhody. Prvním případem je přesun jednotek, kdy je euklidovská vzdálenost mezi počátečním vrcholem a koncovým vrcholem přesunu po herním plánu násobena hodnotou normálního (Gaussova) rozdělení pravděpodobnosti. Druhým případem prvku náhody je aplikace prvku počasí. To může ovlivňovat sílu jednotek na koncovém vrcholu při souboji v rozmezí $-25\ \%$ až $+25\ \%$. Nelze tedy přesně určit, jaké budou náklady při vykonání konkrétní strategie x_i z prostoru strategií X_i hráče Q_i. Nákladová funkce je vypočtena tedy jako

$$Pom_1(x_i) = GAUSS\left(\sqrt{\left(v_{px} - v_{px}\right)^2 + \left(v_{ky} - v_{ky}\right)^2}\right) - \left(J_{obr}\left(0{,}75 + (0{,}25K_o)\right) \cdot Rand(0{,}75; 1{,}25)\right).$$

Nechť v_{px} je souřadnice *x* počátečního vrcholu a v_{py} je souřadnice *y* počátečního vrcholu. Obdobně je označen koncový vrchol jako v_{kx} (pro souřadnice *x*) a v_{ky} (pro souřadnice *y*). Jako J_{obr} je označen počet jednotek nacházejících se na koncovém vrcholu (tj. počet obránců). Jako K_o je označen koeficient obrany daného vrcholu, který ovlivňuje účinnost jednotek a který je z intervalu $\langle 1{,}5 \rangle$. Poté je již možné určit konečně nákladovou funkci

$$c_i(x_i) = MIN\langle J_{útok}; Pom_i(x_i)\rangle,$$

kde $J_{útok}$ je počet jednotek vyslaných z počátečního vrcholu přesunu.

Cenová funkce vyjadřující přírůstek jednotek při obarvení bodu je

$$x_i f(t) = (v_{x+1} - v_x)100 \cdot 5,$$

kde v_x odpovídá počtu vrcholů, které hráč vlastní před provedením strategie. Přírůstek je tedy stanoven jak přírůstek, který vznikne obarvením nového vrcholu při generování jednotek na počátku herního kola, a to v pěti po sobě jdoucích kolech.

Výsledný zisk strategie je vypočten jako

$$z_i = x_i f(t) - c_i(x_i).$$

Za předpokladu, že se jedná pouze o pohyb po hraně mezi vrcholy stejné barvy, odpadá vliv cenové funkce. A výsledný zisk je vypočten pouze jako

$$z_i = -c_i(x_i).$$

V takovém případě je výsledná zisk záporný, čili lze hovořit o ztrátě.

Ve hře jsou všichni hráči považováni za inteligentní, usilující o optimální výsledek hry. Proto se, dle definice, jedná o hru racionálních hráčů. Hra sice obsahuje neinteligentní stochastické principy (vliv počasí), ale v rámci této vztažné soustavy, počasí nelze považovat za hráče, neboť nemůže dosáhnout výhry, bez ohledu na to, zda o ni usiluje, či nikoli.

Hra disponuje volnou koaliční strukturou, tj. že nejsou definována žádná restrikční pravidla při tvorbě koalic. Díky nekonstantnímu součtu výher vzniká na principu koluzivního oligopolu při potlačení výroby jednoho účastníka konfliktu (zabrání vrcholu obarveným barvou koaličního partnera) superaditivní přebytek. Tento přebytek je nedělitelný, avšak je přínosem pro celou alianci. Ztráta jednoho z hráčů je kompenzována uznáním za vítěze při společné porážce globálního nepřítele tím, že každý z přeživších hráčů je bodově ohodnocen hodnotou B_x. Toto ohodnocení má dvě složky, pevnou a proměnlivou. Je vypočteno jako

$$B_x = \frac{K_B}{P} + \left(\frac{K_B}{V_{celkem}} \cdot V_x\right);\ K_B = 500,$$

kde P je počet přeživších hráčů v moment ukončení hry. V_{celkem} je suma vrcholů těchto hráčů, odpovídá tedy všem vrcholům obarveným barvami různými od bílé či šedé barvy. V_x je suma obarvených vrcholů hráče, pro kterého je výpočet B_x realizován. K_B je nastaveno na hodnotu 500 z důvodu, že celková suma bodových ohodnocení všech hráčů je 1 000 bodů, které jsou rozděleny na dvě poloviny (pevné a proměnlivé ohodnocení).

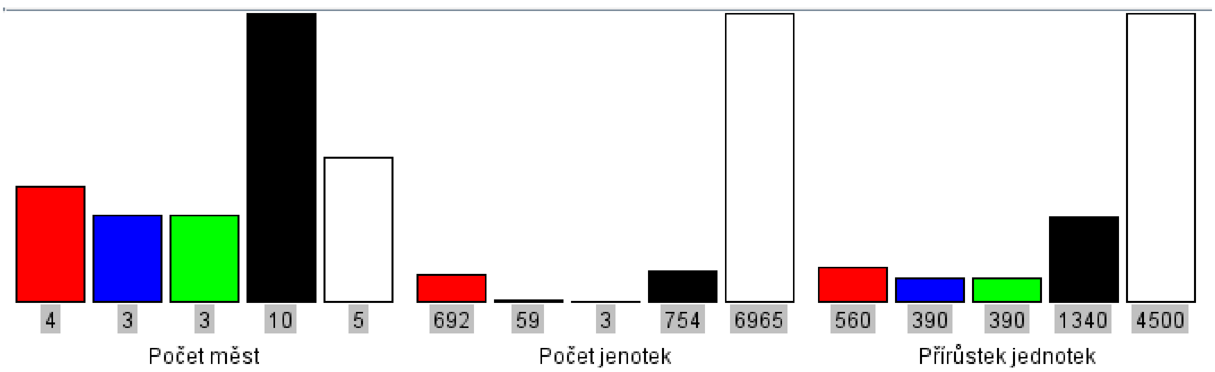
Počet přípustných koalic je roven počtu všech způsobů, kterými lze z množiny N vybrat podmnožinu (prázdnou podmnožinu nezapočítáváme). Tento případ tedy připouští, že je jeden hráč v daný moment členem více koaličních struktur. V této situaci je vyjádřen jako $Q(N) = 2^k - 1$, kde $k = 2^N - 1$. V případ tří hráčů je $Q(3) = 2^7 - 1 = 127$, v případě čtyř hráčů $Q(4) = 2^{15} - 1 = 32\,767$ a v případ pěti hráčů $Q(5) = 2^{31} - 1 = 2\,147\,483\,647$.

Herní plán není statický, ale generuje se při každém spuštění hry, což zlepšuje znovu hratelnost. Proto spadá do her řešených v ryzích strategiích. Dle nastavené velikosti hrací plochy jsou pseudonáhodně vygenerována města pro jednoho hráče. Tento fragment herního plánu je pak zkopírován a středově pootočen. Tak je zajištěna spravedlivá startovní pozice všech hráčů.

5.4.3 Analýza hráčů

Analýza hráčů probíhá po jakékoli vykonané akci na herním plánu. Skládá se ze tří prvků. Prvním prvkem je suma vrcholů, jenž jsou obarveny na herním plánu barvou daného hráče. Druhým prvkem je suma jednotek na vrcholech stejné barvy a třetím prvkem je vyčíslení přírůstku jednotek, ke kterému by došlo v daný moment na počátku hráčova kola.

Tato analýza je vykreslena ve sloupcovém grafu na obrázku 3, ve kterém barva sloupce odpovídá barvě každého jednoho hráče. Každý hráč má v grafu znázorněny tři sloupce, odpovídající hodnotám popsaným výše. Stejně tak jsou tři sloupce (černou barvou) vykresleny jako alianční suma a tři sloupce (bílou barvou) jako globální nepřítel.



Obrázek 3 - Analýza hráčů

Z těchto údajů si hráč může o sobě i ostatních udělat obrázek o tom, jaké je skóre jednotlivých hráčů, co se týče aktuální síly (vlastnictví jednotek a měst). Totéž platí i o rychlosti expanze při následujících kolech (přírůstek jednotek za kolo).

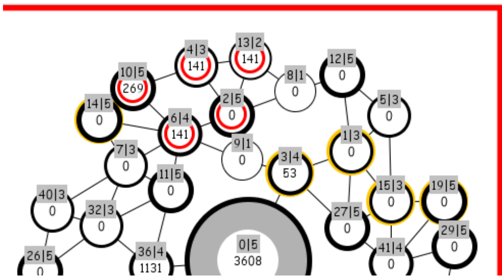
5.4.4 Analýza tahů

Analýza tahů na rozdíl od analýzy hráčů není pro všechny stejná, ale přepočítává se po každé změně na hracím plánu pro každého z hráčů separátně.

Vzhledem k obrovské velikosti prostoru strategií pro jednotlivé hráče není možné a ani vhodné vypisovat veškeré možné strategie.

Například pokud hráč bude vlastnit 10 vrcholů, z nichž by se v součtu mohl pohybovat po 30 hranách a počty jeho jednotky v součtu čítali 5 000, byl by počet možných strategií na následující akci $10 \cdot 30 \cdot 5\,000 = 1\,500\,000$ možných strategií. Výpis jednoho a půl milionu strategií, z nich většina vede ke ztrátě, není výhodný.

Sofistikovaným analyzátorem tahů (který bude více představen v kapitole 7.17) jsou tedy navrhovány jen strategie, u kterých je reálná šance na přežití ztrát způsobených přesunem po hraně a případného následného střetu, seřazené od nejlepšího možného zisku po nejhorší, vizte obrázek 4.



-->	>--	úmrtnos...	počet ob...	síla obr...	ztráty	počasí	počet út...	přínos	výsledný...	(A) ztráty	(A) výsle...
10	14	33	0	0	33	Ano	268	950	917	33	917
13	8	40	0	0	40	Ne	140	950	910	40	910
6	11	41	0	0	41	Ne	140	950	909	41	909
6	7	45	0	0	45	Ne	140	950	905	45	905
6	9	48	0	0	48	Ne	140	950	902	48	902
6	14	60	0	0	60	Ano	140	950	890	60	890
13	4	39	141	211	39	Ne	140	0	-39	39	-39
4	13	39	141	176	39	Ne	140	0	-39	39	-39
6	2	40	0	0	40	Ne	140	0	-40	40	-40
13	2	42	0	0	42	Ne	140	0	-42	42	-42
4	2	44	0	0	44	Ne	140	0	-44	44	-44
10	6	48	141	246	48	Ne	268	0	-48	48	-48
10	4	48	141	211	48	Ne	268	0	-48	48	-48
4	10	48	269	538	48	Ne	140	0	-48	48	-48
6	10	48	269	538	48	Ne	140	0	-48	48	-48

