VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

METODY A NÁSTROJE MODELOVÁNÍ TRHU S VÍCE KOMODITAMI

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE BC. VÍTĚZSLAV JANEČEK

AUTHOR

BRNO 2008

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

METODY A NÁSTROJE MODELOVÁNÍ TRHU S VÍCE KOMODITAMI

METHODS AND INSTRUMENTS FOR MULTI-COMMODITY MARKETS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Vítězslav Janeček
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Martin Hrubý, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2008

Abstrakt

Cílem této práce je prostudovat teorii her, včetně ekonomických teorií, které se vztahují k chování zemědělských producentů. Částí, která navazuje na teoretické východiska, je vytvoření modelu pro simulaci ekonomického systému. Pro simulaci produkce komodit je zvolena obecná teorie her s hledáním Nashových equilibrií. Modelování poptávky je založeno na spotřební funkci, která vychází z Cournotovy hry. Součástí systému je také obchodování s půdou založené na jednoduchých aukcích obálkovou metodou s druhou cenou. Práce využívá externího programu Gambit, což je volně dostupný nástroj pro řešení her. Hodnocení modelu se nachází v sekci experimentů, kde je zkoumána realističnost modelu a jeho logická struktura.

Klíčová slova

teorie her, Nashovo equilibrium, Cournotova hra, aukce, ekonomické teorie, produkce, spotřeba, zemědělské komodity, Gambit, model

Abstract

This study investigates Game theory including economic theories related to agricultural production. Model creation simulating economical system is built upon theoretic starting points. Commodity production is simulated using game theory with searching for Nash equilibria. Commodity demand function is grounded on concept of Cournot game. System includes land trading based on sealed-bid auctions with second-price. This model is using external Gambit software which is freeware library for game theory computations. Model evaluation is located in Experiments section where model structure and truthfulness is tested.

Keywords

Game theory, Nash equilibria, Cournot game, auctions, economic theories, production, consumption, agricultural commodities, Gambit, model

Citace

Janeček Vítězslav: Metody a nástroje modelování trhu s více komoditami. Brno, 2008, diplomová práce, FIT VUT v Brně.

Metody a nástroje modelování trhu s více komoditami

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Hrubého, Ph.D.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

……
Bc. Vítězslav Janeček
16.5.2008

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Martinu Hrubému, Ph.D. za konzultace a odborné rady, za pomoc s vedením práce a také za poskytnutí literatury.

© Vítězslav Janeček, 2008.
Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Seznam obrázků ... 3
Seznam tabulek ... 4
Seznam rovnic ... 4
1. Úvod ... 5
2. Predikce ... 6
2.1 Důvod řešení projektu – motivace ... 6
2.2 Význam prognostik, modelování a simulace ... 7
2.3 Výběr z prognostických projektů ... 8
3. Teoretické podklady ... 10
3.1 Herně teoretické východiska ... 10
3.2 Přehled software nástrojů ... 22
4. Definice zkoumaného problému ... 24
4.1 Slovní specifikace ... 24
4.2 Úkoly modelu ... 26
5. Tvorba modelu ... 27
5.1 Produkční část ... 27
5.2 Investiční část ... 36
6. Experimenty ... 39
6.1 Výběr několika studií ... 39
6.2 Hodnocení výsledků experimentů ... 43
7. Vyhodnocení a výsledky ... 45
8. Závěr ... 47
Literatura ... 48
Seznam příloh ... 49

Seznam obrázků

Obrázek 3.1: Formy zápisu her 11

Obrázek 3.2: Hra o těžbu ropy 13

Obrázek 3.3: Hra o těžbu ropy II 14

Obrázek 3.4: Hra o těžbu ropy III 15

Obrázek 3.5: Příklad křivek konstantní výše zisku pro hráče A v Cournotově hře 17

Obrázek 3.6: Příklad ohodnocení objektu ve vícenásobné aukci 20

Obrázek 5.1: Zjednodušený návrh diagramu tříd pro zvolený model 28

Obrázek 5.2: Vizualizace algoritmu produkčních strategií 31

Obrázek 5.3: Rozhodovací strom produkčních jednotek 33

Obrázek 5.4: Matice rozložení půdy pro komoditu 34

Obrázek 5.5: Zjednodušený diagram algoritmu pro rozhodovací strom 35

Obrázek 5.6: Zjednodušený příklad obchodování s půdou 37

Obrázek 6.1: Produkce a cena Hroznového vína 39

Obrázek 6.2: Množství půdy vlastněné hráči 40

Obrázek 6.3: Zisky hráčů 40

Obrázek 6.4: Množství a cena půdy 41

Obrázek 6.5: Variabilní náklady hráčů 42

Obrázek 6.6: Produkční strategie hráčů 43

Seznam tabulek

Tabulka 3.1: Ekvivalence aukcí 21

Tabulka 5.1: Souhrn důležitých vlastností produkce zemědělských komodit 29

Tabulka 5.2: Spotřeba zemědělských komodit 32

Seznam rovnic

Rovnice 3.1: Cenová funkce Cournotovy hry 16

Rovnice 5.1: Výpočet ceny komodity 32

Rovnice 5.2: Výpočet výnosu z komodity 34

Rovnice 5.3: Výpočet výnosu z komodity 36

Rovnice 7.1: Výpočetní složitost modelu 45

1. Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na analýzu a vypracování systému simulujícího trh se zemědělskými komoditami. Výsledný model je nástrojem pro predikci jevů na zkoumaném trhu.

Úvodní kapitola se zabývá motivací pro vypracování projektu, zkoumá obdobné projekty a zamýšlí se nad významem prognostik. Následuje kapitola, která dává teoretické východiska pro vývoj modelu. Součástí je také analýza dostupných nástrojů, které lze použít při modelování. Definice zkoumaného problému – to je kapitola porovnávající situace na trhu komodit a také shrnující nejdůležitější poznatky o subjektech na trhu. V kapitole tvorba modelu je proveden rozbor modelu jak z hlediska herně teoretického, tak i z ekonomického a součástí je také implementační náhled na nejdůležitější prvky trhu. Předposlední kapitola jsou experimenty, kde lze nalézt několik studií a hodnocení úspěšnosti modelu. Poslední kapitola se zabývá celkovým hodnocením práce a dosaženými výsledky modelu.

Toto je navazující práce na Semestrální projekt. V Semestrálním projektu byl položen základ analýzy teoretických nástrojů, který zde byl rozšířen. Součástí projektu byla také prvotní studie modelu s jeho hodnocením.

2. Predikce

2.1 Důvod řešení projektu – motivace

Motivace

Zemědělské produkty nejsou pouze elementem primárního sektoru hospodářství, jak by se mohlo na první pohled zdát, ale v poslední době lze pozorovat, jak nacházejí uplatnění i v jiných oblastech. Z pohledu sekundárního sektoru lze uvést využití zemědělské produkce jako příměs paliv, anebo jako suverénní zdroj energie (například kogenerační jednotky využívající přebytečnou biomasu zemědělství). I když se biopaliva v současné době negativně promítají do celosvětových cen potravin, tak je možné, že biopaliva druhé generace tento problém vyřeší. Zemědělské komodity nalézají uplatnění také v terciárním sektoru. Zájem o zdravý životní styl a přírodní produkty je důvodem vzestupu agroturistiky, ale také nejrůznějších kurzů zaměřených na bioprodukci.

Z pohledu zemědělce se ale vždy jedná o jedno a totéž rozhodnutí - jak má svou půdu využít a kam má nasměrovat svou další produkci. Každý farmář musí pečlivě zvážit všechny dostupné informace, vyhodnotit rizika a nakonec se rozhodnout. Zpracování a analýza dat, nebo podpora rozhodování – to už jsou termíny běžně známé v informačních technologiích.

Jak účelně lze tedy kombinovat ekonomické teorie a informační technologie? Z pohledu aplikace teorie to jde velmi snadno, protože informatika v některých oblastech využívá ekonomické teorie a naopak. Tato práce je založena na využití těchto společných konceptů pro analýzu reálného problému. Atraktivnost ekonomického tématu v informatické práci je tedy zřejmá.

Pro zkoumaný problém zemědělských komodit ale existuje celá řada možností, jak projekt zpracovat, jaké hlediska vyzdvihnout, ale zejména, které teorie zvolit pro správné modelování systému. Teorie her, jako jedna z možností, byla zvolena pro svůj základ v ekonomii a její aplikace je proto velmi účelná. Jako příklad další možnosti řešení problému lze uvést evoluční algoritmy, nebo neuronové sítě.

Využití

Tato práce si neklade za cíl vytvořit simulační model, který by 100% postihoval realitu a mohl by tak sloužit pro podporu rozhodování farmářů. Projekt, který by splňoval tyto požadavky by byl mnohem rozsáhlejší a jeho náročnost by byla velmi vysoká, protože by musel pracovat s reálnými statistickými daty mnoha položek, jako jsou ceny půdy, komodit, náklady ušlých příležitostí, tržní pohyby, aspekty počasí, anebo mezinárodní vývoj. Účelem této práce je spíše zkoumání ekonomických vztahů na počítačovém modelu, porovnávání přístupů vytváření modelu, anebo vytváření analýz pro přednastavené počáteční podmínky.

2.2 Význam prognostik, modelování a simulace

Prognostika

Prognostika je věda zabývající se predikcí budoucího stavu u vybrané části systému. Její největší uplatnění se nachází v obchodní sféře, ale lze ji také využít pro studie zabývající se demografickými otázkami nebo problémy ve zdravotnictví.

Prognostickou analýzu lze rozdělit podle přístupu jakým je provedena. První metodou je **analýza řízená daty**. Tento druh se využívá zejména tam, kde není zcela jasná struktura systému anebo jeho modelování by bylo z důvodu složitosti velmi náročné. Problémem tohoto prognostického přístupu je požadavek na dostatek dat. Tato data by měla pokrývat všechny koncové stavy systému, včetně stavů chybových.

Druhým prognostickým přístupem je **analýza řízená modelem**. Podstatou je pochopení principu systému, zvolení vhodného měřítka a detailů, a modelování a testování systému. Výsledky můžou zobrazit jevy, které v minulosti nenastaly, ale při splnění podmínek se v budoucnu mohou vyskytnout. Nevýhoda tohoto přístupu je velmi náročné modelování komplexních systémů.

Tato diplomová práce je založena na využití druhého přístupu, tedy vytvoření modelu, odpovídajícího reálné situaci a následném testování s různými parametry.

Modelování

Modelování můžeme charakterizovat jako promyšlené jednání směřující k získání informací o jednom systému pomocí jiného systému – modelu. Systém, ať už modelovaný anebo samotný model, se skládá z elementárních částí – prvků, které mají mezi sebou určité vazby. Základem modelování je zachytit podstatné prvky systému a s jejich vazbami je přenést do modelu.

V této oblasti se od svého vzniku ve významné míře podílejí počítače. Ty umožňují realizovat praktické řešení, které bylo předem prověřeno a analyzováno. Modelování systémů na počítačích lze rozdělit do tří fází:

1. Formování účelového a zjednodušeného popisu zkoumaného systému - vytvoření abstraktního modelu.
2. Zápis abstraktního modelu formou programu - vytvoření simulačního modelu.
3. Experimentování s reprezentací simulačního modelu na počítači - simulace.

Simulační model reprezentuje abstraktní model zapsaný formou programu v programovacím jazyce.

Simulační model

Nedílnou součástí každého projektu je jeho model. Ten může zastoupit reálnou situaci a lze na něm analyzovat zásahy do systému. Řídící zásahy do modelu jsou v porovnání s reálným projektem levné a jejich vyhodnocení je výrazně rychlejší. Protože se simulace provádí za účelem optimalizace projektu, tak simulační model musí odpovídat realitě. Čím věrnější model, tím přesnější dosažené výsledky, které zlepší šance na správné rozhodnutí.

Simulační model má mimo optimalizace rozhodování také další doplňující funkce. Model lze například využít pro lepší pochopení všech aspektů projektu. Další možnost využití je predikce vývoje, což souvisí s rychlým vyhodnocením výsledků modelu. Simulace se také využívá pro identifikaci a kvantifikaci rizik.

Při sestavování musí existovat vhodná spojitost mezi parametry výchozího dynamického systému a jeho simulačního modelu. Platí také obecné pravidlo, že správně sestavený model nám je schopen zodpovědět problémy, o kterých nevíme, dokud projekt nesimulujeme.

2.3 Výběr z prognostických projektů

NASA

NASA má na prognózy zaměřené jedno ze svých oddělení „Diagnostics and Prognostics“, které zkoumá stav systémových komponent vztahujících se k misím NASA. Cílem této skupiny je vytváření modelově založených analýz. Největší využití se nachází při ověřování diskrétních a spojitých chyb, při pokusech s Bayesovskými sítěmi, anebo při vyhodnocování metrik diagnostických algoritmů. Pro predikce budoucích chybových událostí se využívá analýzy založené na

datech, spojené se sběrem dat v reálném čase a datovými výstupy modelu. To je příklad situace, kde je nejvhodnější použít výhod obou modelů a zkombinovat přístup řešení problému.