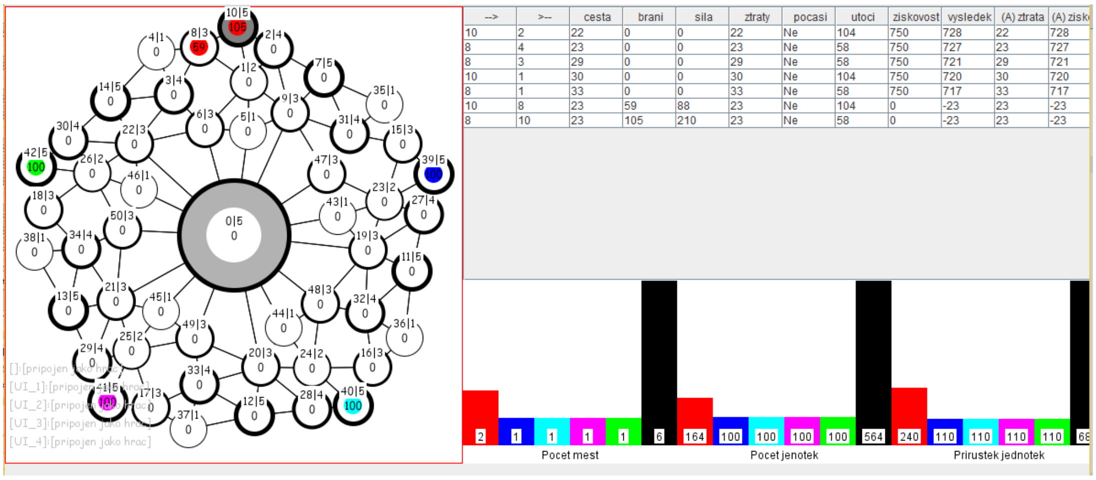
Obrázek 4 - Analýza tahů

Zobrazení těchto strategií je zvoleno formou tabulky, kde první sloupec udává číslo vrcholu, který je pro danou strategii počátečním vrcholem v_p. Druhý sloupec obsahuje číslo koncového vrcholu v_k, proti kterému bude strategie uplatněna. Třetí sloupec zobrazuje střední hodnotu funkce definující ztráty jednotek při přesunu mezi těmito vrcholy v_p a v_k. V nejlepší možné variantě budou ztráty nulové a v nejhorší možné variantě dvojnásobné oproti uvedené střední hodnotě. Čtvrtý sloupec zobrazuje počet jednotek nacházejících se na koncovém vrcholu v_k. Pátý sloupec udává tyto sílu jednotek na koncovém vrcholu v_k po započítání koeficientu obrany K (popsán v kapitole zabývající se procesem obrany vrcholu). Šestý sloupec je součtem nákladů na boj a přesun po hraně e (součet sloupce tři a pět). V případě že jsou oba vrcholy obarveny totožnou barvou, je zohledněn jen přesun, nikoli boj. Je nutné si uvědomit, že výpočet je založen na střední hodnotě funkce, tudíž se může realita lišit, a je nutné zvolit vhodnou redundanci přesouvaných jednotek. Do těchto výpočtů taktéž není započten náhodný vliv počasí. Na počasí nás upozorňuje sloupec číslo sedm hodnotou ano či ne, upozorňující nás na nutnost počítat s ovlivněním výsledků bitvy počasím. Osmý sloupec je ukazatelem počtu jednotek, které jsou před provedením strategie umístěny na vrcholu v_p. Devátý sloupec obsahuje výpočet hodnoty dobytého koncového vrcholu v případě přesunu (zisk $x_i f(t)$, který vygeneruje držení vrcholu na proměnlivém přírůstku jednotek, na počátku našeho kola popsaném výše, a to za pět následujících kol). Desátý sloupec ukazuje hodnotu výsledku zvolené strategie z_i. Tedy devátý sloupec (hodnota dobytého města) mínus šestý sloupce (náklady na boj a přesun jednotek).

Zbylé dva sloupce tabulky se týkají analýzy aliancí a budou popsány v textu později.

5.4.5 Volba strategií pomocí výplatní matice

Na obrázku 5 je znázorněno, že hráč mající vrcholy obarvené červeně má k dispozici pouze sedm více či méně vhodných strategií. Toto opatření je zavedeno z obrovského množství strategií, které jsou přípustné. Výplatní matice je vyjádřena výpočetní funkcí, která provede restrikce a zobrazí jen varianty, které mají šanci na úspěšné vykonání strategie x z množiny strategií $X_{červený}$.



Obrázek 5 - Volba strategií

V tabulce 1 je naznačena výplatní matice (bez restrikce provedené na obrázku 5), která by vznikla pro přesun vedený z vrcholu v_8. Z tohoto vrcholu jsou přípustné přesuny po hranách na vrcholy v_1, v_3, v_4 a v_{10}. Vzhledem k tomu, že metrika na vrcholu v_8 disponuje 59 jednotkami (58 je jich použitelných k přesunu), je v tabulce vyčísleno, jak dopadnou jednotlivé strategie při přesunech konkrétního množství jednotek.

Například při přesunu 25 jednotek z vrcholu v_8 do vrcholu v_1 (strategie $x_{8\_1_{25j}}$) všechny jednotky budou ztrátou při přesunu. Ztráta je tedy 25. Pokud bude vysláno 34 jednotek (strategie $x_{8\_1_{34j}}$), ztráty při přesunu po hraně (případně obarvování vrcholu v_1) jsou jen 33 jednotek, tudíž doje k obarvení nově získaného vrcholu v_1. Toto obarvení v aktuální situaci (vizte obrázek 5) přinese za pět kol zisk 750 vygenerovaných jednotek. Z tohoto vyjde výsledek zvolené strategie jako zisk 717. Pokud však bude zvolena strategie přesunu více než 34 jednotek ($x_{8\_1_{34j<}}$)), ztráty ani zisk nevzrostou. Proto už všechny tyto strategie dopadnou totožným výsledkem. Je tedy jen na hráči, kolik redundantních jednotek pošle, aby nově obarvený vrchol v_1 disponoval dostatečnou metrikou pro zabránění ztráty tohoto vrcholu v horizontu tahů následujících.

Stejně tak jsou vyčísleny i strategie pro přesun jinými směry.

Tabulka 1 - Strategie pro útok z vrcholu číslo 8

vrchol v_8	vrchol v_1	vrchol v_3	vrchol v_4	vrchol v_{10}
x_{1j}	-1	-1	-1	-1
x_{2j}	-2	-2	-2	-2
…	…	…	…	…
x_{22j}	-22	-22	-22	-22
x_{23j}	-23	-23	-23	-23
x_{24j}	-24	-24	750 - 23 = 727	-23
x_{25j}	-25	-25	727	-23
x_{26j}	-26	-26	727	-23
x_{27j}	-27	-27	727	-23
x_{28j}	-28	-28	727	-23
x_{29j}	-29	-29	727	-23
x_{30j}	-30	750 - 29 = 721	727	-23
x_{31j}	-31	721	727	-23
x_{32j}	-32	721	727	-23
x_{33j}	-32	721	727	-23
x_{34j}	750 - 33 = 717	721	727	-23
…	…	…	…	…
x_{58j}	720	721	727	-23

Obdobná tabulka strategií vznikne pro každý počáteční vrchol $\boldsymbol{v_p}$, ze kterého je možné vést přesun po hraně. Tabulka 2 vyjadřuje přesuny z $\boldsymbol{v_{10}}$ do vrcholů $\boldsymbol{v_1}$, $\boldsymbol{v_2}$ a $\boldsymbol{v_8}$.

Tabulka 2 - Strategie pro útok z vrcholu číslo 10

vrchol v_{10}	vrchol v_1	vrchol v_2	vrchol v_8
x_{1j}	-1	-1	-1
x_{2j}	-2	-2	-2
…	…	…	…
x_{22j}	-22	-22	-22
x_{23j}	-23	**750 - 22 = 728**	-23
x_{24j}	-24	728	-23
x_{25j}	-25	728	-23
x_{26j}	-26	728	-23
x_{27j}	-27	728	-23
x_{28j}	-28	728	-23
x_{29j}	-29	728	-23
x_{30j}	-30	728	-23
x_{31j}	750 - 30 = 720	728	-23
…	…	…	…
x_{104j}	720	728	-23

Barevně vyznačené buňky v tabulkách jsou tedy zlomové strategie, kdy přestává růst ztráta, případně zisk. Tyto strategie jsou pak předloženy pomocí našeptávače uživateli, vizte obrázek 5. Tyto strategie jsou seřazeny od nejziskovější po nejztrátovější, takže strategie, která je v tabulce 2 zobrazena tmavě zeleně, je optimální vypočtenou strategií.

5.4.6 Analýza aliancí

Síla aliance je dána součtem všech jednotek, kterými alianční členové v aktuální chvíli disponují na vrcholech obarvených svými barvami. Taktéž je síla popsána sumou všech přírůstků na jejich obarvených vrcholech, která se dá v aktuální moment očekávat, pokud hráči tato svá kola odehrají všichni členové aliance.

Obarvování nového vrcholu s sebou přináší ztráty způsobené přesunem jednotek po hraně mezi vrcholy a náklady na boj. Zároveň však přináší zisk v podobě proporcionálního nárůstu nově generovaných jednotek na počátku kola.

V jedenáctém sloupci tabulky, vizte obrázek 6, je vyčísleno, k jakým ztrátám u aliance dojde. Je jednoduché vyčíslit, že v případě útoku na neutrální město, případně město globálního nepřítele (jsou úplně stejné jako ztráty pro daného hráče). V případě útoku na spojence vzrostou alianční ztráty navíc o padlé jednotky obránce, a o hodnotu přírůstku, o který hráč za pět kol přijde po ztrátě města. Ve dvanáctém sloupci je vyjádřen alianční výsledek zvolené strategie. Vypočten je jako přínos, od kterého jsou odečteny alianční ztráty.

Uvedeme si příklad útoku na aliančního partnera. Pokud hráč A vlastní 10 měst, tak jeho zisk (též přínos alianci) je 100 jednotek na město fixně plus 10 krát 10 jednotek na město proměnlivě. To se rovná celkovému zisku 2 000 jednotek na kolo.

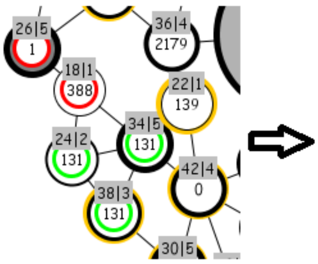
Hráč B vlastní 5 měst, tak jeho zisk (též přínos alianci) je 100 jednotek na město fixně a zároveň $5 \cdot 10$ jednotek na město proměnlivě. To se rovná celkovému zisku 750 jednotek na kolo. Toto znamená alianční zisk 2 750 jednotek na kolo a celkově 15 měst ve vlastnictví.

Pokud by však hráč A zabral hráči B jedno z jeho měst, tak se situace a celková síla aliance změní. Hráč A bude mít ztrátu za přesun jednotek, současně hráč A i B budou mít ztrátu na boji (padlé jednotky). Toto je ztráta i celé aliance, o níž se síla aliance zmenší. Řekněme, že ztráty bojů obou stran plus přesun budou 200 jednotek.

Nyní hráč B vlastní už jen 4 města a tím je jeho alianční přínos roven 100 jednotek na město fixně plus $4 \cdot 10$ jednotek na město variabilně. To se rovná celkovému zisku 560 jednotek na kolo.

Kdežto hráč A již nevlastní 10 měst, ale 11. Tedy jeho individuální zisk (avšak též přínos alianci) je 100 jednotek na město fixně plus $11 \cdot 10$ jednotek na město proměnlivě. To se rovná celkovému zisku 2310 jednotek na kolo.

Když sečteme aktuální zisky aliance, tak se rovnají 2310 jednotek za hráče A plus 560 za hráče B, což je dohromady 2870 jednotek za kolo. Tudíž je to o 120 jednotek za kolo více než předtím. Ztráty na boj budou vykompenzovány alianci během necelých dvou kol.



-->	>--	úmrtnos...	počet o...	síla obr...	ztráty	počasí	počet út...	přínos	výsledn...	(A) ztráty	(A) výsle.
13	8	40	0	0	40	Ne	320	1350	1310	40	1310
14	7	38	38	57	95	Ano	180	1350	1255	95	1255
6	7	45	38	57	102	Ano	180	1350	1248	102	1248
6	9	48	63	63	111	Ne	180	1350	1239	111	1239
40	7	63	38	57	120	Ano	180	1350	1230	120	1230
40	32	37	59	88	125	Ano	180	1350	1225	125	1225
6	11	41	44	88	129	Ne	180	1350	1221	129	1221
18	24	40	131	163	203	Ne	387	1350	1147	1084	266
18	34	49	131	262	311	Ne	387	1350	1039	1192	158
14	10	33	181	362	33	Ne	180	0	-33	33	-33
10	14	33	181	362	33	Ne	180	0	-33	33	-33

Obrázek 6 - Analýza aliancí

Na obrázku 6 je znázorněno, že přestože to v aktuální chvíli z pohledu červeného hráče není nejziskovějším tahem vůbec, vzhledem k tomu že vlastní osm měst a zelený jen tři, tak se zabrání některého města zeleného hráče stává přínosné pro alianci. Pokud by zelený odklidil své jednotky a tím snížil ztráty na boj, zisk ještě vzrůstá.