Projektem NASA, který souvisí s predikcí, je i sklad prognostických dat, nebo-li „Prognostic data repository“. Je to sbírka datových sad zaměřených na predikce, které byly darovány různými univerzitami a společnostmi. Příkladem datových sad jsou data o ložiscích anebo bateriích. Tímto projektem se NASA pokouší vyřešit nedostatek dat pro prognostické algoritmy, které srovnávají výkonnost hodnotících algoritmů.

Archeologický ústav AV ČR

Archeologický ústav AV ČR používá prognostiku jako nástroj pro analýzu lokality vybrané pro stavební či zemědělské účely. Archeologická predikce představuje prostředek pro zjednodušení odhadu výskytu archeologických nalezišť. Velmi významně se v této činnosti uplatňují také počítačové programy GIS.

Jako příklad proměnných, které se v predikci používají, jsou vzdálenost od vodního toku, svažitost terénu a nadmořská výška. Na základě těchto faktorů vznikl projekt, který potvrdil, že poloha archeologických nálezů závisí na parametrech přírodního prostředí a s pomocí prognostiky lze zásadně ovlivnit šanci na nalezení archeologické lokace.

Predikční model Italské zemědělské oblasti

Plný název projektu je „Land use change and the multifunctional role of agriculture: a spatial prediction model in an Italian rural area“. Tento projekt, který je svým zaměřením velmi podobný této diplomové práci, zkoumá environmentální, sociální a ekonomické vztahy definující využití zemědělské půdy. Největší uplatnění práce vidí autoři v predikci efektů změny využití půdy a pro plánování intervenčních nástrojů.

K implementaci systému byl aplikován prostorový model využití půdy za pomocí Bayesovské analýzy. Model se orientuje na pravděpodobnostní mapy využití zemědělské půdy v části Itálie. Součástí modelu je také zahrnutí podrobných charakteristik farmářů a zemědělského systému, parametrizace farmy na základě předchozích dat a také využití půdy pro více účelů.

3. Teoretické podklady

3.1 Herně teoretické východiska

Teorie her je nástroj pro určování toho, jak se jedinci budou v definovaných situacích rozhodovat. Každý hráč vyhodnocuje několik údajů - své možnosti, jakým způsobem ovlivní jeho chování systém a jakým způsobem ovlivní systém akce protihráčů. Přepokládá se, že hráči jednají **logicky** a činí tak strategická **rozhodnutí**.

Základní rozdělení

Příkladem hry může být následující situace: hru hrají 2 hráči, jeden z nich hádá počet žetonů a druhý počet žetonů vybírá. Hráč, který hádá, musí v každém kole ohlásit co si myslí – jestli jeho protihráč má momentálně v ruce lichý nebo sudý počet žetonů. Hráč, který volí žetony, v každém kole schová do své dlaně jím zvolený lichý nebo sudý počet žetonů. Pokud hráč, který tipuje, správně uhodne lichý nebo sudý počet žetonů, tak od soupeře získá jeden žeton. V opačném případě jeden žeton ztratí.

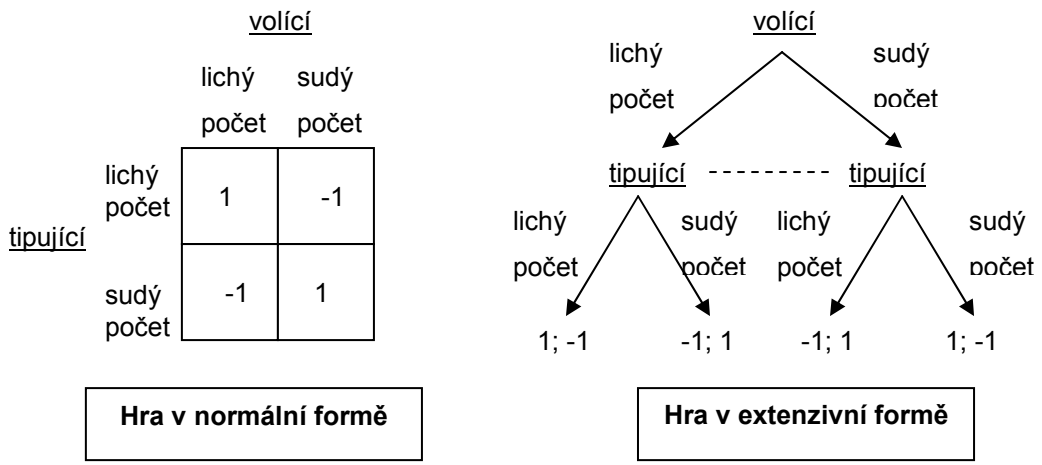
Toto je klasická ukázka hry dvou hráčů s **nulovým součtem**. Za hru s nulovým součtem jsou označovány takové hry, kde se bohatství (resp. to o co se hraje) nezvětšuje ani nezmenšuje, pouze se přesouvá navzájem mezi hráči. Opakem tohoto typu her jsou hry s **nenulovým součtem**. Po každém odehraném kole se celkové bohatství hráčů může zvětšit anebo zmenšit. Zápis u těchto dvou typů her bývá také odlišný – pro hry s nulovým součtem stačí uvést jednu hodnotu. Druhá hodnota (zisk nebo ztráta protihráče) je negace uvedené hodnoty.

Další rozdělení je na statické hry a dynamické hry. **Statické hry** pro hráče znamenají to, že postrádá informace o soupeřově tahu a současně se nezúčastní dalších kol hry. **Dynamické hry**, oproti tomu, počítají s tím, že hráči v následujících kolech znají kroky svých protihráčů, které berou do úvahy pro své další rozhodování. Z opačného úhlu pohledu – hráči hrající v předchozích kolech musí do svého uvažování brát v potaz to, že hráči hrající po nich se budou řídit podle všech předchozích kroků.

Zápis her lze provést dvěma způsoby. **Normální forma** se zapisuje tabulkou, resp. maticí, nejčastěji popisuje hru dvou hráčů, kde hráč A je zaznamenán vlevo a výsledky hledá po řádcích. Hráč B je zaznamenán nahoře a výsledky hledá po sloupcích. Normální formou můžou být ale také značeny hry více než dvou hráčů. Způsoby zápisu musí v tom případě vhodně změnit. Klasický 2-rozměrný zápis (například na papír) může představovat více tabulek, anebo jednu tabulku s více úrovněmi. Na počítači je možno vytvořit několik dalších způsobů zápisu (například vícerozměrnou tabulku). **Extenzivní forma** je většinou používána tam, kde je potřeba zdůraznit posloupnost kroků tak, jak jdou

v průběhu hry. Extensivní forma se zapisuje jako strom. Uzly grafu značí místa, kde se vybraný hráč rozhoduje pro svůj další krok – může mít k dispozici informace o předchozích krocích protihráčů. Hrany grafu představují možné akce hráče. Listy stromu obsahují vyhodnocení hry s výhrou nebo ztrátou každého zúčastněného hráče. Obecně platí, že libovolná hra v normální formě může být převedena na hru v extenzivní formě.

Pro výše uvedený příklad se dvěma hráči, kde jeden hádá počet soupeřových žetonů, můžeme uvést následující zápisy her:



Obrázek 3.1: Formy zápisu her

Zápis hry v normální formě můžeme číst následovně: pokud hráč, který tipuje, vybere lichý, resp. sudý počet žetonů a současně hráč, který volí, vybere lichý, resp. sudý počet žetonů, pak hráč, který tipuje, získá 1 žeton. Pokud by hráč, který hádá, zvolil lichý resp. sudý počet žetonů a hráč, který volí, vybral sudý, resp. lichý počet žetonů, pak ztratí 1 žeton. Protože si hráči předávají žetony navzájem, pak je zřejmé, že zisk, resp. ztráta jde na vrub soupeře. Povšimněme si, že i když hráči mají stanoveno pořadí, ve kterém hrají – nejdříve hráč, který volí, musí vybrat určitý počet žetonů a schovat je v ruce a poté hráč, který tipuje, ohlásí svou volbu – tak na samotný zápis hry to nemá žádný vliv.

Hra v extenzivní formě je přehlednější ve smyslu pořadí, v jakém hráči jedou. Důležité je si však uvědomit, že toto pořadí není nezbytně nutné dodržet. Jak si můžeme všimnout, mezi označením hráče „tipující“ je přerušovaná čára, která označuje, že se hráč nachází v **informační množině**. Takto lze zaznamenat to, že hráči nebudou mít informace o předchozích tazích hráčů. Pomocí informační množiny lze přepsat hru v extenzivní formě tak, aby začínal tipující a až ve druhém kroku by jel hráč, který vybírá počet žetonů. Ve skutečnosti by se tato situace dala dosáhnout tak, že by se využilo

služeb nezávislého rozhodčího, kterému by tipující oznámil svůj odhad a rozhodčí by poté šel ověřit počet žetonů k protihráči.

Další rozdělení her je na hry s kompletní informací a hry s nekompletní informací. Za hry s **kompletní informací** jsou označovány hry, kde všichni hráči mají veškeré informace o stavu hry a krocích protihráčů. Jako příklad tohoto typu her bývají uváděny šachy, piškvorky atp. Hry s **nekompletní informací** jsou takové hry, kdy jeden nebo více hráčů nemají všechny informace o hře, které by mohly ovlivnit jejich rozhodování. Příkladem takové hry může být situace, kdy na trhu existuje monopolista, který uvažuje, jestli rozšířit své produkční kapacity anebo nic neměnit. Jeho protihráčem je soupeř, který uvažuje o vstupu na daný trh. Hra s nekompletními informacemi vzniká v okamžiku, kdy například monopolista nezná přesné náklady rozšíření produkčních možností anebo, kdy soupeř nezná přesnou výši nákladů na vstup na trh.

Jiná kategorizace her je na kooperativní hry a soupeřivé. Za **kooperativní hry** jsou označovány takové hry, kde užitek pro zúčastněné hráče je větší, pokud se shodnou a budou spolupracovat, než kdyby se nedohodli. Například se může jednat o typickou hru „válka pohlaví“ – muž a žena spolu chtějí strávit večer. Muž chce jít na hokejový zápas, žena raději do divadla. Pokud se ale dohodnou, tak užitek pro ně bude mnohem větší, než kdyby šli každý sám. **Soupeřivé hry** jsou takové, kdy z podstaty jsou hráči protivníky a není pro ně možná spolupráce. Příkladem takové hry může být situace, kdy šerif stíhá bandity za vyloupení banky – jejich úkolem je prchnout před zákonem a šerifovým úkolem je je pochytat.

Existuje ještě mnoho dalších typů rozdělení her (například na diskrétní a souvislé), ale jejich vyjmenování a popis není cílem této práce. Výše uvedené rozdělení je základní a plně postačující pro oporu následujících kapitol.

Základní termíny

V příkladu z předchozí kapitoly, kdy dva soupeři hrají o žetony je zcela jasné, co představují číselné zápisy v tabulce nebo ve stromě - jsou to zisk, resp. ztráta žetonu. Co by však mělo být zapsáno v tabulce pro hru „válka pohlaví“? Jelikož muž a žena nehrají o peníze, ani o žádnou jinou hmotnou věc, tak kvantifikace je v tomto případě o něco obtížnější – hrají totiž o radost z toho, že budou, resp. nebudou spolu. Žetony i radost přestavují pro hráče tzv. **užitek**. Pokud by se hry hádání žetonů zúčastnil například otec a syn, tak by pro otce nemuselo být skutečnou výhrou porazit svého syna, ale naopak by pro něj mohlo být užitečnější, nechat svého syna vyhrát. V tabulce by i nadále mohly zůstat hodnoty „-1“ a „1“ (i když pozměněné, takže by se již nejednalo o hru s nulovým součtem), tentokrát by již ale představovaly přímý užitek ze získání nebo ztráty žetonu.

Aby bylo vyčíslení užitku možné, musí platit následující **pravidla**:

1. Všechno lze srovnávat (hráč musí ke každému objektu hry být schopen vyjádřit svůj názor).
2. Preference a lhostejnost jsou tranzitivní (pokud A je lepší než B a současně B je lepší než C, pak musí platit, že A je lepší než C).
3. Hráč nerozlišuje (je lhostejný) ke stejným výhrám v loterii (pokud hráč rozlišuje výhry v loteriích, pak rozlišuje i loterie).
4. Hráč se vždy zúčastní hry, pokud jsou šance dostatečně vysoké.
5. Větší šance na výhru značí lepší loterii.
6. Hráč nerozlišuje způsob vyhodnocování rizika, zajímá jej pouze šance na výhru.

Pomocí výše uvedených pravidel můžeme sestrojit **funkci užitku**, která ohodnotí pro každého hráče užitek každé z možných akcí, které má k dispozici.

V okamžiku, kdy již máme **čisté strategie** (kompletní popis akcí a ohodnocení možností pro danou hru), musíme vyhodnotit možnosti hráčů a určit strategie, kterými se budou řídit.

Pro následující výklad si zavedeme tento příklad soupeřících těžařských firem:

		BP	
		úzký vrt	široký vrt
Shell	úzký vrt	(14,14)	(-1, 16)
	široký vrt	(16, -1)	(1,1)

Obrázek 3.2: Hra o těžbu ropy

Bez nějakého bližšího popisu a zkoumání je na první pohled zřejmé, že nejvýhodnější by bylo pro obě těžařské firmy použít strategii úzký vrt a tak by každá firma dosáhla užitku s hodnotou 14. Při bližší analýze ale dojdeme k závěru, že pro Shell je strategie úzký vrt méně výhodná než široký vrt – zisk 14 vs. 16 a -1 vs. 1. To samé ovšem platí, při zkoumání sloupců se strategiemi pro BP. I zde je široký vrt výhodnější, jako reakce na jakoukoliv soupeřovu akci. Poněkud překvapivě tedy obě firmy adoptují strategii široký vrt se ziskem 1 pro každou – to je důsledek toho, že se jedná o soupeřivý typ hry.

Výše popsaná analýza používá pravidla o **silné dominanci strategií**. Strategie A silně dominuje strategii B, pokud je pro hráče vždy výhodnější zvolit strategii A, než strategii B. To platí pro strategii široký vrt – má vždy lepší ohodnocení než strategie úzký vrt. Strategii úzký vrt tedy označíme, že je silně dominována strategií široký vrt. Rozumně uvažující hráč vždy zvolí silně dominující strategii. Pomocí silně dominujících strategií lze odvodit ekvilibrium silně dominujících strategií.

Ekvilibrium, které bylo zvoleno bez analýzy – strategie úzký vrt + úzký vrt, je označováno za **Pareto dominované ekvilibrium**. Tak se označují výsledky, kdy hráči striktně preferují jiné výsledky. Výsledek je **Pareto optimální**, pokud není Pareto dominován jiným výsledkem hry.

Pravidla těžařské hry můžeme ale změnit následovně:

		BP	
		úzký vrt	široký vrt
Shell	úzký vrt	(14,14)	(0, 16)
	široký vrt	(16, 0)	(0,0)

Obrázek 3.3: Hra o těžbu ropy II

Zde již není strategie široký vrt nejlepší odpovědí na jakoukoliv soupeřovu volbu. Stále však zůstává nejlepší dostupnou strategií. **Slabě dominující strategie** je taková, která nemá nikdy horší ohodnocení než kterákoliv jiná strategie a navíc minimálně v jednom případě dává hráči vyšší ohodnocení než jiné strategie. Z tohoto konceptu můžeme odvodit pojmy slabě dominovaná strategie a ekvilibrium slabě dominujících strategií.

Těžařskou hru můžeme změnit potřetí:

		BP	
		úzký vrt	široký vrt
Shell	úzký vrt	(14,14)	**(2, 16)**
	široký vrt	**(16, 2)**	(1,1)

Obrázek 3.4: Hra o těžbu ropy III

V tomto případě již nejsme schopni nalézt silně dominující strategii a ani slabě dominující. Musíme zvolit proto jiný přístup – budeme uvažovat co je **nejlepší odpovědí** na každou soupeřovu strategii. Pokud by soupeř hrál strategii úzký vrt, tak bude výhodnější hrát strategii široký vrt. Pokud by soupeř hrál strategii široký vrt, tak bude výhodnější hrát strategii úzký vrt – tak jak jsou silně zarámovaná pole. V tomto případě mluvíme o tzv. **Nashovu ekvilibriu**. Tak jsou označeny ekvilibria, které můžeme vybrat pomocí toho, co je racionálně nejvýhodnější pro nás i pro soupeře.

Způsob výběru Nashova ekvilibria ve hrách zapsaných v extenzivní formě je označován za **zpětnou indukci** a má 6 kroků:

1. Začni u listů stromu a najdi předcházející uzel, který se značí jako rozhodovací uzel. Rozhodovací uzel může být buď *základní* (každá hrana uzlu končí v listě), *triviální* (základní uzel pouze s jednou hranou) anebo *komplexní* (není základní).
2. Najdi optimální hranu pro každý základní rozhodovací uzel.
3. Vymaž všechny hrany, které nejsou optimální. Získáš tak triviální rozhodovací uzel.
4. Takto upravený strom je nyní jednodušší – pokud se jednalo o strom s hloubkou 1, tak je konec.
5. Pokračuj krokem 1 směrem ke kořeni stromu.
6. Pro každého hráče zvol optimální rozhodnutí v každém z rozhodovacích uzlů. To je hráčova optimální strategie pro danou hru.

Výběr z více Nashových ekvilibrií může být poněkud obtížnější zvláště v situacích kdy nelze určit, které ekvilibrium je výhodnější. To je případ hry o žetony. Jakou strategii má zvolit tipující hráč? A jakou hráč, který žetony vybírá? Tyto hry se řeší pomocí tzv. **smíšených strategií**. Ty se počítají jako vektory pravděpodobností pro každou z ryzích strategií. Výsledek určuje, jaká bude

průměrná očekávaná hodnota užitku, protože výsledek hry není znám při použití smíšené strategie. Ve hře o žetony by smíšená strategie pro oba hráče byla hrát sudý počet v 50% případech a lichý počet žetonů také v 50% případech. Očekávaná hodnota užitku při použití této smíšené strategie je 0.

Přehled nástrojů

Cournotova hra

Tento typ hry je pojmenován podle Augustina Cournota, který v roce 1838 vyvinul herně-teoretický model, který je orientován na velikost produkce tak, aby byl maximalizován zisk. I když tato teorie předcházela samotné teorii her pánů von Neumanna a Morgensterna, tak je považována za součást teorie her.

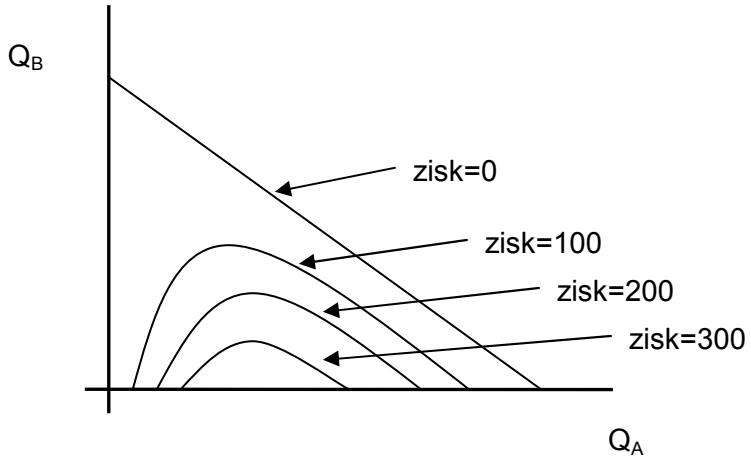
U Cournotova modelu jsou tržní ceny určovány podle toho, jak velká je celková produkce všech firem v odvětví. Žádná firma nemůže přímo určovat cenu produktu a všechny firmy akceptují tržní cenu. Produkty jsou navzájem nerozlišitelné a na trhu se objeví současně. Cena jednoho produktu je určena klesající funkcí v závislosti na výši celkové produkce všech firem dle následujícího vzorce:

$$P = P(Q_T); \frac{dP(Q_T)}{dQ_T} < 0$$

Rovnice 3.1: Cenová funkce Cournotovy hry

Z toho lze odvodit, že pokud firma zvýší objem produkce, sníží tím nejen cenu výrobků ostatních firem, ale i cenu vlastních produktů.

Častá metoda, jak zobrazit změnu zisků při použití Cournotova modelu, je zakreslení objemů produkce, které vedou ke stejné výši produkce – tzv. **křivky konstantní výše zisku** (isoprofit curves).



Obrázek 3.5: Příklad křivek konstantní výše zisku pro hráče A v Cournotově hře

Při analýze Cournotovy hry můžeme získat Nashova ekvilibria. Tento výsledek se pak označuje jako **Cournotovo-Nashovo ekvilibrium**.

Pro zkoumaný problém trhu zemědělských komodit se jeví užití Cournotovy hry jako vhodný nástroj, který je schopen ve velké míře simulovat model. Je však nutné udělat několik dalších úprav:

- bod opuštění trhu (firma nebude akceptovat cenu komodity nižší než P_K, kde je výhodnější se stáhnout z trhu)
- zvětšování produkce (platí určité restrikce pro další expanzi)

Bertrandova hra

Kritika Cournotovy hry ve smyslu neschopnosti firem stanovit cenu, za kterou budou vlastní výrobek prodávat, vedla k alternaci původního modelu Josephem Bertrandem. Změněn je především způsob stanovování ceny – firmy znají náklady ostatních hráčů, ale při uvádění ceny vlastního produktu neznají cenu produktů konkurence. Až všechny firmy ohlásí cenu produktu, tak musí po celý zbytek sezony cenu zachovat. Podle výše ceny si pak rozdělí trh – v případě, že jedna firma bude mít nižší cenu než konkurence, prodá všechny své produkty a konkurence nic. V případě, že ceny budou stanoveny stejně, pak prodají poměrný počet výrobků.

Jiná varianta Bertrandovy hry je omezení **kapacity producentů**. V případě, že firma bude mít stanovenu nižší cenu, než konkurence, tak sice prodá všechny své výrobky, ale to nebude stačit na uspokojení trhu. Šanci na prodej tak dostanou konkurenti v závislosti na **zbytkové poptávkové funkci**.

Bertrandova hra, jako nástroj modelování trhu zemědělských komodit, není příliš vhodná především proto, že konkurence vždy ví, za kolik prodává soupeř a může svou cenu patřičně upravit. Naopak jako výhodu považuji to, že obecně na tomto modelu lze zkoumat hlubší ekonomické souvislosti, pro které se jednoduchý Cournotův model nemusí hodit.

Stacklebergova hra

Tento typ hry se narozdíl od předchozích zabývá dynamickými hrami (s kompletními informacemi). V roce 1934 jej vyvinul Heinrich von Stackleberg a v několika částech je podobná Cournotově hře. Hra pojmenovává **leadera trhu** – ten který jede jako první (hra je sekvenční) a stanoví jím vyráběný objem. Poté jedou **následovníci** – ti již mají informace o množství vyráběného produktu leaderem a podle toho stanoví své vyráběné množství. Cena, za kterou se produkty prodávají, již určí trh v závislosti na celkovém vyprodukovaném množství. Následovníci určují své produkované množství podle funkce závislé na množství produkce leadera.

Tato hra není vhodná jako nástroj modelování trhu zemědělských komodit především proto, že obecně se popsaná situace běžně v tomto odvětví nevyskytuje. Použití Stacklebergovy hry by proto vedlo k zavádějícím výsledkům.

Aukce

Formy aukcí

Aukce je další typ hry, která je součástí herně-teoretického konceptu. Aukce může nabývat několik forem a způsobů, jakým dochází k ohodnocení užitku anebo metodě prodeje.

Anglická aukce je jedním z nejrozšířenějších typů aukce. Aukce má otevřenou formu – tedy hráči veřejně ohlašují své nabídky a cena objektu je rostoucí – hráči postupně navyšují své nabídky, dokud nezůstane pouze jeden hráč, který nabízí nejvíc.

Holandská aukce je otevřená aukce s klesající cenou – první hráč, který projeví zájem o koupi vyhrává dražbu.

Uzavřená aukce s první cenou je typ aukce, kdy hráči posílají své nabídky formou zapečetěných obálek a hráč, který nabídne nejvíc (první, nebo-li nejvyšší cena) hru vyhrává.

Uzavřená aukce s druhou cenou je obdobou předchozí varianty, ale v tomto případě hráč, který vyhrává (nabídl nejvíc) platí cenu, kterou nabídl hráč s druhou nejvyšší nabídkou (druhou cenou).

Ohodnocení

Soukromé hodnoty představují situaci, kdy dražený objekt má určitou hodnotu pro každého dražitele a hráči navzájem neznají ohodnocení ostatních hráčů. Tento typ ohodnocení se nejvíce používá v situaci, kdy pro každého hráče má dražená věc hodnotu, která je nezávislá na hodnotě jiných dražitelů. Jako příklad lze uvést dražbu obrazu – hráči hodnotí obraz podle nezávislých parametrů jako je reputace malíře, spekulace s prodejem obrazu, estetický dojem z obrazu, příslušnost obrazu do kolekce apod.