Analýza aliancí získává na důležitosti ve fázi hry, kdy už neexistují žádná neutrální města (obarvená bílou barvou), resp. v situaci, kdy již neexistuje prostor pro rozšiřování obarvených podgrafů jednotlivých hráčů, bez možnosti zásahu do obarvených podgrafů jiných hráčů.

Oslabení jednoho aliančního hráče tak poslouží k navýšení zisku celé aliance a ta mu bude kompenzovat tento ústupek uznáním společného vítězství pří obsazení centrálního bodu, poražení globálního nepřítele a ukončení hry. Ale alianční hráč zároveň musí jednat v souladu se snahou maximalizovat svůj podíl na výhře v rámci aliance.

6 IMPLEMENTACE SOFTWARE

V této kapitole bude popsána historie jazyka Java, ve kterém je nasána praktická část diplomové práce. Taktéž bude popsáno vývojové prostředí NetBeans, které bylo využito při tvorbě software. Následovat bude popsání konkrétní implementace vybraných podkapitol z předchozí kapitoly.

6.1 Jazyk JAVA

Všechny vysokoúrovňové jazyky měly na počátku devadesátých let obrovskou nevýhodu; pro spuštění programů v nich napsaných bylo nutno je pro každou platformu překompilovat. Proto komerční organizace projevily zájem o programovací jazyk, u kterého by odpadla nutnost rekompilace, a tudíž by programy v něm napsané mohly běžet na všech druzích počítačů. V roce 1991 společnost Sun Microsystems spustila Zelený projekt (Green project), jenž měl za úkol vyvinout programovací jazyk použitelný pro vývoj programů určených do televizí a počítačů v automobilech. James Gosling vytvořil programovací jazyk Oak, který splňoval očekávaná kritéria. Pojmenoval ho podle dubu, jenž mu rostl před kanceláří. Bylo však zjištěno, že programovací jazyk s tímto názvem už existuje a tak byl přejmenován na programovací jazyk Java.

Díky jinému směru, jímž se trh začal ubírat, nikdy nebylo nutné vytvářet aplikace pro televize. V roce 1993 se však rychle začal rozvíjet celosvětová síť internetu (World Wide Web). Všechny webové stránky byly psány pomocí HTML. Jejich obsah zůstal při každém načtení stejný, a tudíž se jednalo o statické stránky. Návrháři webových stránek však požadovali dynamické stránky generované počítačovým programem. Tyto stránky by mohly být individuálně přizpůsobené pro každou osobu, jež je navštíví. Tuto potřebu dokonale naplňoval programovací jazyk Java. Perfektně se hodil pro vytváření interaktivního obsahu webů a vytváření dynamických webových stránek.

Java byla společností Sun Microsystems oficiálně představena až v roce 1995 a o čtyři roky později se stala typickým jazykem pro vytváření programů využívajících technologii World Wide Web.

Po obsahové stránce se Java velice rozrostla a v současnosti se dělí do několika edic. Nejčastěji používanou edicí je Java 2 Standard Edition (J2SE). Pro vytváření podnikových aplikací je určena edice Java 2 Enterprice Edition (J2EE). Pro vývoj aplikací na mobilní telefony je využívaná Java 2 Micro Edition (J2ME).

V kapitole bylo čerpáno z (11, str. 1) a (12, str. 21 – 22).

6.2 Vývojové prostředí NetBeans

NetBeans je platformě nezávislé, univerzální vývojové prostředí. Vývojové prostředí se standardně nazývá IDE (Integrated Development Environment). Konkrétně vývojové prostředí NetBeans vznikl jako český projekt psaný v programovacím jazyku Java. Později ho koupila Společnost Sun Microsystems a uvolnila ho pod licencemi CDDL a GNUv2+CE jako open source.

Vzhledem k tomu, že je toto prostření univerzální, není určeno jen pro psaní aplikací v programovacím jazyku Java. Lze v něm vytvářet programy vytvořené v jazycích C, C++, PHP, HTML a Ruby.

Vývojové prostředí NetBeans obsahuje například průzkumníka kódu, správce projektů a nástroje, které programátorovi pomohou urychlit psaní kódů. Má integrovanou podporu verzování projektů pomocí SVN a CVS. Další funkcí je označování syntaktických a některých sémantických chyb v kódu. Funkcí, která se stará o přehlednost, je automatické formátování kódu. Velice užitečnou funkcí je také automatické vkládání kódu. Programátor si může nechat vygenerovat konstruktory tříd, gettery, settery, případně přetížené metody. Grafické rozhraní Netbeans se výrazně neliší od konkurenčních IDE.

V kapitole bylo čerpáno z (11, str. 1) a (12, str. 21 – 22).

6.3 Generování herního plánu

Herní plán je reprezentován třídou *HraciPlocha*, která obsahuje instanci *AbstrGraf<Mesto, Komunikace> graf.*

Mesto je třída (reprezentující vrchol popsaný v kapitole 5), uchovávající si unikátní identifikátor a informace o poloze, majiteli, úrovni opevnění, koeficientu aplikovaného počasí a počtu jednotek nacházejících se uvnitř města.

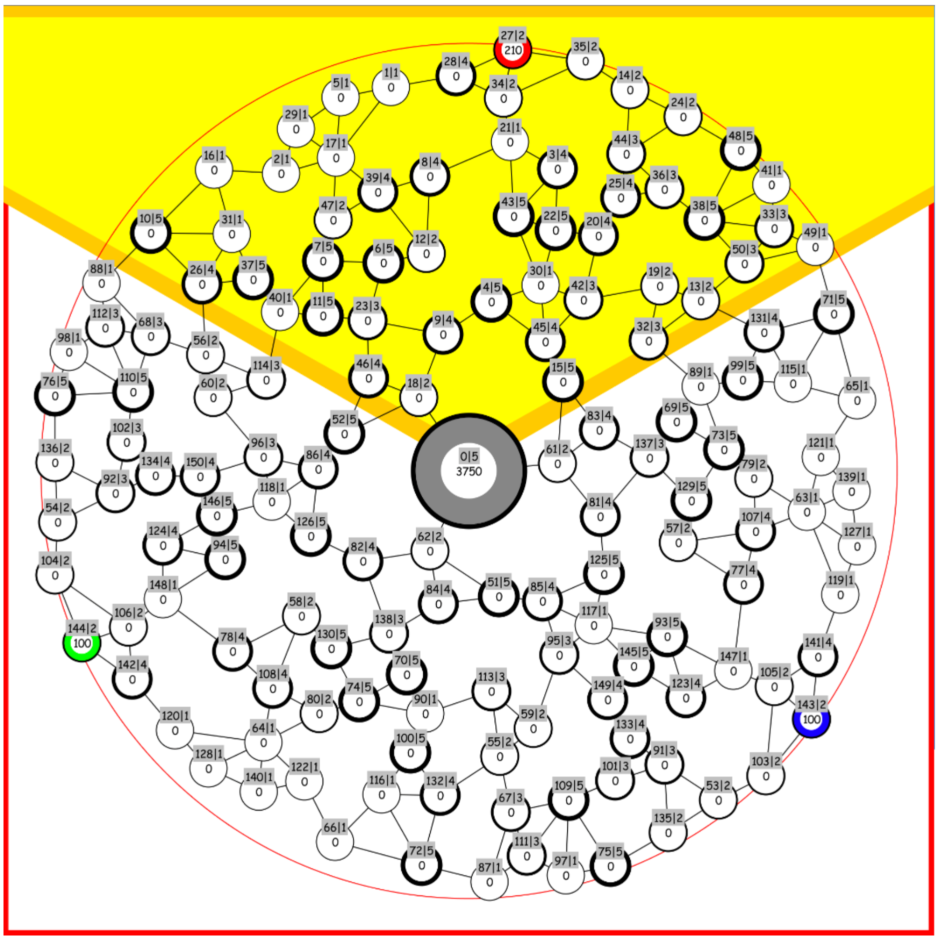
Komunikace je třída (reprezentující hranu popsanou v kapitole 5) uchovávající si unikátní identifikátor, informace o délce a zámek průchodnosti dané komunikace.

Ke generování herního plánu (zastoupeného grafem) dochází v *do-while* cyklu, zakončeném kontrolou validity grafu. Graf je považován za validní za předpokladu, že vždy existuje spojnice mezi všemi vrcholy (lze se pomocí tahu dosáhnout z libovolného počátečního do libovolného koncového vrcholu) a zároveň musí být splněna podmínka, že žádné *Komunikace* (zastupující hrany grafu) se graficky na herním plánu neprotínají (s výjimkou protnutí koncových bodů *Komunikace* na středu *Mesto*). V těle cyklu dochází k inicializaci *AbstrGraf<Mesto, Komunikace> graf*, následuje generování *Mesto* a *Komunikace.*

Maximum všech instancí *Mesto* na herním plánu je 150.

Prvním krokem generování instancí *Mesto* je vygenerování města na absolutním středu herního plánu. Následuje přenastavení výchozí pozice živých hráčů. Ve vzdálenosti poloměru herního plánu jsou v úhlu nula nastaveny počáteční souřadnice prvního hráče. Kružnice je úhlově rozdělena dle nastaveného počtu hráčů. Následně dojde vždy k úhlovému posunu o vypočtenou hodnotu a nastavení souřadnic zbylých hráčů. Tím dojde k nastavení všech startovních pozic.

Nyní je potřeba vygenerovat zbylé instance *Mesto* pro jednoho hráče. Je vytvořen virtuální polygon o třech bodech, vizte obrázek 7. Do tohoto polygonu jsou pak za pomoci pseudonáhodného generátoru umisťovány zbylé instance *Mesto*.



Obrázek 7 - Vyznačená výseč generování

```
private void generujMesta(int pocetMest, Predicate<Mesto> podminkaPridani, Function<Integer,
Mesto> generator) {
    int nezdariloSe = 0;
    for (int i = 0; i < pocetMest; i++) {
        Mesto m = generator.apply(i);
        if (podminkaPridani.test(m)) {
            if (nastaveni.getNahodnaUrovenOpevneni()) {
                m.setUrovenOpevneni((int) generuj(nastaveni.getMinUrovenOpevneni(),
nastaveni.getMaxUrovenOpevneni()));
            }
            m.setCisloMesta(graf.size());
        graf.vlozVrchol(m);
        nezdariloSe = 0;
      } else {
        nezdariloSe++;
        if (nezdariloSe > 1000) {
          pocetMest--;
        }
        i--;
      }
    }
    }
```

Metoda *generujMesta* se stará o vygenerování výseče herního plánu pro jednoto hráče. Pomocí pseudonáhodného generátoru jsou vygenerovány souřadnice města. Je testováno, zda je splněna podmínka přidání města (dostatečná vzdálenost od okolních měst, město je uvnitř trojúhelníkového polygonu a není od středu hrací plochy dále, než je poloměr hrací plochy). Pokud ano, jsou městu nastaveny parametry a je přidáno do grafu. Pokud ne, jsou vygenerovány nové souřadnice umístění. Pokud se v tisíci po sobě následujících pokusech nepovede umístit město na neobsazené místo v grafu, je snížen počet měst, které je zapotřebí vygenerovat k dokončení cyklu. Původní hodnota 150 je vždy dekrementována o hodnotu jedna.

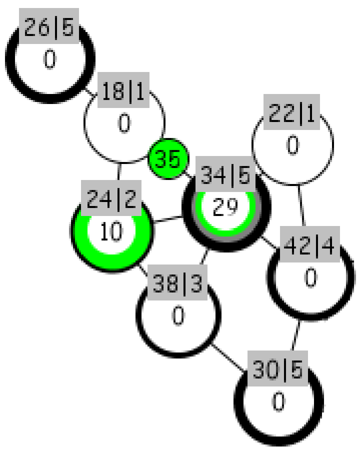
Následuje úhlové pootočení a překopírování výseče vzniklé pomocí metody *generujMesta*. Toto pootočení je aplikováno tolikrát, kolik je hráčů ve hře. Tím dojde ke vzniku spravedlivého herního plánu.