Vzájemně závislé hodnoty je označení hodnoty draženého předmětu, který má pro dražitele obdobný užitek. Dražitel se na základě svých údajů pokouší odhadnout jakou hodnotu má předmět pro něj a jak jej ohodnotí ostatní. Příkladem může být aukce obrazu, kde všichni dražitelé mají zájem obraz následně prodat, ale každý má jiné expertní znalosti o obraze. Zvláštním případem je **společná hodnota**, kdy dražený objekt má pro všechny přesně stejnou hodnotu. Tento typ aukce je vhodný pro objekty, jejichž cenu určuje trh.

Ekvivalentní aukce

Holandská aukce s klesající cenou a uzavřená aukce s první cenou jsou ekvivalentní formáty aukcí. Toto tvrzení je možno ověřit na několika bodech. Například – ani v jednom formátu hráč neposkytuje informace o svém ohodnocení ostatním hráčům. Z pohledu ohodnocení draženého objektu lze použít stejnou funkci na určení nabízené ceny pro oba typy aukcí. Pro každou strategii v jednom typu aukce lze nalézt ekvivalentní strategii v druhém typu aukce a naopak.

Anglická aukce s rostoucí cenou a uzavřená aukce s druhou cenou jsou slabě ekvivalentní. V obou aukcích je pro hráče nejvýhodnější nabídnout cenu, která se rovná ohodnocení draženého předmětu. V případě Anglické aukce je užitek rozdíl mezi ohodnocením a cenou za kterou se předmět koupil, v případě aukce s druhou cenou je užitek rozdíl mezi ohodnocením hráče který vyhrál a hráče který byl druhý. Označení těchto dvou aukcí za slabě ekvivalentní vychází z následujících skutečností. Aukce nejsou strategicky ekvivalentní. Optimální strategie jsou shodné pouze pokud se jedná o soukromé hodnoty draženého předmětu. V případě vzájemně závislých hodnot se při Anglické aukci projevují odchody hráčů z aukce okamžitým přehodnocením draženého objektu.

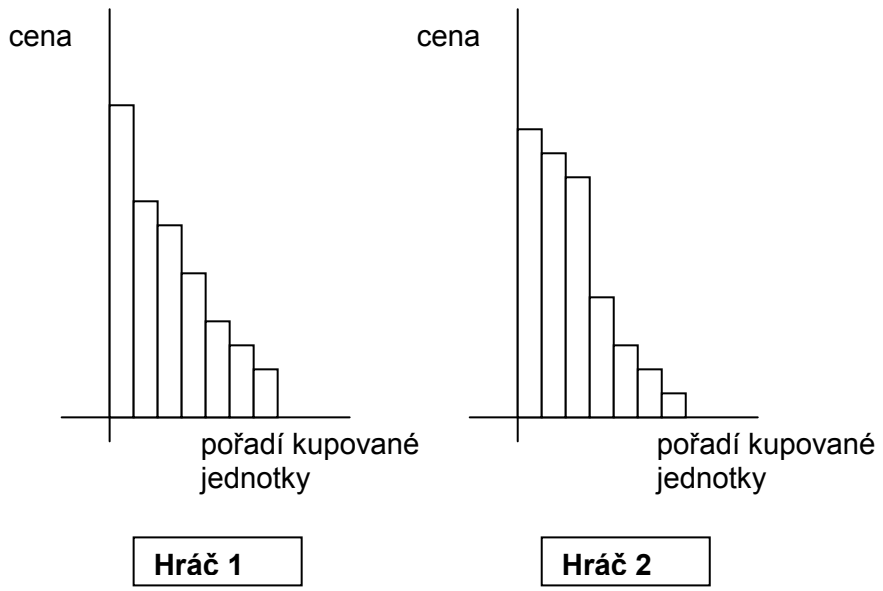
Efektivnost aukcí

Pro asymetricky distribuované soukromé hodnoty znamená aukce s druhou cenou efektivní alokaci objektu. Aukce s první cenou toto nezaručuje. Naopak, aukce s druhou cenou můžou být označeny za nemorální, protože vítěz koupí objekt za cenu, která může být výrazně nižší, než kolik nabízel dražitel sám.

V případě symetrických, vzájemně závislých hodnot, které jsou korelující, má aukce s druhou cenou, Anglická aukce a aukce s první cenou symetrická ekvilibria. V tomto případě jsou všechny zmíněné aukce efektivní.

Vícenásobné aukce

Vícenásobné aukce (Multiple Object Auctions) jsou aukce, kde se dražitel rozhodne prodat objekt po částech. Dražící v takovém případě používá klesající hodnotící funkci.



Obrázek 3.6: Příklad ohodnocení objektu ve vícenásobné aukci

Na obrázku 3.6 lze vysvětlit princip vícenásobných aukcí. Hráč 1 v prvním kole aukce ohodnotí 1. jednotku nejvyšší hodnotou, vyšší hodnotou než hráč 2. V prvním kole tedy hráč 1 koupí jednu jednotku. Ve druhém kole už hráč 1 ale nenabízí takové množství peněz za druhou jednotku, naopak hráč 2 nabízí víc. Na konci druhého kola mají oba hráči po jedné jednotce a ani jeden z nich ve třetím kole nenabídne tolik, kolik v předchozích kolech. Důležité je také podotknout, že některé aukce nemusí probíhat na kola, ale prodej všech částí objektu proběhne naráz – hráči v takovém případě musí ohodnotit každou jednotku objektu dopředu a své nabídky oznámit dohodnutou formou.

Vícenásobné aukce mohou nabývat mnoho formátů a i zde je rozdělení na otevřený a uzavřený formát. Uzavřené aukce jsou Odstupňovaná aukce, Aukce s uniformní cenou a Vickrey aukce. Otevřené aukce jsou Holandská aukce, Anglická aukce, Ausubel aukce.

Odstupňovaná aukce (Discriminatory Auction) znamená, že hráč, který vyhrál aukci zaplatí tolik, kolik byla jeho nabídka na počet jednotek, které vyhrál. **Aukce s uniformní cenou** (Uniform-Price Auction) znamená, že všichni hráči (kteří vyhráli s nejvyššími nabídkami) platí stejnou cenu. Tato cena je určena podle nejvyšší ceny, která prohrála. **Vickrey aukce** (Vickrey auctions) je obdobou aukce s druhou cenou – vítěz (s N nejvyššími nabídkami) zaplatí tolik, kolik je N nejvyšších nabídek, které prohrály.

Vícenásobná Holandská aukce je obdobou svého protějšku pro jednu položku. Cena se snižuje do té doby, dokud někdo není ochoten objekt koupit. Cena pak začne opět klesat a aukce pokračuje, dokud nejsou prodány všechny položky. **Vícenásobná Anglická aukce** – kupci ukazují počet jednotek, které hodlají koupit za cenu, která se postupně zvyšuje. Jak cena roste, tak počet kupovaných jednotek klesá a aukce se zastaví v okamžiku, kdy počet nabízených a poptávaných jednotek je ekvivalentní. **Ausubel aukce** – cena narůstá a hráči u každé ceny naznačují, kolik jednotek koupí. Jak cena roste, tak poptávka klesá. V okamžiku, kdy počet žádaných jednotek klesne pod nabídku, tak si hráč zajistil jednu obchodovanou jednotku.

Vyhodnocení aukcí

Jedna aukce		Vícenásobná aukce	
Otevřený formát	Uzavřený formát	Uzavřený formát	Otevřený formát
Holandská	První cena	Odstupňovaná cena	Vícenásobná Holandská
		Uniformní cena	Vícenásobná Anglická
Anglická	Druhá cena	Vickrey	Ausubel

Tabulka 3.1: Ekvivalence aukcí

Tato práce využívá systému aukcí jako prostředek rozdělení půdy mezi jednotlivé zemědělce na konci každého kola. Za tímto účelem je nejdříve nutné zvolit mezi jednou aukcí a vícenásobnou aukcí. Z definice vícenásobné aukce vyplývá, že se může jednat i o homogenní objekt, který je prodáván po více částech (půda). V takovém případě se vícenásobné aukce jeví jako jednoznačná volba. Je však nutné zvážit i druhou podmínku vícenásobných aukcí – klesající užitek z vlastnictví více jednotek. Protože užitek bude vždy stejný, není možno aplikovat vícenásobné aukce a pro účely této práce bude zvolena jedna aukce, která bude prodávat půdu po více částech tak, že výsledky předchozí aukce žádným způsobem neovlivní výsledky následující aukce. Dále je nutné zvážit formu aukce – pro svou efektivitu byla zvolena aukce s druhou cenou, resp. Anglická aukce. Na závěr zbývá

ještě rozhodnout systém ohodnocení půdy. Ve skutečnosti by bylo zřejmě nejvhodnější použít vzájemně závislé hodnoty, ale protože v použitém modelu každý farmář hodnotí půdu na základě výnosnosti, které dosáhl, tak pro nákup půdy bude použit princip soukromých hodnot. Použití soukromých hodnot podporuje také fakt, že každý farmář může mít jinou očekávanou dobu návratnosti investice na základě své investiční strategie, anebo dostupných nákladech ušlých příležitostí.

3.2 Přehled software nástrojů

Trade Network Game (TNG) a SimbioSys

TNG je framework pro studium formací a evolucí obchodních sítí. Tyto sítě jsou tvořeny obchodníky, kteří se strategicky kontaktují a jednají na základě protokolů, které jsou specifikovány podle typu trhu. Následující generace obchodníků s omezenými zdroji si vybírají obchodní partnery na základě neustále aktualizované míry očekávaného užitku. Obchody jsou modelovány pomocí her dvou hráčů a obchodníci svou strategii v čase vyvíjí. Framework TNG umožňuje, aby byly evoluční výstupy studovány na čtyřech úrovních: atributy obchodníka (vnitřní evoluce typu osobnosti), formace obchodní sítě (kdo obchoduje s kým a s jakou pravidelností), chování při obchodu (kooperativní, dravé, …) a individuální a sociální měřítka (efektivnost trhu, síla trhu, individuální míry užitku, …).

Gambit

Gambit je knihovna pro herně teoretický software a také nástroj pro tvorbu a analýzu her v extenzivní i normální formě. Gambit je navrhnut, aby byl přenositelný mezi platformami – aktuálně je podporován na systémech Linux, FreeBSD, MacOS X a Windows 98 a novější. Gambit nabízí grafické uživatelské rozhraní, Python API na skripty pro aplikaci, knihovnu C++ zdrojových kódů pro reprezentaci her. Gambit byl využit pro některé herně teoretické výpočty v aplikaci, která je součástí této práce.

Norman Siebrasse - Game Theory Software

K dispozici jsou dva druhy software pro výpočet úloh z oblasti teorie her. Prvním typem je Software pro prostorové hry, který simuluje hry s tzv. silnou prostorovou strukturou. Do druhé kategorie se řadí Software pro opakované vězňovo dilema a Software pro asymetrické hry, které modelují nekorelované hry.

Combinatorial Game Suite

Jedná se o open-source nástroj, který je zaměřen na kombinatorickou teorii her. Program podporuje všechny standardní operace her v kanonickém tvaru. Součástí je i teorie teplot, teplotní odluka anebo redukce kanonické formy. Program je spustitelný na operačních systémech Windows 2000/XP, Linux, Solaris a MacOS.

4. Definice zkoumaného problému

4.1 Slovní specifikace

Trh zemědělských komodit

Trh zemědělských komodit můžeme prostřednictvím Internetu sledovat na mnoha serverech zabývajících se obchodováním s **futures**. V tomto případě se sice jedná spíše o nepřímé obchody s komoditami, neboť ve většině případů nakupující i prodávající jsou pouze spekulanti s futures komoditami, kteří nemají reálný zájem vlastnit obchodovanou komoditu. Z ekonomického hlediska je však i tato složka trhu nepostradatelná, neboť pomáhá dokreslovat a upřesňovat reálnou cenu komodity, která je obchodována.

Z hlediska produkce a spotřeby se téměř všechny komodity vyrábějí v takovém množství, že vliv jednoho producenta, resp. spotřebitele je zcela zanedbatelný. To znamená, že v dobře fungujícím tržním prostředí **cenu stanovuje trh** – nabídka a poptávka. Pro producenta i spotřebitele to tedy implikuje to, že vždy musí přijmout cenu, za kterou se komodita aktuálně prodává. Samotný producent nemá žádnou možnost cenu ovlivnit a pokud tedy chce svou komoditu prodat a být v zisku, jeho jedinou možností je snižovat náklady.

Další důležitý bod je, že **komodity jsou od sebe navzájem nerozlišitelné** a jediná možnost pro zákazníka, jak odlišit komodity, je rozdílná cena. Produkovaná komodita vždy musí splňovat určitá kriteria kvality a tím se nerozlišitelně zařadí mezi produkci jiných nabízejících. To, že je komodita pouze cenově rozlišitelná, opět směřuje k tomu, že se producent musí snažit mít dlouhodobě nižší náklady, než jsou jeho výnosy z produkce. Na ideálním trhu bude samozřejmě platit situace, že producenti budou své výrobky prodávat právě ve výši nákladů, neboť konkurence bude mít stejné možnosti (a výrobní náklady) jako kterýkoliv jiný producent.

Další kriterium trhu zemědělských komodit je, že ve většině případů **nelze produkci skladovat** po více období a tvořit tak zásoby do dalších let. Tím vlastně vznikají dva trhy – trh s aktuální produkcí, kde se budou prodávat komodity právě vyprodukované a trh s futures komoditami, kde se budou prodávat kontrakty na produkci v budoucnu. Existence těchto dvou trhů dává producentovi možnost spekulovat s maximalizací svých zisků. Může například na začátku sezóny prodat kontrakt na svoji předpokládanou produkci a tím si zajistí určitou sumu peněz. V případě, že ale počasí nebude přát a jeho očekávaná produkce bude nižší, tak bude ve ztrátě, neboť bude muset dokoupit zbytek produkce z trhu.

Jak již bylo výše naznačeno, velký vliv na produkci zemědělských komodit má také **počasí**. To může pohybovat s objemem produkovaných komodit směrem nahoru i dolů. Většinou nelze nijak předvídat, jak počasí ovlivní produkci v následujícím roce a počasí lze proto označit za zdroj nedeterminismu.

Velkou roli v zemědělské produkci hrají také **dotace**, státní subvence, minimální výkupní ceny a produkční limity. V EU se více než polovina unijního rozpočtu používá právě k těmto účelům. Dotace mají proto velký vliv na rozhodování zemědělců, které komodity mají daný rok produkovat. Například, pokud existuje komodita, která by se za normální situace z ekonomického hlediska nevyplatila zemědělcům produkovat, tak subvence a obecně dotace můžou změnit portfolio produkovaných komodit.

Zajimavou možnost můžou pro producenty také představovat alternativní trhy, kde mohou své zboží nabízet. Zemědělské produkty nemusí být zpracovávány pouze v potravinářském průmyslu, ale také například při výrobě biopaliv a jiných produktů. Tato produkce částečně také souvisí s dotacemi komodit, které nemusí být jinak pro zemědělce atraktivní pro pěstování.

Investice zemědělců

Aby byl zkoumaný problém kompletně popsán, je nutné analyzovat investiční možnosti zemědělců. Je zřejmé, že správné rozvržení investic velkou měrou ovlivní možnosti farmáře oproti své konkurenci.

Jako základní možnost ovlivnění své produkce zřejmě každý zemědělec vidí změnu **plochy obhospodařované půdy**. Protože nakládání s půdním fondem země je regulováno státními orgány, tak nelze libovolně měnit základní využití půdy a nabídka půdy je proto omezena.

S množstvím půdy přímo souvisí **fixní náklady**, které se odvozují od množství produkce. Fixní náklady představují platbu za možnost zpracovat určité množství produkce – se snížením produkce fixní náklady neklesají, ale naopak, se zvýšením produkce dojde ke skokovému nárůstu. Je tedy zřejmé, že pokud zemědělec plánuje zvětšení objemu produkce, musí směřovat finance do fixních nákladů.

Variabilní náklady jsou oproti tomu přímou platbou za každou jednotku produkce, kterou zemědělec vytváří. Skladba této položky může být poměrně komplikovaná, protože se pomocí ní identifikuje celá řada podmínek, za kterých farmář plodinu pěstuje. Například lze jmenovat výnosnost půdy, potažmo objem hnojiv, které producent spotřebovává, dále podnebí, kde se plodina pěstuje, také technologickou vyspělost produkce komodity, anebo i přístupnost využívaných pozemků. Variabilní náklady lze považovat také za druh investice, zvláště v okamžiku, kdy zemědělec investuje do nových technologií, které snižují variabilní náklady na jednotku produkce.

Ostatní investice – do této kategorie patří všechny investice, které může farmář využít a mají spíše okrajový charakter. Z nejběžněji rozšířených to je například pojištění proti nepřízni počasí.

4.2 Úkoly modelu

V této sekci se pokusím shrnout základní požadavky na model jak z hlediska prognostického, tak z hlediska teoretického.

1. Model musí být schopen simulovat nabídku a poptávku vymezených komodit pro stanovené období. Výchozí parametry jsou jediným nastavením programu – výsledky výpočtu jsou tedy predikcí.
2. Model musí mít v sobě zabudované regulační prvky, které umožní snadnou manipulaci se systémem.
3. Model musí adekvátně odpovídat realitě, ale detaily modelu musí být vyváženy k výpočetní náročnosti modelu.
4. Model musí vycházet z herně teoretických principů. Výběr teoretických základů významnou měrou ovlivňuje principiální funkčnost a také realističnost modelu.
5. Model musí být komplexní a ucelený. Tok dat v modelu musí mít logickou strukturu odpovídající reálné situaci.
6. Model mimo primární výpočet musí zpracovávat i doplňující výpočty. Tím je myšlena například simulace vytváření finančních rezerv zemědělců, anebo obchodování s půdou.

5. Tvorba modelu

5.1 Produkční část

Jak jsem naznačil již v předchozí části, považuji za nejvhodnější rozdělit model na dvě části, které budou na sebe navazovat. První část představuje obchodování s komoditami a druhá část představuje investice zemědělců. Návaznost těchto částí je obdobou sezón – v jedné části sezóny producent pěstuje a prodává komodity, v druhé části sezóny pak investuje své zisky a naplánuje produkci na další rok. Obdobou sezón reálného světa je v modelu výpočetní kolo.

Srovnání modelů

nabídka vs. poptávka

Tento model představuje asi nejjednodušší formu analýzy trhu. Střetávají se zde dvě funkce – produkční a spotřební. Výsledkem je rovnovážný bod, který je do dalšího kola promítán jako parametr funkcí.

Z ekonomického hlediska by se jednalo o situaci, kdy není vhodné modelovat jednotlivé producenty a spotřebitele – příkladem je například globální trh futures.

Výhody – jednoduchý model, jehož nejnáročnější částí je vytvoření vhodných funkcí

Nevýhody – nemožnost zkoumat detaily a vazby na jiné prvky systému

producenti vs. poptávka

Rozšířením předchozího modelu o detaily produkce získáme nástroj, který nebude příliš obecný, ale svou podstatou umožní experimenty na straně produkce a při přidání omezení i experimenty na straně poptávky. Tento model představuje producenty jako individuální výrobní jednotky, což by se z ekonomického hlediska dalo vyhodnotit jako sledování produkce na lokálně omezeném území s globálně definovanou poptávkou.

Tento model byl jako kompromis zvolen pro část obchodování s komoditami – umožňuje získávat všechna potřebná data pro vyhodnocení experimentů.

Výhody – model řešící postavení jednotlivých producentů na trhu

Nevýhody – omezené sledování informací ze strany poptávky

producenti vs. spotřebitelé

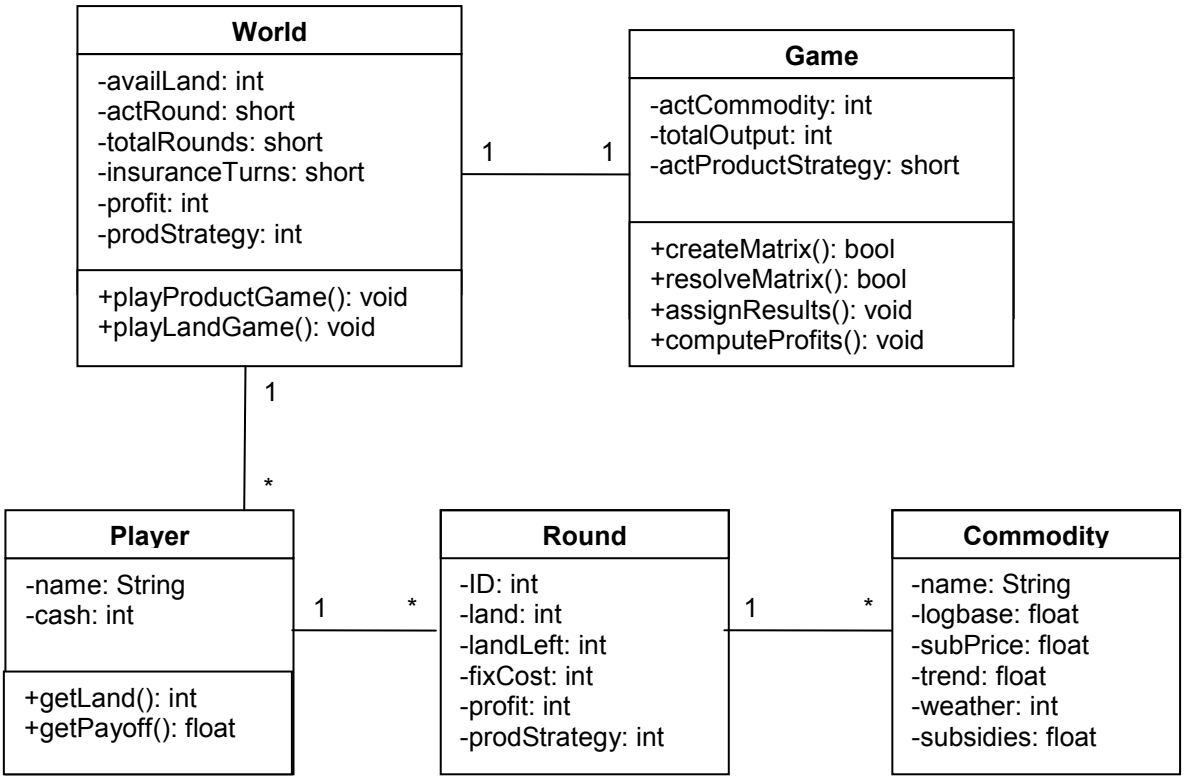
Výpočetně nejnáročnější je model, který jako producenty i spotřebitele uvažuje jednotlivce. Ti se střetávají na dvou úrovních – nejdříve musí vyhodnotit výhodnost produkce/spotřeby v rámci konkurenčního boje a pak výsledky srovnat na celém trhu a zvolit jediné řešení.

Výhody – model, který pro některé situace ve velké míře odpovídá realitě

Nevýhody – vysoká výpočetní náročnost závislá na počtu hráčů

Implementační hledisko zvoleného modelu

Z implementačního hlediska je nejvhodnější všechny významné objekty modelu zpracovat jako samostatné třídy.



Obrázek 5.1: Zjednodušený návrh diagramu tříd pro zvolený model

Obrázek 5.1 představuje návrh vybraného modelu pomocí zjednodušeného diagramu tříd. Produkční část představují třídy Player a Round a naopak spotřební funkce je definována pomocí třídy Commodity. Třída World představuje prvek, který zastřešuje celý model a řídí simulaci, naopak třída Game je využívána pouze pro výpočet herně teoretických problémů.

Nabídka

Z předchozí sekce vyplývá, že při zkoumání problému, jsem jako nejefektivnější vyhodnotil modelovat producenty jako jednotlivé produkční jednotky s různými parametry. Nahrazení producentů jedinou funkcí může v některých situacích představit lepší model, ale pro naše účely je vhodnější zkoumat charakteristiku jednotlivců.

Pro lepší představu by bylo přirovnání hráčů nejvhodnější k zemědělským odbytovým družstvům a to ze dvou důvodů. Především je to schopnost hráčů ovlivňovat cenu komodity na trhu množstvím komodity, které vyrobí. V reálném světě jednotliví zemědělci nemusí uvažovat nad svou produkcí a jejich vlivem na celkovou produkci. Naopak velké produkční celky komodit (jako je například produkce z pohledu státu) jsou schopny ovlivňovat cenu přímo – buď jejím stanovením anebo jednáním o její výši. Druhým důvodem je, že hráči mají navzájem rozdílné variabilní náklady. Variabilní náklady by se z pohledu malých prvovýrobců ani velkých územních jednotek v modelu významně neuplatnily.

Pro konkretizaci producenta je vhodné shrnout nejdůležitější faktory, které ovlivňují produkci:

Důležité aspekty produkce zemědělských komodit
- vliv producenta na cenotvorbu komodit
- produkované komodity jinak než cenou navzájem nerozlišitelné
- produkci nelze skladovat po více období
- jeden trh s aktuální produkcí
- počasí ovlivňuje výši produkce
- dotace a regulace
- neexistují překážky pro vstup na trh a všichni producenti mají stejné variabilní i fixní náklady
- producent má omezené kapacity, které nelze libovolně zvyšovat

Tabulka 5.1: Souhrn důležitých vlastností produkce zemědělských komodit

Definice producenta

Každý hráč má několik základních parametrů, které byly zvoleny s ohledem na maximální jednoduchost systému, přehlednost modelu a výstižnost ke zkoumaného problému.