V tento moment dochází k iteraci skrze všechny města grafu. Pro každé město se určí minimální množství komunikací (pro středové město je to hodnota rovna počtu hráčů, pro ostatní města minimálně tři). V rámci této iterace se iteruje skrze všechna ostatní města a uchovává se minimální počet zadaných měst s nejmenší vzdáleností. Pro tyto města je vytvořena instance *Komunikace*. Po vyhledání minimálního počtu nejbližších měst jsou tyto instance *Komunikace* vloženy do grafu a pokračuje se iterací pro následující město. Tímto je zajištěno, že minimální počet komunikací vedoucích z libovolného města je roven třem (s výjimkou středového města). Může nastat situace, kdy má město, více než tři komunikace.

6.4 Přesun a boj na herním plánu

Pomocí metody *vypocitejVysledekPresunu* jsou na základě uživatelem vybrané entity (skrz grafické rozhraní) *Usek<Mesto,Komunikace>* určeno koncové město přesunu a komunikace k němu vedoucí. Následně je vypočítána úmrtnost při přesunu a úmrtnost při případném boji. Tato metoda je volána v těle metody *presunJednotky* které pomocí serveru informuje o přesunu ostatní hráče a zkontroluje zda tento přesun nebyl posledním možným (výhra nebo prohra).

Přesun jednotek je animován jako kruh pohybující se to komunikaci mezi počátečním a koncovým městem. Ve středu tohoto kruhu je na počátku animace vepsána hodnota odpovídající počtu přesunovaných jednotek, vizte obrázek 8. Celá animace je vždy složena z padesáti animačních kroků. Při každém kroku animace dochází ke snížení hodnoty v kruhu. Hodnota je snížena o poměrovou část ztrát, ke kterým celkově došlo. Jednotky tedy během animace umírají postupně, přestože je již dopředu znám a vypočten výsledek celého přesunu.



Obrázek 8 - Probíhající animace

K tomuto výpočtu kroků dochází v konstruktoru třídy *JednotkyAnimace*. Následně jsou tyto kroky uloženy do *ArrayList*.

```
private JednotkyAnimace(int pocetKroku, Point vychoziBod, Point koncovyBod, int vychoziPocet, int
koncovyPocet, Hrac hrac) {
        this.hrac = hrac;
        double vzdalenostX = koncovyBod.x - vychoziBod.x;
        double vzdalenostY = koncovyBod.y - vychoziBod.y;
        double zmenaJednotek = vychoziPocet - koncovyPocet;
        double krokX = vzdalenostX / (pocetKroku - 1);
        double krokY = vzdalenostY / (pocetKroku - 1);
```

```
        double krokJednotky = zmenaJednotek / (pocetKroku - 1);
        Jednotky j = new Jednotky(vychoziBod.x, vychoziBod.y, vychoziPocet);
        kroky.add(j);
        for (int i = 1; i < pocetKroku; i++) {
            j = j.krok(krokX, krokY, krokJednotky);
            kroky.add(j);
        }
    }
```

6.5 Expanze globálního nepřítele

Zde bude popsán princip expanze globálního nepřítele po herním plánu. Tato expanze je řízena algoritmem a nezasahuje do ní žádný z živých hráčů.

6.5.1 Přidání jednotek

Při přidání jednotek je nejprve zjištěn počet měst a vypočten standardní přírůstek který je očekáván na každé měst (totožné s přírůstkem živých hráčů, popsaným v kapitole 5). Na každé město globálního nepřítele je přidána tato vypočtená hodnota.

Následně je jako bonus globálnímu nepříteli připočtena na jeho středovém městě hodnota odpovídající počtu hráčů násobených koeficientem dle nastavené obtížnosti hry.

6.5.2 Rozšiřující tahy

V metodě *provedRozsirujiciTahy* je na základě analýzy tahů vytvořen seznam vhodných strategií, který je seřazen od nejlepší po nejhorší. V těle *while* cyklu je vždy vybrán aktuální optimální tah. Pokud je na městě, ze kterého se tento optimální tah má provést, více jednotek, než kolik jsou předpokládané ztráty přesunem a bojem, a zároveň má tento tah kladnou ziskovost, je proveden. Pokud tah vedl k ukončení celé hry, další tahy se neprovádějí. V opačném případě se pomocí analýzy tahů znovu vypočte optimální tah v nově nastalé situaci. Taktéž se inkrementuje čítač provedených tahů. Tento cyklus se opakuje, dokud jsou k dispozici ziskové tahy, maximálně však pro deset přesunů.

```
private static void provedRozsirujiciTahy() {
        ArrayList<AnalyzaTah> tahy = new AnalyzaTahu(HerniMechanismus.hraciPlocha,
Hrac.MORDOR).getRadkySorted();
        int pocet = 0;
        while (!tahy.isEmpty() && pocet < 10) {
            Presun presun = tahy.remove(0).vytvorPresunMordor(HerniMechanismus.hraciPlocha,
HerniMechanismus.nastaveni.getObtiznost());
            if (presun != null) {
                HerniMechanismus.presunJednotky(presun, Hrac.MORDOR);
                if (HerniMechanismus.konecHry) {
                    return;
                }
                Tools.cekej(CAS_ANIMACE);
                tahy = new AnalyzaTahu(HerniMechanismus.hraciPlocha,
```

```
Hrac.MORDOR).getRadkySorted();
                pocet ++;
            }
        }
    }
```

6.5.3 Zásobující tahy

V metodě *provedZasobujiciTah* dojde k nalezení středového bodu a města, nepatřící žádnému živému hráči, s nejmenším počtem jednotek (města s nulovou obsazeností se ignorují). Za pomocí A* algoritmu, který je součástí datové struktury *AbstrGraf*, která je nedílnou součástí hrací plochy, dojde k vyhledání nejkratší cesty mezi těmito body. V cyklu je prováděn přesun jednotek po nalezené trase, kde vždy dojde k odeslání 20 % jednotek nacházejících se ve výchozím městě úseku dané cesty. Po přesunu jednotek je zkontrolován stav hry, jestli hra neskončila vítězstvím globálního nepřítele. Metoda *provedZasobujiciTah* se vždy provede přesně třikrát.

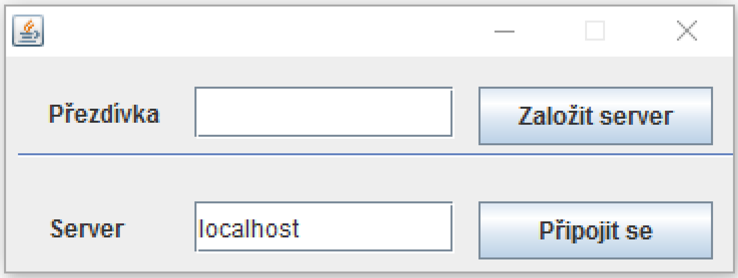
```
private static void provedZasobujiciTah() {
        Mesto stred = HerniMechanismus.hraciPlocha.graf.najdiVrchol(new
Mesto(Mesto.TADY_BYDLI_SAURON));
        Mesto nejmene =
HerniMechanismus.hraciPlocha.najdiMestoSNejmensimPoctemJednotek(Hrac.MORDOR);
        AbstrGraf<Mesto, Komunikace>.Trasa cesta =
HerniMechanismus.hraciPlocha.graf.najdiCestu(stred, nejmene);
        Mesto vychozi = null;
        for (Par<Mesto, Komunikace> trasa : cesta.getTrasa()) {
            if (vychozi != null) {
                int pocetJednotek = (int) (vychozi.getPocetJednotek() *
HerniMechanismus.nastaveni.getObtiznost().getKoeficientZasobovacihoPresunuMordoru());
                Usek<Mesto, Komunikace> usek = HerniMechanismus.hraciPlocha.getUsek(vychozi,
trasa.vrchol);
                Presun presun = new Presun(Hrac.MORDOR, usek, pocetJednotek);
                HerniMechanismus.presunJednotky(presun, Hrac.MORDOR);
                if (HerniMechanismus.konecHry) {
                    return;
                }
                Tools.cekej(CAS_ANIMACE);
            }
            vychozi = trasa.vrchol;
        }
    }
```

7 UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA

V této kapitole bude popsána samotná aplikace hry, její pravidla a omezení. Tato kooperativní hra je vytvořena pro hru tří až pěti živých hráčů.

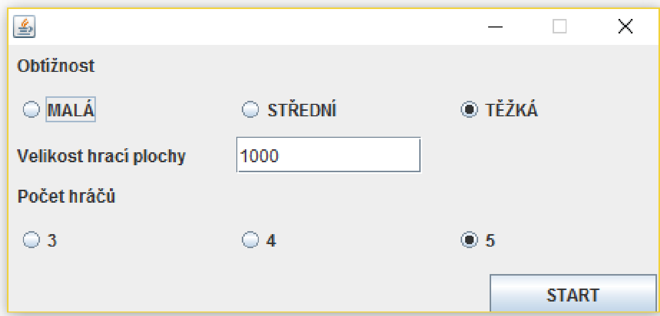
7.1 Spuštění hry

Při spuštění aplikace je uživateli zobrazeno okno, ve kterém je zobrazena možnost založit hru (jako server), nebo se připojit k již existující hře (jako host), vizte obrázek 9. Při možnosti připojení jako host, je nutné vyplnit adresu serveru, ke kterému má být host připojen. Požadavkem, na připojení se, k již existující hře je adresa ve stejné síti, nebo veřejná IP adresa serveru. Při připojení ke hře je IP adresu nutno uvést ve standardním unifikovaném tvaru „xxxx.xxxx.xxxx.xxxx“. Pokud uživatel spouští více instancí programu na jednom počítači, je nutné vyplnit „localhost“.



Obrázek 9 - Založení hry, připojení se

Při obou možnostech je nutné vyplnit zvolené uživatelské jméno, které se bude zobrazovat v chatovacím okně. Pokud je uživatel zakladatelem (serverem), dojde k zobrazení dialogového okna s nastavením hry, vizte obrázek 10.



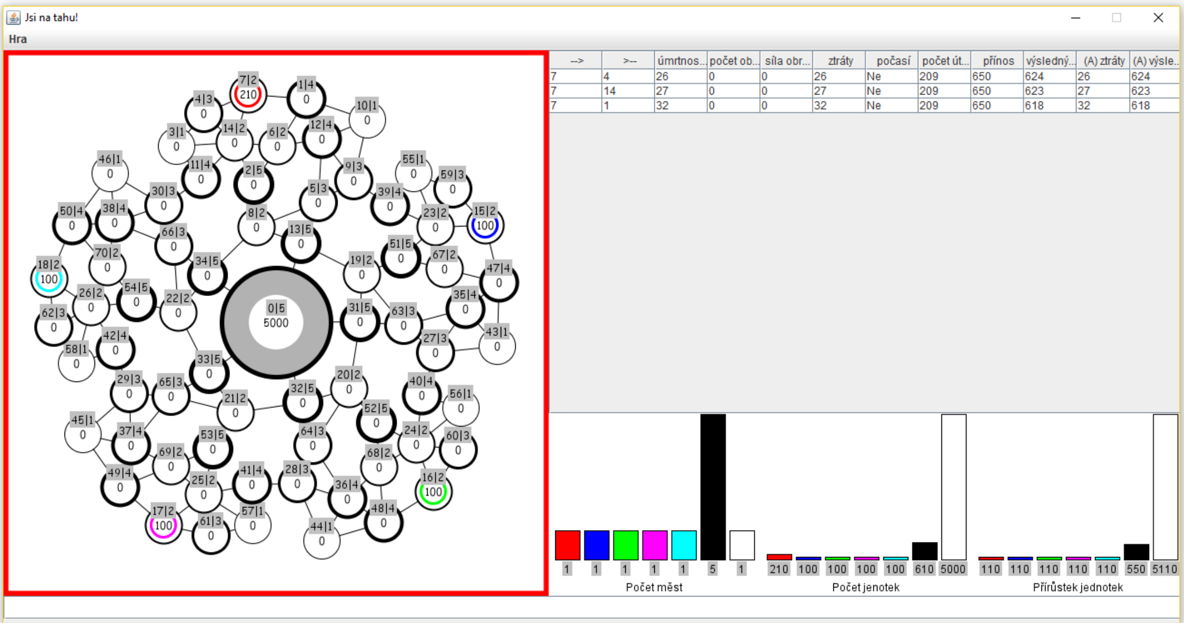
Obrázek 10 - Nastavení počtu hráčů a obtížnosti

V bezprostředně následujícím dialogovém okně je nutné nastavit obtížnost hry. Obtížnosti hry jsou rozděleny lehkou, střední či těžkou variantu. Taktéž je nutné nastavit velikost hrací plochy. Tato volba se pohybuje v přípustném rozmezí 500px až 1 000px. Pokud bude zadána hodnota menší než 500px, automaticky se nastaví nejmenší možná. Naopak pokud bude zadána větší jak 1 000px, tak bude hrací plocha nastavena na maximum. Nastavení hrací plochy má dopad na obtížnost, neboť čím větší herní plán, tím více měst se na ní bude nacházet.

Dále je nezbytné nastavit počet živých hráčů účastnících se hry. Hra nezapočne, dokud nebude připojen předem zvolený počet uživatelů.

7.2 Po spuštění

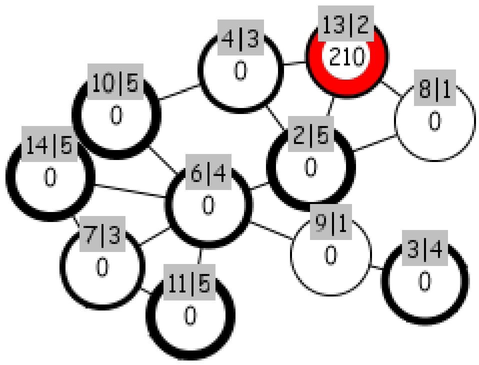
Po založení hry je každému hráči automaticky přidělena hrací barva a náhodně jedna ze speciálních vlastností, které může během svého tahu používat. Hru začíná každý hráč jako vlastník jednoho města v okrajové části mapy vizte obrázek 11. Generování barev je neměnné a od shora po směru hodinových ručiček jsou určeny barvy červená, modrá, zelená (pro tři hráče), navíc purpurová (pro čtyři hráče) a navíc azurová (pro pět hráčů). Hráč, který hru založil (jako server) má vždy červenou barvu a právo prvního tahu. Následně se hráči střídají po směru hodinových ručiček a jako poslední svůj tah odehrává globální nepřítel (velké město ve středu herního plánu).



Obrázek 11 - Nově vygenerovaná mapa

7.3 Město

Město je na herním plánu vyznačeno prostřednictvím černé kružnice s šedou hlavičkou (vizte obrázek 12). Tato kružnice má vyznačeny tři hodnoty. Dvě hodnoty jsou v hlavičce, jedna ve středu kružnice. První hodnota v hlavičce značí jednoznačný identifikátor města. Druhá hodnota v hlavičce značí aktuální sílu opevnění. Hodnota ve středu kružnice značí aktuální počet vojenských sil ve městě. Kružnice obsahuje barevné vyznačení majitele – v případě, že je město neutrální, je značení bíle. V ostatních případech je vyznačeno barvou hráče, který město drží.

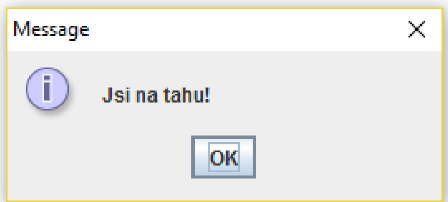


Obrázek 12 - Zobrazení města

7.4 Herní kolo

Na úplném začátku každého kola jsou hráči dle níže definovaných pravidel přiděleny nové jednotky.

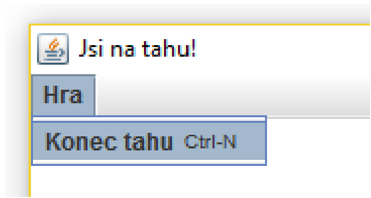
Kolo hráče začíná zobrazením dialogového okna upozorňujícího, že je daný hráč na tahu, vizte obrázek 13. Po potvrzení této informace má hráč možnost provádět úkony.



Obrázek 13 - Upozornění hráče

Hráč má během svého kola k dispozici maximálně pět tahů. Jedním z těchto tahů může být dle uvážení použití speciální schopnosti. Pořadí normálních tahů a speciálního tahu není striktně určeno.

Pokud hráč usoudí, že vykonal vše, co zamýšlel, klikne v horním menu na tlačítko hra a potvrdí ukončení svého kola, vizte obrázek 14. Pokud hráč odehraje maximum svých tahů, tak po odehrání posledního tahu dojde k automatickému ukončení jeho herního kola.



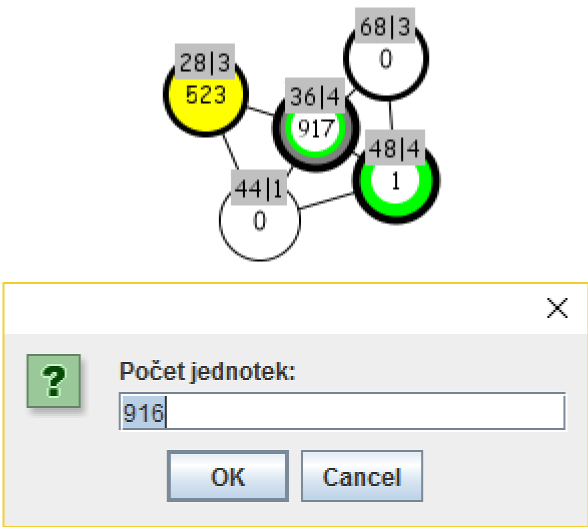
Obrázek 14 - Ukončení tahu

V daný moment se na řadu dostává následující živý hráč. Jako poslední v jednom kole se na řadu dostává globální nepřítel, který není ovládán živou entitou a jedná se o mechaniku hry.

Pořadí živých hráčů je neměnné a zůstává stejné od náhodného rozdělení při spuštění aplikace až do ukončení hry. Kdo je aktuálně na tahu je znázorněno každému hráči textem v horní liště přezdívkou hráče, případně upozorněním, že má hrát. Taktéž je to pro lepší orientaci znázorněno barvou rámečku okolo hracího plánu.

7.5 Přesun jednotek

Přesun jednotek je proveden tak, že hráč, který je na tahu, označí kurzorem myši a stisknutím levého tlačítka myši jedno z měst, kterých je vlastníkem. Následně spolu se zmáčknutou klávesou shift označí levým tlačítkem myši jednu z hran, které z označeného města vycházejí. Nyní je mu zobrazeno dialogové okno s nabídkou, kolik jednotek ze stávajícího města (jedna jednotka vždy ve městě musí zůstat) chce přesunout do cílového města. Po nastavení číselné hodnoty a potvrzení této volby dojde k animaci přesunu jednotek, vizte obrázek 15.

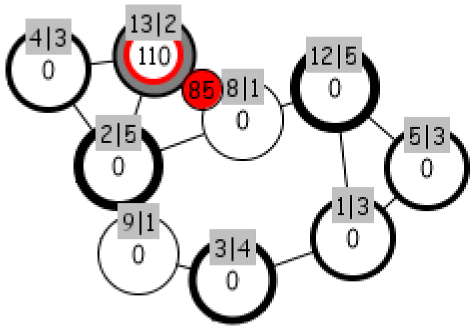


Obrázek 15 - Přesun jednotek

7.6 Úmrtnost jednotek při přesunu

Při přesunu jednotek dochází k jejich ztrátám. Ztráty závisí na skutečné vzdálenosti dvou měst od sebe na herním plánu. Tato vzdálenost je při určování ztrát výchozí hodnotou, na kterou je však aplikován prvek náhody. Nedá se tak přesně určit konkrétní ztráty, ale lze je odhadnout. V nejlepší možné variantě budou ztráty nulové. V nejhorší možné variantě dvojnásobné oproti vzdálenosti přesunu. Největší pravděpodobnost v losování mají však ztráty blízké standardní vzdálenosti. Přesun je znázorněn animací kruhu pohybujícího se po hraně mezi městy.

Kruh animace přesunu má uprostřed napsanou číselnou hodnotu odpovídající počtu jednotek, vizte obrázek 16 Tato hodnota se při přesunu zmenšuje tak, jak dochází ke ztrátám pochodujících jednotek.



Obrázek 16 - Animace jednotek

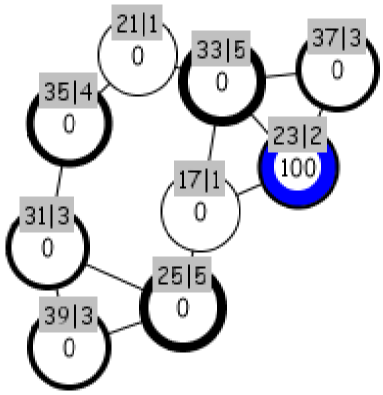
7.7 Boj o město

Pokud nějaké z přesouvaných jednotek dosáhnou cílového města, které je taktéž ve vlastnictví daného hráče, přidají se přeživší jednotky k posádce cílového bodu.

Když cílové město není v držení hráče, dochází k boji mezi útočníkem (hráčem co je na tahu a tuto akci inicioval) a obráncem (vlastníkem cílového města). Boj probíhá výpočtem absolutní hodnoty z rozdílu počtu jednotek obránce a útočníka. Například pokud přežije přesun 100 jednotek útočníka a obránce disponuje ve městě silou 75 jednotek. Dojde k dobytí města (město změní majitele) a novému majiteli zůstane jako posádka tohoto nově nabytého území 25 jednotek. Naopak pokud by přesun přežilo 75 jednotek a obránce disponoval 100 jednotkami, nedojde k dobytí města a obránci zbude 25 jednotek.

7.8 Obrana města

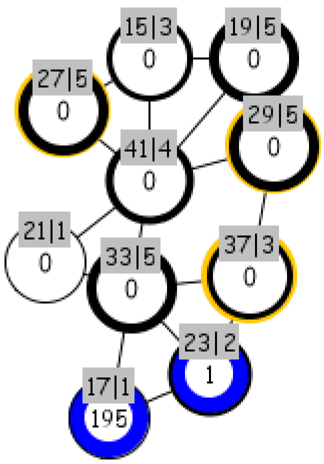
Každé město na herním plánu je graficky ohraničeno kružnicí, vizte obrázek 17. Síla této kružnice (stejně jako druhá z hodnot v hlavičce) představuje hradby, kterými je toto město obehnáno. Síla hradeb se může pohybovat v rozmezí hodnot jedna až pět. Přičemž hradby na úrovni jedna neposkytují obráncům žádný bonus. Za každou další jednotku opevnění získá obránce bonus v hodnotě 25 % podpory. Takže pokud mají hradby obranou sílu dvě, tváří se jeho 100 vojáků v posádce, jako by jich bylo 125. Při síle opevnění tři jako 150, při hodnotě čtyři jako 175 a při maximální hodnotě jako 200 obránců.



Obrázek 17 - Obrana města

7.9 Vliv počasí

Před každým herním kolem, po vystřídání hry všech hráčů, dojde ke změně počasí. Počasí je znázorněno jako širší žlutá kružnice obalující město, vizte obrázek 18. Nad některými náhodně vybranými městy je aplikována funkce počasí. Tento prvek vnáší do hry riziko. Město, nad kterým je aplikováno počasí má náhodně upravenou obranou schopnost v rozmezí -25 % až $+25$ %. Pokud hráč útočí na město ovlivněné počasím, nelze určit přesnou obranyschopnost (tím pádem ani ztráty při útoku). Obrana může být za nepřízně počasí oslabená, případně posilněná za vlivu příznivého počasí.