Peníze - hráč je získává prodejem vyprodukovaných komodit, vydává je na nákup nové půdy, případně na jiné investice. Pro lepší představu mohou být dále v textu měřeny v €.

Půda - každý hráč má nějakou počáteční půdu a další může získat v aukcích, případně ji také může zpět odprodat. Pro lepší představu může být měřena v arech.

Variabilní náklady. Tyto náklady jsou pro každou komoditu individuální a jak již bylo zmíněno, představují celý souhrn parametrů, za jakých je zemědělec schopen danou komoditu pěstovat. Hráči můžou do jisté míry své variabilní náklady snižovat investicemi, ale také dochází i k jejich navýšení (váženým průměrem) při nákupu nové půdy. Variabilní náklady jsou měřeny v €.

Fixní náklady. Představují náklady, které se váží k velikosti pozemků a jejich výše je nezávislá na aktuálním produkovaném množství. Můžou to být například amortizace strojů na zpracování úrody. Fixní náklady se vždy zvedají s nárůstem velikosti půdy přes násobek 5.000 arů. Jejich výše je měřena v €.

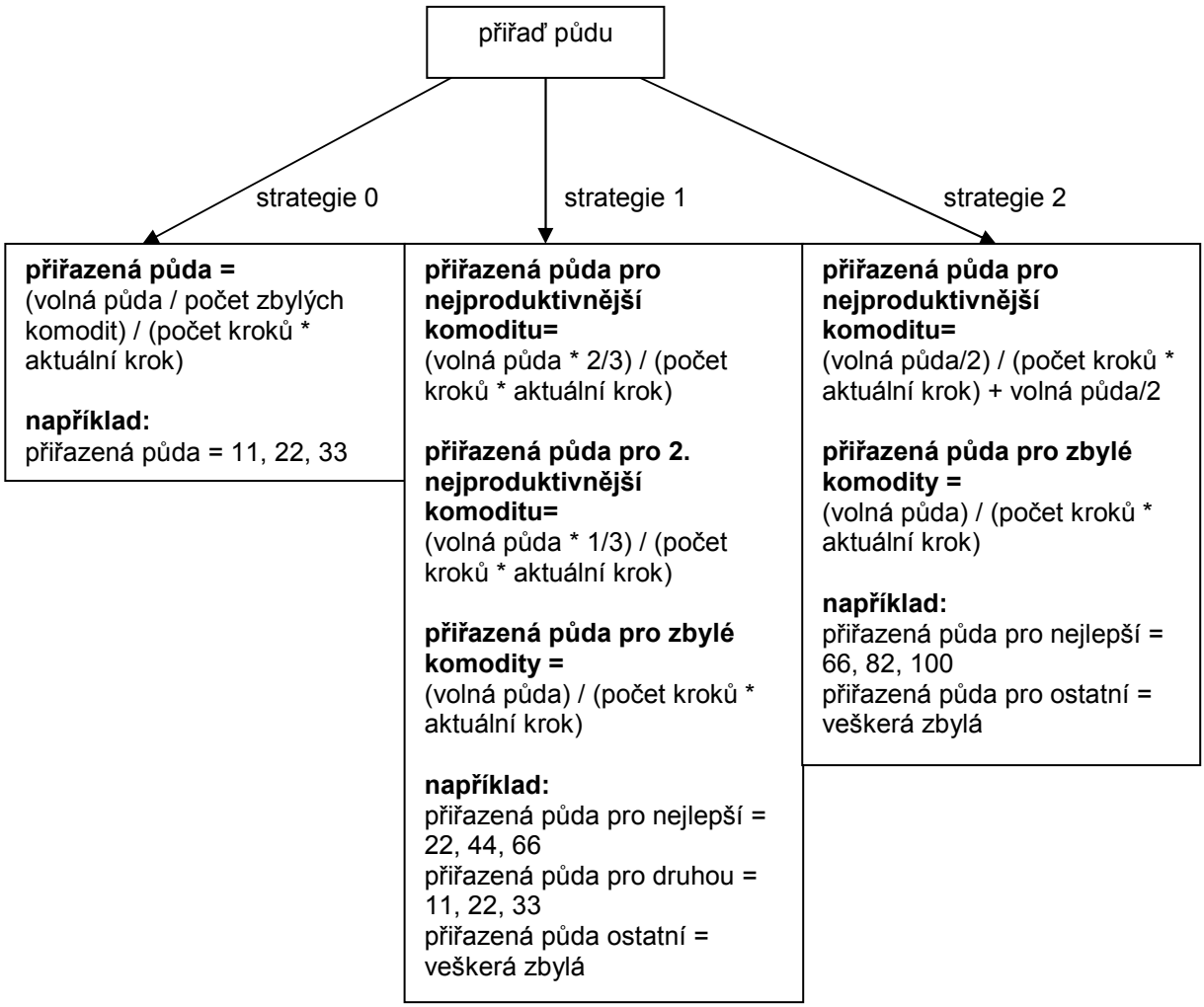
Produkce. Pro větší přehlednost a jednoduchost 1 jednotka půdy vyprodukuje průměrně 1 jednotku komodity. To může například znamenat, že z 1 aru je možno průměrně sklidit 100kg brambor, 180kg řepy, anebo 25kg hroznů. Hráči si ukládají statistiky o výnosnosti komodit pro zhodnocení směřování další produkce.

V každém kole si producenti zaznamenávají také **několik dalších faktorů**: nevyužitá půda, celkový zisk v roce, zisk z dané komodity, rozvržení půdy mezi komodity a také výši variabilních nákladů v každém kole.

Zvolená produkční strategie. Každý hráč se může rozhodnout, jak bude v každém kole produkovat komodity. Pro snížení výpočetní složitosti modelu má každý hráč na výběr ze tří možných strategií: 1 - rozděl půdu co nejrovnoměrněji mezi všechny komodity (to ovšem neznamená, že hráč každé komoditě přiřadí stejné množství půdy); 2 - vyber dvě nejvýnosnější komodity a rozděl půdu mezi ně (výnosnější komodita by měla dostat více půdy); 3 - zvol jednu komoditu a přiřaď jí pokud možno všechnu půdu.

Implementační hledisko producenta

Z realizačního pohledu je nejobtížnější částí implementace produkčních strategií. Tyto strategie mají nahradit kompletní výpis všech významných možností jak rozložit půdu. Proto je důležité, aby pokrytí strategií zastupovalo optimální velikost kroků při přidělování půdy. Následující znázornění algoritmu nastiňuje postup, jakým se vybírá půda pro hráče.



parametry příkladu: volná půda = 100, počet zbylých komodit = 3, počet kroků = 3

Obrázek 5.2: Vizualizace algoritmu produkčních strategií

Poptávka

Spotřeba zemědělských komodit by se dala označit z krátkodobého hlediska za konstantní a naopak z dlouhodobého hlediska se projevují trendy a změny poptávaných komodit. Z tohoto lze odvodit, že cenová elasticita poptávky $E_{dp} < 1$. Zemědělské komodity jsou většinou produkty uspokojující základní životní potřeby a jejich nákup je proto nevyhnutelný. Mohou sice existovat substituty, které nahradí danou komoditu, to však nemusí být vždy možné.

Zde je upřesnění základních parametrů poptávky:

Důležité aspekty spotřeby zemědělských komodit
- konstantní objem poptávaného množství komodity
- neelastická poptávka
- substituty

Tabulka 5.2: Spotřeba zemědělských komodit

Pro simulaci poptávky je v modelu použito Cournotovy hry, která reprezentuje poptávku pomocí spotřební funkce. Tato funkce vystihuje množství peněz, které je trh ochoten vydat za určité množství produkce.

Definice spotřební funkce

Pro simulaci poptávky se využívá funkce v tomto formátu:

$$P = \log_z l + c * t^r + d$$
$$z \in (0;1); l \in \langle 1;\infty); c \in \langle 1;\infty); t \in (0;2); r \in (1;\infty); d \in (1;10)$$

Rovnice 5.1: Výpočet ceny komodity

Ve vzorci **P** představuje výslednou poptávanou cenu komodity, **z** základ logaritmu, **l** je celkové množství půdy přiřazené k produkci komodity, **c** značí část ceny přičítající se k výsledku logaritmu, **t** je trend, **r** je aktuální kolo (rok), **d** je dotace.

V modelu je poptávka definována individuálně pro každou sledovanou komoditu a je proto nutné zvolit parametry, které se budou zaznamenávat.

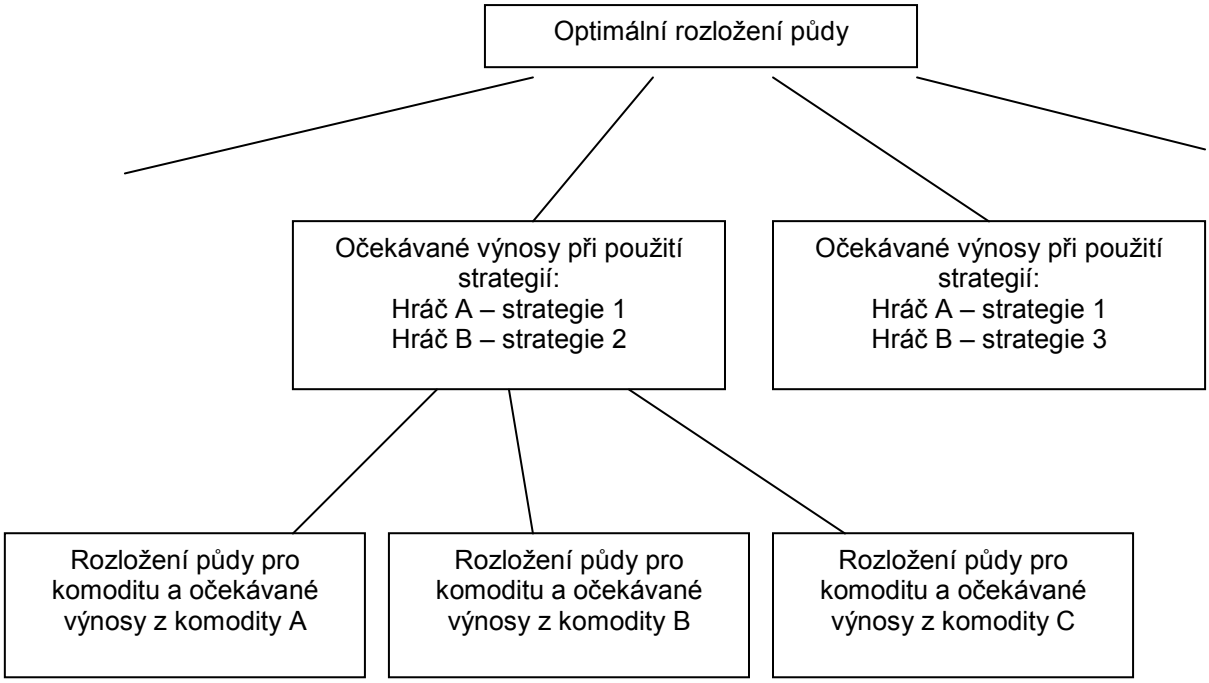
Jako základ **spotřební funkce** slouží logaritmus výpočtu ceny pro zvolený počet kusů a cenu přičítající se k výsledné hodnotě logaritmu. Pro cenotvorbu jsou sledovány i další parametry – cenový trend a rozptyl počasí (bylo zvoleno rovnoměrné spojité rozdělení pravděpodobnosti), který může změnit celkové produkované množství komodity. Cenový trend se projevuje jako postupný nárůst nebo pokles ceny v pozdějších obdobích.

Parametry dotace - výše dotace a hodnota produkce, při které budou dotace zahájeny. Dotace představují složku, kterou se stát pokouší zabezpečit minimální hodnotu produkce zvolené komodity.

Opakem dotací lze považovat **kapacitu trhu** – maximální výši produkce, kterou je trh schopen skoupit. Součástí je také parametr, který stanovuje od kolikátého kola začne kapacita trhu platit. Tyto parametry mají sloužit především k analýze změn po zásazích státu.

Rozhodovací strom

V okamžiku, kdy máme definovánu nabídku i poptávku, můžeme vytvořit rozhodovací strom, podle kterého se bude produkční jednotka řídit.



Obrázek 5.3: Rozhodovací strom produkčních jednotek

Listy

Koncové listy stromu představují variace rozložení půdy každé komodity zvlášť pro všechny producenty. Z teoretického hlediska se jedná o hledání Nashova equilibria v matici rozložení půdy pro komoditu.

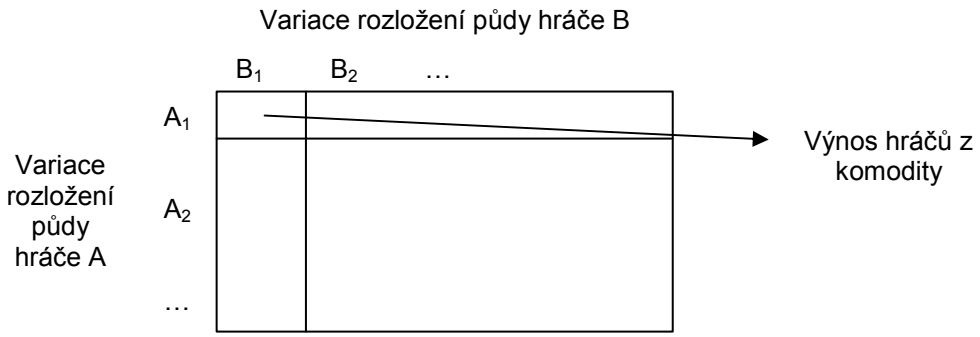
Pro ujasnění míry užitku, která bude doplněna do matice hodnot komodity, je vhodné uvést vzorec výpočtu výnosu:

$$V = (P * y * s) - \left(\frac{f * u}{l} + v + i \right) * u$$

$$P \in \langle 1;\infty); y \in \langle 1;\infty); s \in (0;1\rangle ; f = 5000; u \in \langle 1;\infty); l \in \langle 1;\infty); v \in (0;20); i \in \langle 0;1)$$

Rovnice 5.2: Výpočet výnosu z komodity

Ve vzorci **V** značí výnos z komodity, **P** poptávanou cenu komodity, **y** produkci komodity, **s** individuální prodané množství v procentech, **f** jsou fixní náklady produkce, **u** je využívaná půda pro zvolenou komoditu, **l** je celkové množství půdy producenta, **v** jsou variabilní náklady, **i** je pojištění komodity**.**



Obrázek 5.4: Matice rozložení půdy pro komoditu

Uzly

Uzly stromu jsou tvořeny výnosem z celkové půdy pro všechny komodity. Každý uzel představuje jednu kombinaci produkčních strategií všech hráčů. Hráči vyhodnocují svou strategii v závislosti na užitku, což pro ně představuje výnos z celkové alokované půdy.

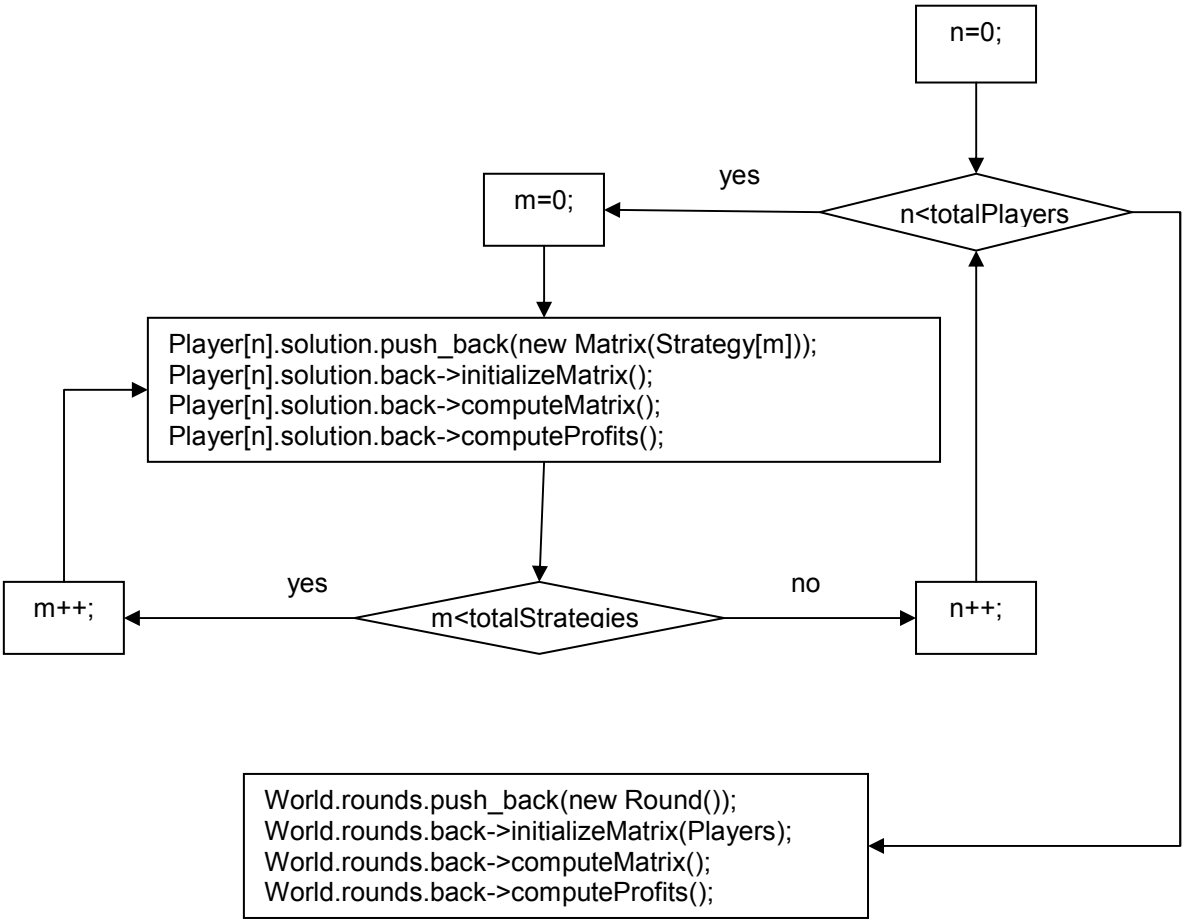
Každý uzel i list stromu představuje jednu hru, ve které je hledáno Nashovo equilibrium. Obvyklým výstupem ze hry je několik čistých a smíšených strategií, které hráč může adoptovat. Vyhodnotil jsem jako optimální řešení, aby se hráči řídili náhodnou čistou strategií, pokud jsou dostupné pouze čisté strategie. Pokud jsou dostupné i smíšené strategie, hráči hrají náhodně jednu ze smíšených.

Kořen

Kořen stromu představuje vyhodnocení celkové produkce všech hráčů v dané sezóně. Do nákladů je započtena i nevyužitá půda a také se promítne vliv počasí. V případě, že vliv počasí má na produkci takový dopad, že jsou výnosy zemědělců ztrátové, pak je uplatněn institut pojistky. Tím je zajištěno, že je hráči vyplacena ztráta a pojistka je přehodnocena, jestli zůstane zachována v původní výši.

Implementační hledisko procesu rozhodování

Převedení rozhodovacího stromu do třídy World, potažmo Game, lze znázornit pomocí diagramu 4.5.



Obrázek 5.5: Zjednodušený diagram algoritmu pro rozhodovací strom

Základem algoritmu je rekurzívní procházení všech dostupných strategií pro všechny komodity pro všechny hráče. V každém kroku je vytvořena matice rozložení půdy pro konkrétní komoditu. Implementace výpočtu alokovaných matic je řešena pomocí externího programu Gambit.

Výpočet probíhá v samostatném vlákně a pokud program neskončí úspěšně, tak se spouští další výpočetní metoda Gambitu, podle přednastaveného vzoru.

5.2 Investiční část

Nákup půdy

Jak již bylo v části 2 naznačeno, tak simulaci obchodování s půdou je nejvhodnější použít jednoduché aukce. Konkrétní druh zvolené aukce záleží na užití, v tomto případě byla zvolena obálková metoda s druhou cenou. Tato aukce patří k nejefektivnějším typům aukce a je také velmi přehledná.

Simulace obchodování s půdou zahrnuje i možnost zpětného odprodeje půdy od hráčů, a proto je nutno definovat několik vstupních podmínek, které definují, jestli se hráč zúčastní aukce s půdou jako nákupčí, nebo jako prodejce, anebo se aukce nezúčastní vůbec.

Využívá zemědělec půdu v plné míře? V případě, že hráč odpoví více kol za sebou **ne**, pak část své půdy nabídne k prodeji.

Produkuje mu půda dostatečné zisky? V případě, že hráč odpoví **ne**, tak se aukce o půdu nezúčastní.

Má zemědělec dostatek kapitálu na výdaje na novou půdu? Pokud odpoví **ano** na tuhle otázku a také na všechny předchozí, tak se hráč zúčastní aukce o půdu.

$$O = \overline{Z} * i$$
$$Z \in (0;\infty); i \in \langle 1;\infty)$$

Rovnice 5.3: Výpočet výnosu z komodity

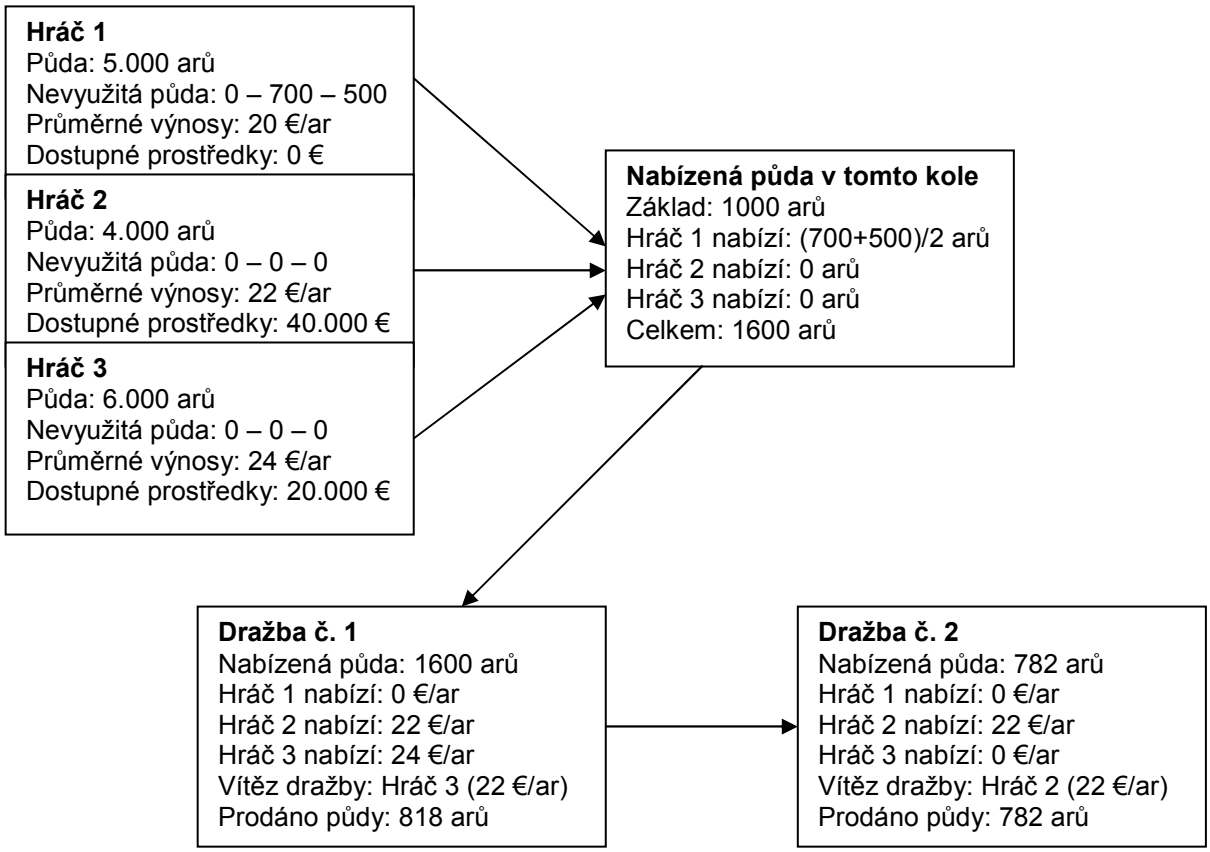
Ve vzorci **O** značí nabídku hráče za 1 jednotku půdy, **Z** je zisk z kola, **i** je zvolené období návratnosti investice**.**

Z definice aukce tohoto druhu vyplývá, že každý hráč nabídne přesně tolik, kolik odpovídá jeho odhadu hodnoty půdy. Vítěz získá tolik půdy, kolik je ochoten zaplatit. Pokud nějaká půda zůstane, tak probíhají další kola aukce, dokud zůstávají zájemci a volná půda.

Každý nákup půdy pro hráče také znamená to, že mu váženým průměrem vzrostou variabilní náklady pro každou komoditu, což se projeví jako pokles průměrných výnosů z půdy. To může závěrem implikovat, že hráč bude nucen investovat do snižování variabilních nákladů před tím, než bude znovu ochoten nakupovat novou půdu.