Obrázek 18 - Vliv počasí

Například posílením hradeb na hodnotu dvě pro obrannou posádku čítající 100 mužů, je obraná hodnota 125. Při maximální nepřízni počasí $(-25\ \%)$ je tato hodnota tedy rovna 93,75 jednotky, zaokrouhleně 94 jednotek.

7.10 Jednotky

Hra obsahuje jen jeden typ vojenských jednotek. Všechny jednotky mají stejnou útočnou i obrannou sílu. Jediné, co ovlivňuje jejich sílu, je počasí a hradby kolem města, kde se jednotky právě nacházejí.

Každému hráči jsou na začátku jeho herního kola přiděleny nové jednotky. Přírůstek jednotek je dvojího typu. Fixní a proměnný. Fixní přírůstek se projeví jako zisk 100 jednotek na každém městě, které hráč v okamžik počátku vlastního kola vlastní. Proměnný přírůstek se vypočte jako 10 jednotek krát počet měst na počátku kola v držení. Tento proměnný přírůstek je připsán taktéž každému městu na počátku herního kola.

Například pří započetí nového herního kola červený hráč vlastní 13 měst. V každém z jeho třinácti měst tedy dojde k fixnímu přírůstku 100 jednotek a proměnnému přírůstku rovnému třináct krát deset, tudíž 130 jednotek. To v součtu dělá celkový přírůstek na každém z měst 230 jednotek na počátku kola.

7.11 Speciální schopnosti

Každému hráči je před spuštěním hry vylosována jedna z následujících speciálních dovedností.

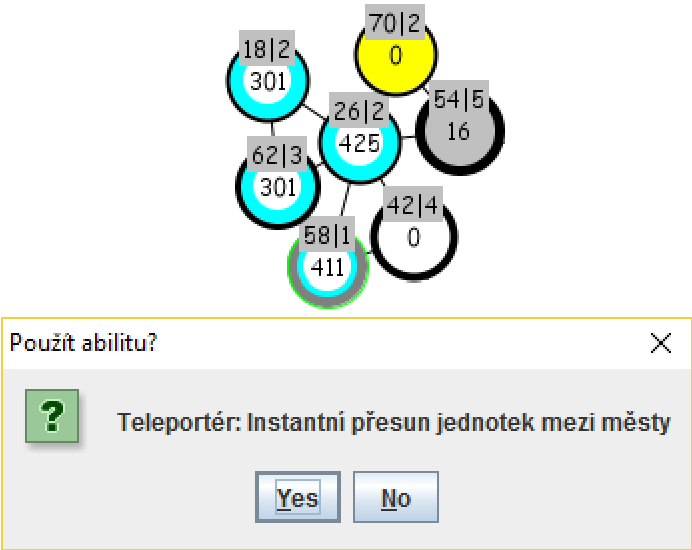
- Stavitel – vykonáním své akce posílí hradby určeného města a tím i obranyschopnost jednotek, které se v něm nacházejí. Každé použití zvedne sílu hradeb o jednu jednotku. Maximální dosažitelná síla obrany města je pět. Tato vlastnost se hodí k posílení vlastní obranyschopnosti, případně k posílení obranyschopnosti aliančních přátel, vizte obrázek 19. Vlastnost se aplikuje označením libovolného města (žlutě vyznačeno) na hracím plánu pravým tlačítkem myši.

Obrázek 19 - Speciální vlastnost stavitel

- Ničitel – vykonáním své akce zeslabí hradby určeného města a tím sníží jeho obranyschopnost. Každé použití sníží sílu hradeb o jednu jednotku. Minimální dosažitelná síla obrany města je jedna. Tato vlastnost se hodí ke snížení obranyschopnosti měst, kterým byla původně díky schopnosti stavitele zvednuta, ale pak došlo k jejich dobytí a nyní jsou v držení nepřítele, případně k oslabení nepřítele, vizte obrázek 20. Vlastnost se použije tak, že je označeno libovolné město (žlutě vyznačeno) na hracím plánu pravým tlačítkem myši. Tato vlastnost je protiváhou speciální schopnosti stavitele.

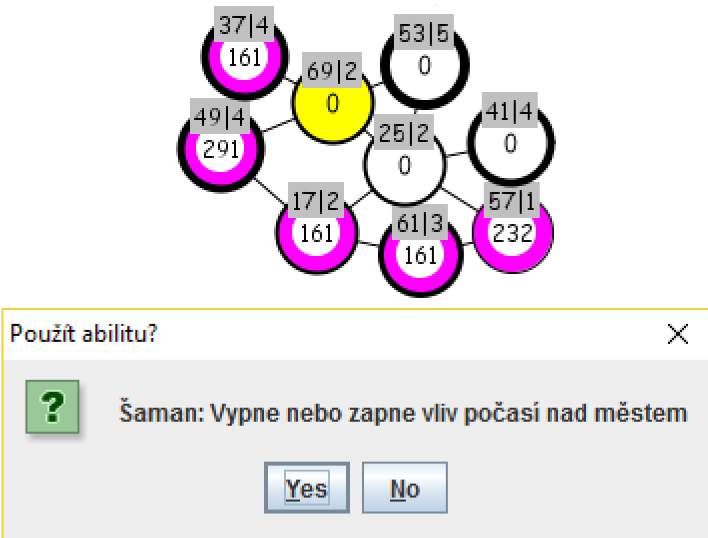
Obrázek 20 - Speciální vlastnost ničitel

- Teleportér – Vykonáním této akce dojde k přesunu jakýchkoli jednotek libovolného města (vlastní, alianční či nepřátelské) na libovolné jiné město, vizte obrázek 21. Tato schopnost ušetří jednotky, které by umřely při přesunu po cestách. Po přesunu jednotek dochází následně ke klasickému vyhodnocení. Pokud jsou si jednotky navzájem nepřátelské, dojde k jejich boji. Pokud patří město, odkud jsou jednotky teleportovány, i město, kam jsou přesunuty, jednomu hráči, dojde k jejich začlenění do obranné posádky tohoto města. Vlastnost se použije tak, že je označeno pravým tlačítkem myši libovolné výchozí město na hracím plánu (označeno zeleně) a pak znovu pravým tlačítkem myši označeno cílové město. Jediné město, ze kterého a do kterého se nedá použít teleport, je centrální nepřítelův bod.



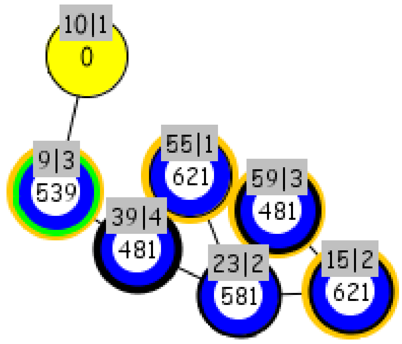
Obrázek 21 - Speciální vlastnost teleportér

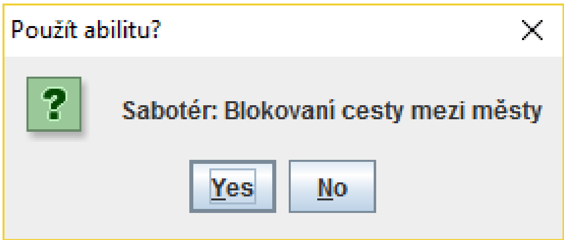
- Šaman – Vykonáním této akce dojde k vyvolání funkce počasí, pokud nebylo předtím aktivní, nad libovolně zvoleným městem, vizte obrázek 22. V případě aplikace na město pod vlivem počasí, bude tento vliv zrušen. Vlastnost se použije tak, že je označeno libovolné město (žlutě vyznačeno) na hracím plánu pravým tlačítkem myši. Aplikace funkce počasí vydrží až do konce tahu globálního nepřítele, pak dochází k úplné změně vlivu počasí.



Obrázek 22 - Speciální vlastnost šaman

- Sabotér – Vykonáním této akce dojde k blokaci cesty mezi dvěma sousedními městy, vizte obrázek 23. Tato cesta se v danou chvíli nedá použít k přesunu jednotek, tudíž mezi těmito městy nemůže dojít k boji. Tato schopnost má dobu trvání, než svůj tah odehraje globální nepřítel, pak dojde k odblokování cesty. Blokace cesty je vlastnost vhodná k obraně města se slabou obrannou posádkou, případně k zabránění expanze nepřítele určitým směrem. Vlastnost se použije tak, že je označeno pravým tlačítkem myši libovolné město na hracím plánu (označeno zeleně) a pak znovu pravým tlačítkem myši označeno město (zbarveno žlutě), které je přímým sousedem města zdrojového. Po aplikaci je blokovaná cesta znázorněna růžovou barvou.





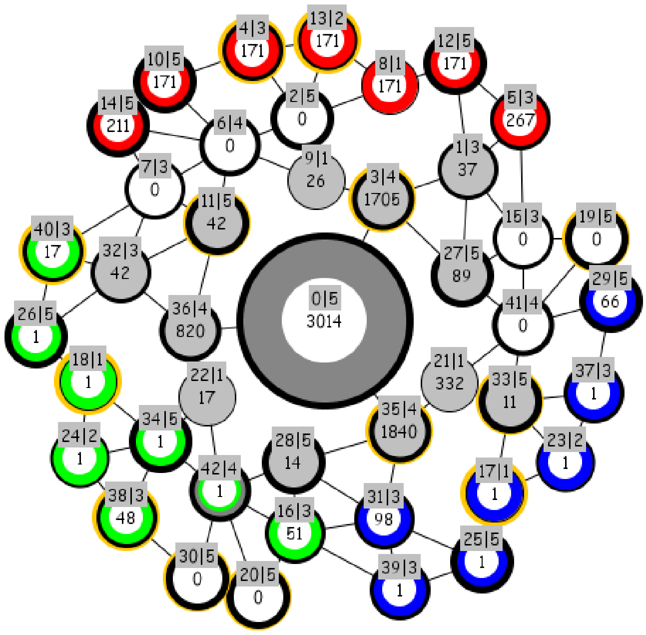
Obrázek 23 - Speciální vlastnost sabotér

Každou z těchto dovedností může hráč využít pouze jedinkrát za své kolo dle vlastního uvážení. Je však vhodné sledovat v konverzaci prosby a rady od aliančních spoluhráčů. Konečné rozhodnutí, jak bude speciální vlastnost použita, je však výhradně na daném hráči.

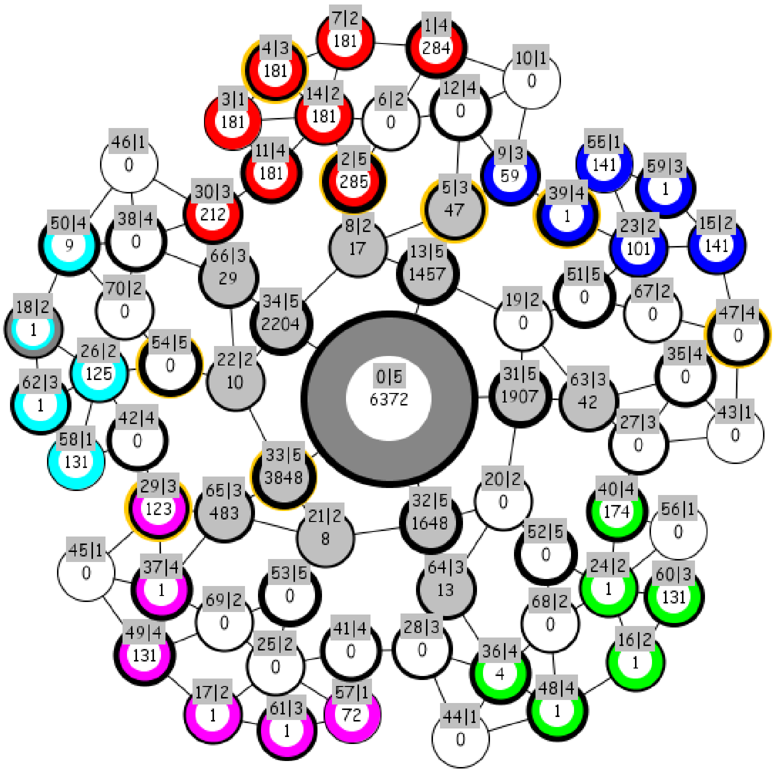
7.12 Herní plán

Herní plán je pro každou hru vygenerován unikátně, vizte obrázek 24 a 25. Uprostřed herního plánu se nachází centrální sídlo globálního nepřítele, z nějž dochází k expanzi nepřátelských jednotek. K tomuto sídlu vede tolik přístupových cest, kolik se účastní živých hráčů hry.

Generování se provádí tak, aby se jednotlivá města nepřekrývala a hrany mezi nimi se nekřížily. Vždy je možné se dostat z jakéhokoli bodu na hracím plánu do jakéhokoli jiného bodu. Před počátkem hry je vygenerován herní sektor pro jednoho hráče. Tento sektor je pak úhlově pootočen a vygenerován i pro ostatní hráče. Tím vzniká spravedlivý herní plán, kde má každý z hráčů na úplném počátku hry stejný životní prostor.



Obrázek 24 - Herní plán velikosti 500 pro tři hráče



Obrázek 25 - Herní plán velikosti 600 pro pět hráčů

Na herním plánu se tedy nacházejí jednotlivá města. Města jsou pospojována cestami umožňující pohyb po herním plánu.

Každý hráč má přidělenou unikátní barvu označující města, která spadají pod jeho správu. Globální nepřítel je reprezentován šedou barvou.

7.13 Globální nepřítel

Globální nepřítel začíná v úplném středu hracího plánu. Dle nastavení má nastaveny různé přírůstky jednotek za kolo na tomto středovém městě. Na lehkou obtížnost je to 500 jednotek za každého hráče za kolo. Na střední obtížnost 1 000 jednotek za každého hráče a na vysoké obtížnosti je to 1 200 jednotek na hráče a kolo.

Společně s tímto bonusem dostává jednotky dle stejného principu jako živý hráči, tedy, dle závislosti na počtu měst, které vlastní.

Globální nepřítel táhne jako poslední v herním kole a to dle následujících pravidel:

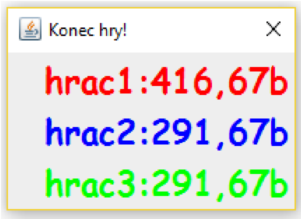
1. Jsou mu stejně jako hráčům spočteny optimální ziskovosti tahů a setříděny od nejziskovějších.
2. Je vykonán optimální tah a dojde k novému výpočtu a dalšímu optimálnímu tahu.
3. Ve chvíli, kdy vyčerpá veškeré možné varianty ziskových strategií, případně dojde k vykonání deseti optimálních tahů, ukončí expanzní tahy.
4. Následují tři tahy doplňování jednotek, kdy je vysláno po 20 % jednotek ze středu jako podpora na nejméně chráněná města globálního nepřítele.

7.14 Aliance

Aliance ve hře fungují na principu volných svazků. Obecně lze říci, že všechny živé hráče spojuje jeden cíl a tj. potlačení globálního nepřítele a obsazení středového bodu. Po obsazení tohoto bodu jsou vítězi všichni živí hráči, jež se hry účastnili. Aliance vznikají volně a pouze jako ústní nezávazná dohoda, proto je možné napadat a obsazovat i města hráčů, se kterými spolupracujeme, stejně jako oni mohou napadat nás. Pošleme-li tedy jednotky do jakéhokoli města, které není v našem vlastnictví, dojde vždy k boji s obránci.

7.15 Cíl hry

Cílem hry je přežít, expandovat, společnými silami porazit globálního nepřítele a dobýt jeho hlavní město, nacházející se ve středu herního plánu. Je lhostejné, který z hráčů obsadí centrum nepřítele, vítězství patří všem zúčastněným hráčům, kteří jsou v tento moment stále naživu a účastní se hry. Každý z přeživších hráčů má zaručen stejný podíl bodové zisku z 500 bodů. Dalších 500 bodů je rozděleno mezi tyto hráče dle poměrového počtu jejich měst v moment ukončení hry. Tyto bodové zisky se při ukončení zobrazí v tabulce, vizte obrázek 26. Výsledky v tabulce jsou pro přehlednost řazeny sestupně dle počtu získaných bodů.



Obrázek 26 - Vyhodnocení hry

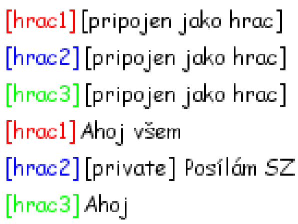
Pokud dojde k postupnému vyhlazení všech živých hráčů globálním nepřítelem, hra končí prohrou a nikomu nejsou žádné body přiděleny.

7.16 Chatovací okno

Pod herním plánem se nachází řádek určený k chatování. Po napsání zprávy potvrdíme stisknutím klávesy enter odeslání zprávy. V pravém dolním rohu dojde u všech hráčů k zobrazení odeslaného textu. Text je na začátku řádku uvozen uživatelským jménem hráče, který zprávu odeslal a barvou daného hráče. Chat je jedinou možností, jak spolu mohou hráči ve hře komunikovat.

Pro zjednodušení komunikace skrze chat jsou jednotlivá města označena čísly, proto je jednoduché je identifikovat v prostoru a dohadovat se na obraně, útocích, přesunech, či využívání speciálních schopností.

V případ, že chce hráč pospat soukromou zprávu jen konkrétnímu hráči je nutné uvést text „/w jménoHráče “. Tato zpráva přijde jen uvedenému hráči a bude uvedena textem „[private]“, vizte obrázek 27.

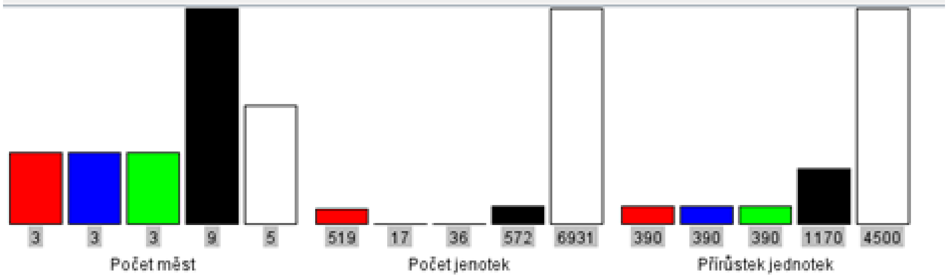


Obrázek 27 - Chatovací okno

7.17 Okno našeptávače

Našeptávač slouží hráčům jako pomůcka pro volbu optimální strategie, kterou použít při obsazování měst. Jedná se o tabulku o dvanácti sloupcích znázorněnou na obrázku 28.

-->	>--	úmrtnos...	počet ob...	síla obr...	ztráty	počasí	počet út...	přínos	výsledný...	(A) ztráty	(A) výsle.
8	12	36	0	0	36	Ne	155	850	814	36	814
13	2	42	0	0	42	Ne	159	850	808	42	808
4	2	44	0	0	44	Ne	202	850	806	44	806
4	10	48	0	0	48	Ne	202	850	802	48	802
8	2	49	0	0	49	Ne	155	850	801	49	801
13	4	39	203	304	39	Ne	159	0	-39	39	-39
4	13	39	160	200	39	Ne	202	0	-39	39	-39
13	8	40	156	156	40	Ano	159	0	-40	40	-40
8	13	40	160	200	40	Ne	155	0	-40	40	-40



Obrázek 28 - Herní našeptávač

První sloupec reprezentuje město, ze kterého bude pohyb veden a druhý sloupec reprezentuje cílové město. Třetí sloupec obsahuje předpokládanou úmrtnost jednotek během pohybu. Čtvrtý sloupec vizualizuje počet obránců v cílovém městě a pátý sloupec celkovou sílu obránců po započtení opevnění. Šestý sloupec odpovídá celkovým předpokládaným ztrátám za přesun a boj. Sedmý sloupec tabulky ukazuje, zda je cílové město pod vlivem počasí či ne. V osmém sloupci jsou počty jednotek útočníků, tedy posádku města, ze kterého bude útok veden. Devátý sloupec obsahuje hodnotu, kterou by dobyté město hráči přineslo (jako přírůstek jednotek za pět následujících kol). Pokud je cílové město jeho vlastní (jedná se jen o přesun), je tato hodnota nulová. Desátý sloupec obsahuje celkový výsledek konečné strategie. Jedná se tedy o hodnotu zisku, od které je odečtena hodnota celkových ztrát. Obsahem jedenáctého sloupce jsou alianční ztráty, ke kterým celkově dojde (liší se od hráčových ztrát, pokud útočí na spojenecké město). Ve dvanáctém sloupci je uveden alianční výsledek. Jedná se tedy o zisky, které strategie přinese alianci, od kterých jsou odečteny ztráty, které aliance při této strategii utrpí.

K přepočtu výplatní matice, jejíž výsledky jsou zobrazeny v tabulce našeptávače, dochází při jakékoli změně na herním plánu. Jsou tedy vždy poskytovány aktuální údaje odpovídající stavu současné herní situace.

8 UŽIVATELSKÉ ZKUŠENOSTI

V této kapitole budou popsány jednotlivé iterace vývoje herních mechanik a pravidel, uživatelské testování a následné úpravy a optimalizace mechanik.

8.1 První iterace vývoje

V této kapitole bude popsána první iterace tvorby herního plánu a jeho uživatelské testování.

8.1.1 Herní plán

Herní plán byl v první verzi pseudonáhodně vygenerován jen částečně. Jednou byla generována města a došlo k jejich ukotvení na herním plánu. Jejich spojování pomocí cest bylo vytvořeno pevně a manuálně. Tak vznikl jeden herní plán, který byl statický a neměnný pro každé spuštění aplikace.

8.1.2 Testování

Skupina uživatelů, která tuto verzi dostala k testování, dospěla k závěru, že v aktuálním stavu není hra znovu hratelná. Algoritmy ovládající globálního nepřítele sice reagují na rozložení jednotek na herním plánu, nicméně v počáteční fázi se choval při pohybech naprosto totožně, což bylo testujícími osobami kritizováno.

8.2 Druhá iterace vývoje

V této kapitole bude popsána druhá iterace tvorby herního plánu a jeho uživatelské testování.

8.2.1 Herní plán

Ve druhé iteraci vývoje byl generován celý herní plán pseudonáhodně. Generování bylo založeno na pokusech umisťování aktuálně vygenerovaného města na herní plán s dodržením podmínky, že aktuálně umisťované město nesmí zasahovat do žádného z virtuálních kruhů okolo měst již umístěných.

Tímto postupem bylo zajištěno, že se města graficky nepřekrývala, což zajistilo grafickou přehlednost.

Města byla spojována automaticky. Po umístění všech měst došlo k projití jejich seznamu a každé z měst bylo spojeno se všemi městy zasahujícími svým umístěním do určeného prostoru okolo tohoto města.

8.2.2 Testování

Uživatelé po otestování této verze konstatovali, že plán je sice generován automaticky a unikátně při každém spuštění herního plánu, ale že často dochází k vygenerování herního plánu, který se nerovnoměrně zaplněn. Jsou v něm řidčeji a hustěji osídlené oblasti, což se z pohledu jednotlivých hráčů jeví jako demotivující překážka při hraní. Některý z hráčů měl jednodušší možnost pohybu a následné expanze při zabírání okolních měst. Naopak jiný hráč, v řidčeji osídlené části herního plánu, měl menší výběr herních strategií a složitější přesuny.

8.3 Třetí iterace vývoje

V této kapitole bude popsána třetí iterace tvorby herního plánu a jeho uživatelské testování.

8.3.1 Herní plán

Generování herního plánu bylo upraveno pro dosažení větší spravedlnosti. V této verzi je vzat v potaz nastavený počet hráčů. Následně je vytvořena kruhová výseč o úhlu odpovídajícímu kruhu vydělenému počtem hráčů. V této výseči jsou pseudonáhodně vygenerována města. Následně je tato výseč vždy úhlově pootočena a duplikována. Tak vznikne spravedlivý herní plán. Propojení měst je založeno na principu, který zaručuje, že každé město bude spojeno se třemi souřadnicově nejbližšími městy, je tedy zaručeno, že z každého města vedou minimálně tři cesty.

8.3.2 Testování

Uživatelé konstatovali, že nyní je z jejich pohledu hrací plán optimální. Neměli již více výtek k rozložení měst, ani jejich spojením. Hrací plán se stal ve fázi počátku hry spravedlivým a zajišťujícím totožné startovní postavení.

Byl však vznesen požadavek na vylepšení chatovacího okna, neboť neumožňovalo zasílání soukromých zpráv, což neblaze ovlivňovalo vznik koalic.

Také bylo konstatováno, že neomezené množství pohybů (omezeno pouze množstvím jednotek k přesunu), které hráč, či globální nepřítel může během svého kola vykonat, je zdlouhavé a nezábavné. Také dával v počáteční fázi hry velkou výhodu hráči, který nové herní kolo začínal (hráč hostující server, značený červenou barvou). V koncové fázi hry zase díky neomezenému počtu tahů a velkému množství jednotek, vedla ke stavu, kdy byli někteří ze slabších hráčů obsazováni silnějšími koaličními hráči. Slabším hráčům bylo ponecháno jen jedno město (aby koalice nepřišla o možnost používat speciální tahy těchto hráčů). To bylo označeno jako nezábavné a byl vznesen požadavek na upravení konce hry tak, aby byl sice zachován princip kooperace, ale aby byla posílena i individuální touha po vítězství.

8.4 Čtvrtá iterace vývoje

V této kapitole bude popsána čtvrtá a konečná iterace tvorby herního plánu a jeho uživatelské testování.

8.4.1 Chatovací okno

Chatovací okno bylo upraveno. Nyní je prostá zpráva po odeslání zaslána všem. V případě, že chce hráč poslat soukromou zprávu jen konkrétnímu hráči, je nutné uvést text „/w jménoHráče“. Tato zpráva přijde jen uvedenému hráči a bude uvedena textem „[private]“.

8.4.2 Pohyb hráčů

Pohyb živých hráčů byl zredukován na maximálně pět tahů za kolo, včetně tahu speciálního.

Taktéž byl zredukován počet pohybů globálního nepřítele. Ten nyní vykonává a opakovaně přepočítává optimální tah. Toto však provede maximálně desetkrát. Poté následují ještě tři zásobovací tahy. Tímto bylo zabráněno tomu, že původně zamýšlené koluzivní oligopoly inklinovala v mnoha případech ke vzniku monopolu.

8.4.3 Vyhodnocení konce hry

Vyhodnocení konce hry bylo upraveno tak, že byl vytvořen bodový bank o velikosti tisíce bodů. Aby byla zachována potřeba kooperace je polovina z tohoto banku (500 bodů) rozdělena v závěru stejným dílem mezi všechny přeživší hráče. Tak má každý z hráčů garantovaný podíl na zisku. Druhá polovina banku je rozdělena hráčům poměrově dle počtu měst, která vlastní.

8.4.4 Testování

Uživatelé ocenili v této iteraci nutnost balancovat mezi potřebou vlastnit na konci hry co největší počet měst a potřebou kooperativně porazit globálního nepřítele. Touhu vlastnit co největší počet měst je nutné potlačit z důvodu nemožnosti učinit více jak pět tahů. Velké území je tedy obtížněji na správu měst, jejich obranu a kooperaci vedení útoků.

Po tomto testování bylo uživateli konstatováno, že připomínky byly opraveny a nyní již nemají vážnějších výtek. Bylo by však nutné testování v daleko větším rozsahu a postupné úpravy konstant, které při nastavené obtížnosti udávají, kolik jednotek se bude generovat globálnímu nepříteli na jeho středovém městě. Z velké testovací skupiny by se korektněji dalo určit rozdělení na lehkou, střední a těžkou obtížnost. Pro některé z uživatelů je střední obtížnost lehká, pro jiné prakticky nehratelná. Bylo tedy doporučeno se věnovat optimalizaci těchto konstant i po ukončení vývoje.

ZÁVĚR

Po obsáhlé analýze jsem vytvořil tahovou kooperativní hru pro tři až pět hráčů využívající principů teorie her, oligopolů, her s ryzí strategií, koluzivních oligopolů. Tato hra je hratelná po síti. Pro možnost připojení jako klient, je nutné vyplnit adresu serveru, ke kterému se chceme připojit. Požadavkem na připojení se k již existující hře je adresa ve stejné síti, nebo veřejná IP adresa serveru. Při zakládání hry je možné zvolit jednu ze tří možných obtížností.

Hra disponuje volnou koaliční strukturou, tj. že nejsou definována žádná restrikční pravidla. Pro přidání prvku kooperace a přínosu do koalice bylo nutné přehodnotit původní záměr a vytvořit hru s nekonstantním součtem výher. Tento mechanismus byl zapracován tak, že zisk (přírůstek jednotek) se odvíjí od počtu měst, která daný hráč vlastní. Výhra je nepřenosná, tudíž si hráči při kooperaci nemohou přenechávat jednotky. Díky nekonstantnímu součtu výher vzniká na principu koluzivního oligopolu při potlačení výroby jednoho z účastníků konfliktu (zabrání jednoho jeho města koaličním partnerem) superaditivní přebytek. Tento přebytek je nedělitelný, avšak je přínosem pro celou alianci. Dílčí ztráta jednoho z hráčů je kompenzována uznáním za vítěze při společné porážce globálního nepřítele a přidělením odpovídajícího bodového ohodnocení. Pro poražení globálního nepřítele je nutná kooperace hráčů, avšak podle lidských měřítek může být vítěz jen jeden.

Herní plán není statický, ale generuje se při každém spuštění hry, což zlepšuje znovu hratelnost. Dle nastavené velikosti hrací plochy jsou pseudonáhodně vygenerována města pro jednoho hráče. Tento fragment herního plánu je pak zkopírován a středově pootočen. Tak je zajištěna spravedlivá startovní pozice všech hráčů. Hra obsahuje konečné množství strategií.

Aplikace také obsahuje „našeptávač“ optimálních tahů, z pohledu daného hráče, i z pohledu celé aliance. Taktéž je vykreslován graf rozložení sil jednotlivých hráčů, aliance jako celku a sil společného nepřítele.

Každému z hráčů je přidělena při startu náhodně jedna ze speciálních vlastností. Tuto vlastnost smí hráč využít jednou za své hrací kolo k užitku svému, či spojenců.

V aplikaci je pro možnou komunikaci hráčů implementován chat.

Pohyb globálního nepřítele je řízen algoritmem založeném na nejziskovějších strategiích. V jistých fázích je též optimalizován za pomoci hledání nejkratších cest. Přírůstek jednotek za kolo je u nepřítele ovlivněn volbou obtížnosti hry.

První kapitola textové části se zaobírá teorií her, vysvětlením základních pojmů a klasifikací her a konfliktů. Druhá kapitola obsahuje popis nekooperativních konfliktů, principy rovnovážných strategií a základní vymezení pojmu nekoluzivní oligopol. Třetí kapitola je věnována popisu kooperativních konfliktů a staví na základech položených v kapitole předchozí. Jsou v ní popsány principy tvorby koalic a vysvětlení principů koluzivního oligopolu. Čtvrtá kapitola je věnována vysvětlení základních pojmů a principů z teorie grafů, které byly použity při vytváření herního plánu aplikace. Pátá kapitola je věnována matematickému pohledu na hru. Byl definován herní plán a mechaniky základních a složených herních procesů. Také byla popsána aplikace teorie her v kontextu herního plánu a procesů na něm vykonávaných. V šesté kapitole je popsána konkrétní implementace softwaru. Je zde uvedena historie jazyka Java a popsáno vývojové prostředí NetBeans, ve kterém je aplikace vytvořena. Taktéž byly představeny vybrané softwarové metody, které byly vytvořeny na základě matematických definicí z předchozí kapitoly. Náplní sedmé kapitoly je obsáhlá uživatelská příručka, popisující funkcionalitu programu, možnosti, které program nabízí a popis jednotlivých analýz, které jsou v aplikaci dostupné. Jsou zde popsány typy jednotlivých akcí, které hráč má k dispozici a interakcí, které vyvolají. Taktéž je popsána možnost komunikace a tvorba aliancí. Jsou popsány jednotlivé fáze hry a cíl, kterého se všichni hráči snaží dosáhnout. Osmá a poslední kapitola je věnována uživatelským zkušenostem z aplikací. Taktéž je zde popsán iterační proces vývoje a testování.

Jako možné vylepšení aplikace se nabízí vyznačení měst na herním plánu, kterých se týká strategie vybraná v tabulce. Velmi vhodná by byla i možnost si nejenom psát pomocí chatu, ale také hlasově komunikovat. Domlouvání strategií jen za pomoci chatu je značně zdlouhavé. Vhodná by také byla dodatečná optimalizace nastavení obtížností hry a síly jednotlivých speciálních schopností. Bohužel k tomuto kroku by bylo nutné mít k dispozici velké množství testerů a sbírat dlouhodobě zpětnou vazbu z hraní.

Klíčové je zmínit, že přes velkou pracnost byly všechny požadavky zadání diplomové práce splněny. Samotnou softwarovou pomůcku, která je součástí výstupů diplomové práce, lze považovat především na softwarový nástroj, umožňující další zkoumání rozličných strategií definovaných teorií her.

POUŽITÁ LITERATURA

(1) MAŇAS, Miroslav. *Teorie her a konflikty zájmů*. Praha: Vysoká škola ekonomická, 2002. ISBN 80-245-0450-2.

(2) MAŇAS, Miroslav a GRAF. ÚPRAVA JAROSLAVA SOBOTKOVÁ. *Teorie her a její aplikace: Vysokošk. učebnice pro stud. VŠE v Praze i stud. ostatních ekon. fakult jiných vys. škol*. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-030-0358-X.

(3) SkriptaRM_TH: Teorie her. *Ekonomická fakulta JU* [online]. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2007 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/prednasky_komplet/skriptaRM_TH.pdf

(4) Teorie her: Vybrané základní pojmy. *Univerzitní informační systém MENDELU* [online]. Brno: Elektronické studijní materiály [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=37733

(5) NEKOOPERATIVNÍ HRY. *Fi.muny.cz | Neoficiální dokumentový server | studium fakulta informatiky masarykova universita* [online]. Brno, 2003 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://fi.muny.cz/data/M023/hry_nek.pdf

(6) MANKIW, N. Gregory. *Zásady ekonomie*. Praha: Grada, 1999. Profesionál. ISBN 80-716-9891-1.

(7) CHVOJ, Martin. *Pokročilá teorie her ve světě kolem nás*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4620-3.

(8) KOVÁŘ, Petr. Úvod do Teorie grafů. *Vysoká škola báňská — Technická univerzita Ostrava* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská — Technická univerzita Ostrava, 2016 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~kov16/files/uvod_do_teorie_grafu.pdf

(9) Základní pojmy teorie grafů: Graph theory. *Ekonomická fakulta JU* [online]. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2008 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/tspp/data/teorie/grafy.pdf

(10) HLINĚNÝ, Petr. Teorie Grafů. *Fakulta informatiky Masarykovy univerzity* [online]. Brno: Hliněný, 2008 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/~hlineny/Vyuka/GT/Grafy-text07.pdf

(11) JUKIN, Tomáš. Používáme Netbeans. *Zdroják - o tvorbě webových stránek a aplikací* [online]. 2. 12. 2008 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.zdrojak.cz/clanky/pouzivame-netbeans-hodi-se-i-pro-tvorbu-webu/

(12) SVOBODA, Václav. Analýza didaktických testů. *Digitální knihovna UPa* [online]. Pardubice: Svoboda, 2015 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://dspace.upce.cz/handle/10195/60837