Implementační hledisko

Obchodování s půdou a její implementace lze nejsnáze vysvětlit na příkladu. V tomto příkladě se hry účastní 3 hráči s různými výnosy a prostředky. Hráč 1 má během posledních 2 kol nevyužitou půdu, a proto nabízí poměrnou část k prodeji. Hráč 3 měl v jednom kole také část půdy nevyužité, ale podmínka pro odprodej půdy platí až pro 2 za sebou jdoucí kola. Příklad obsahuje 2 aukce jejichž výsledkem je to, že hráč 1 obdrží 13.200 € a prodá 600 arů půdy. Hráč 3 koupí 818 arů půdy za 17.996 €, což je 90% jeho dostupných financí. Zbylou půdu koupí hráč 2, který protože se poslední dražby účastní sám, a proto zaplatí takovou cenu, jakou sám nabízí.



Obrázek 5.6: Zjednodušený příklad obchodování s půdou

Snižování variabilních nákladů

Snižování variabilních nákladů komodit je posledním krokem, který se odehrává v každém kole. Hráč část svých financí použije na investice do variabilních nákladů a část peněz převede do dalšího kola. Snižování variabilních nákladů investicemi může vést ke změně pořadí hráčů ve smyslu výnosů z půdy. Tím se také mění efektivita využití půdy a jejich případné výnosy.

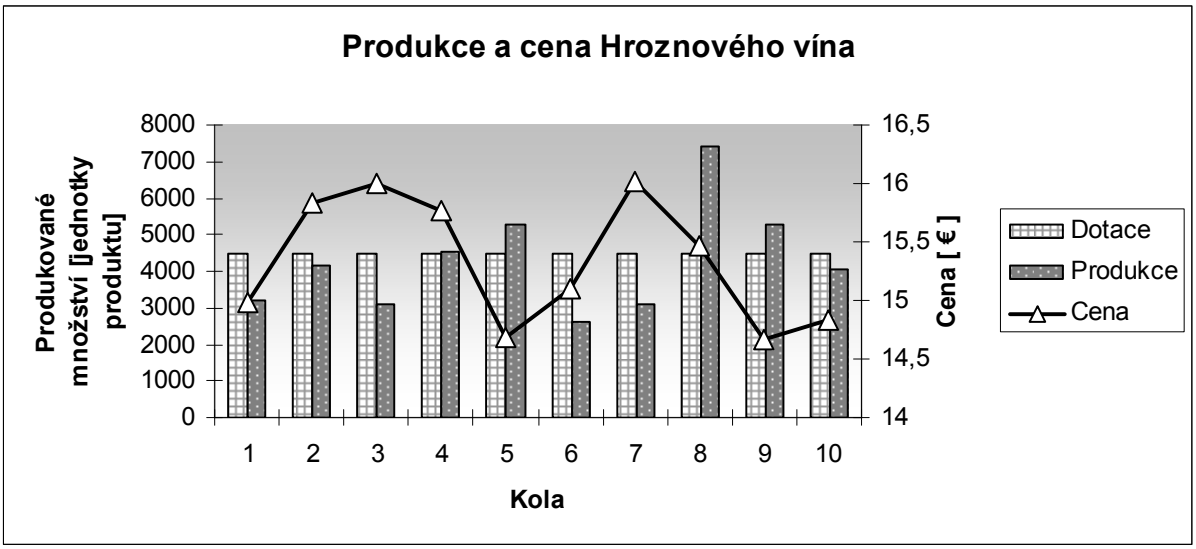
Tento krok probíhá jako procentuální snížení míry variabilních nákladů u každé komodity podle předem definovaných parametrů.

6. Experimenty

6.1 Výběr několika studií

Závislost ceny na produkovaném množství a dotacích

Tato analýza se pokusí nastínit provázanost produkovaného množství na prodejní ceně včetně vlivů dotace.



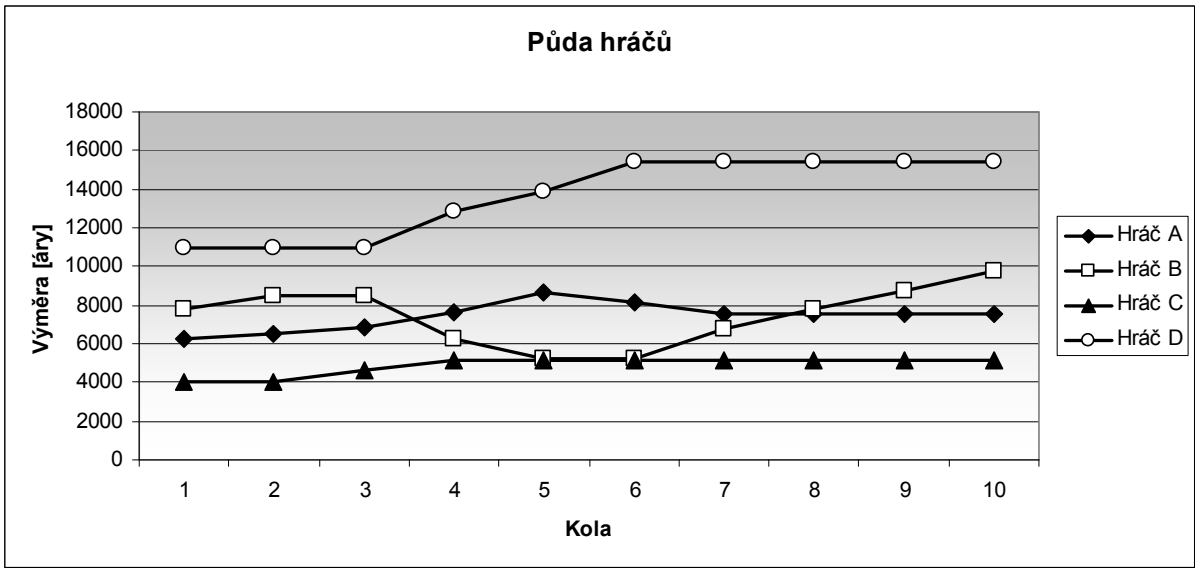
Obrázek 6.1: Produkce a cena Hroznového vína

Na tomto grafu představují světlé sloupce množství produkce, která v případě, že je nižší, tak je na cenu aplikována dotační přirážka. V okamžiku, kdy produkce poklesne v kole N pod tuto míru, tak se v kole N+1 cena produktu zvedne o předem definovanou dotaci. Nejzřetelněji je tento efekt vidět v kole 4 a 5. Ve čtvrtém kole je cena včetně dotace, a protože produkované množství přesáhlo dotační minimum, tak se v pátém kole obchodovaná cena propadne o míru subvencí. Jiným příkladem vlivu dotace jsou kola 8 a 9. I přesto, že je produkované množství v kole 8 větší, než v kole 9, tak je cena v kole 8 vyšší než v kole 9, což popírá nepřímou úměru mezi cenou a množstvím. Tento jev je způsoben započtením dotace do ceny v kole 8.

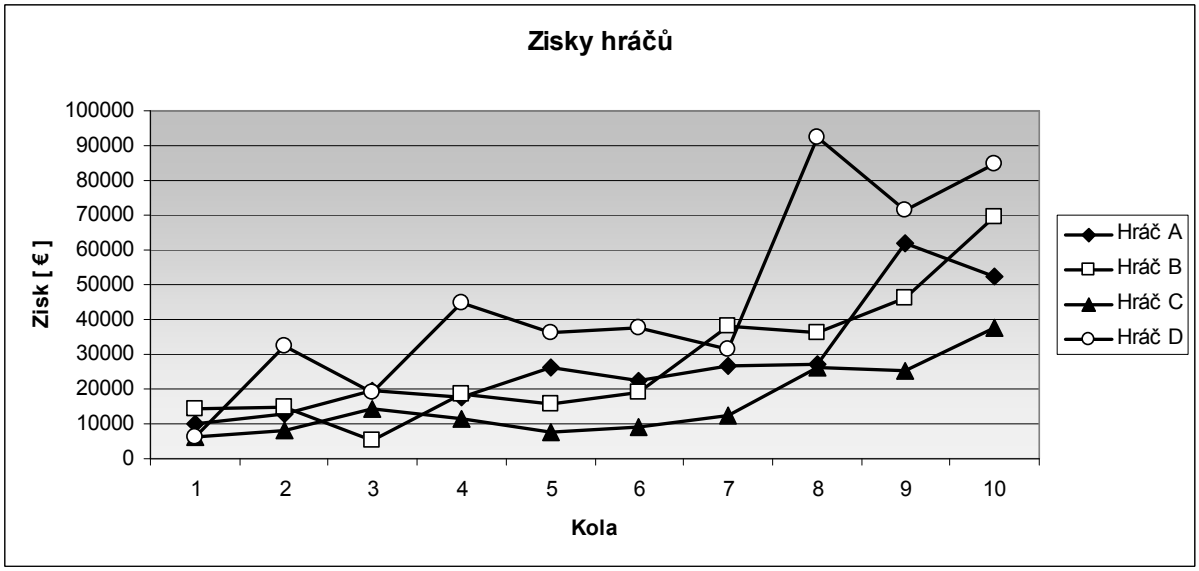
To, že je výše ceny nepřímo úměrná na množství produkce, lze ukázat na kolech 2, 3 a 4. Ve všech těchto kolech je cena včetně dotací, a proto tyto kola můžeme srovnávat. Z grafu je zřejmé, že svého vrcholu dosáhla cena v kole 3, kdy bylo produkované množství minimální.

Vývoj hráčů

Cílem této studie je ukázat jak ovlivňuje vlastnictví půdy vývoj hráčů.



Obrázek 6.2: Množství půdy vlastněné hráči



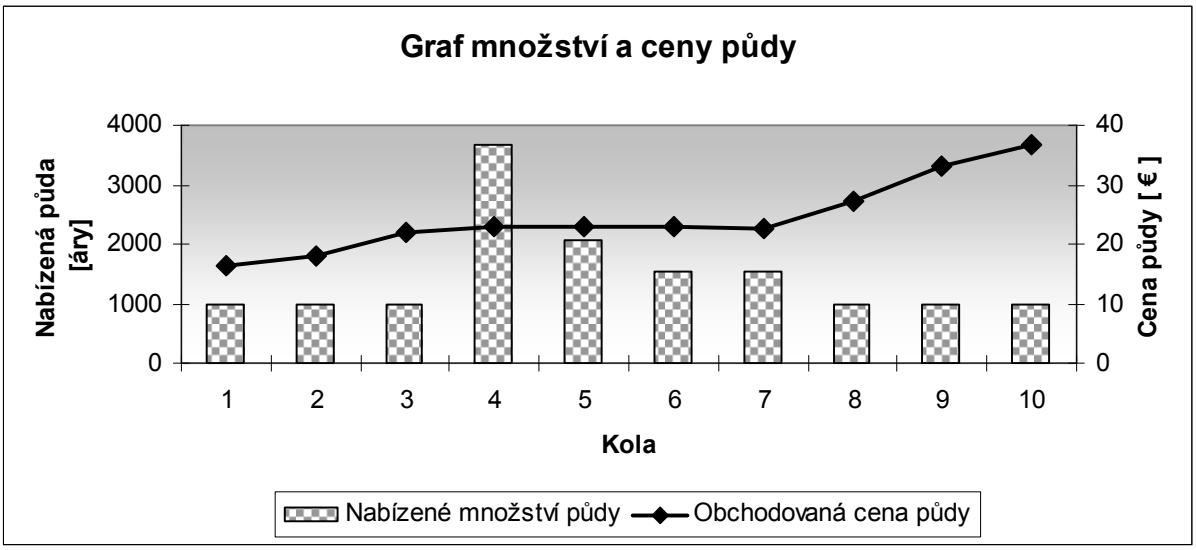
Obrázek 6.3: Zisky hráčů

V grafu 6.2 vidíme, že hráč D nakupuje v kolech 4, 5, 6 půdu což se projeví tak, že mu v těchto kolech postupně klesají zisky (viz. graf 6.3). Hráč sice zvětšuje své produkční možnosti, ale jak vyplývá z definice modelu, tím také zvětšuje svou neefektivitu nárůstem variabilních nákladů. Důvod toho, že hráč byl schopen nakupovat ve třech po sobě jdoucích kolech velké množství půdy spočívá v několika faktorech, které jsou na těchto grafech částečně zobrazeny. Obecně je to způsobeno přednastavenými výchozími podmínkami hráče, ale také vlivem počasí, které mu umožnilo dosáhnout nadprůměrných zisků v kole 2. Dalším důležitým vlivem je, že jeho konkurenti utratili v kolech 2 a 3

většinu ze svých zisků a nebyli proto schopni podat adekvátní nabídku na půdu v kolech 4, 5 a 6. To lze pozorovat na hráči B, který v kole 2 nakoupil půdu, v kole 3 se mu nedařilo a ve 4 a 5 je nucen prodávat půdu aby získal finance na snížení variabilních nákladů.

Obchodovaná cena půdy

Tato analýza zkoumá, jak se měnila cena půdy v závislosti na nabízeném množství a kole.

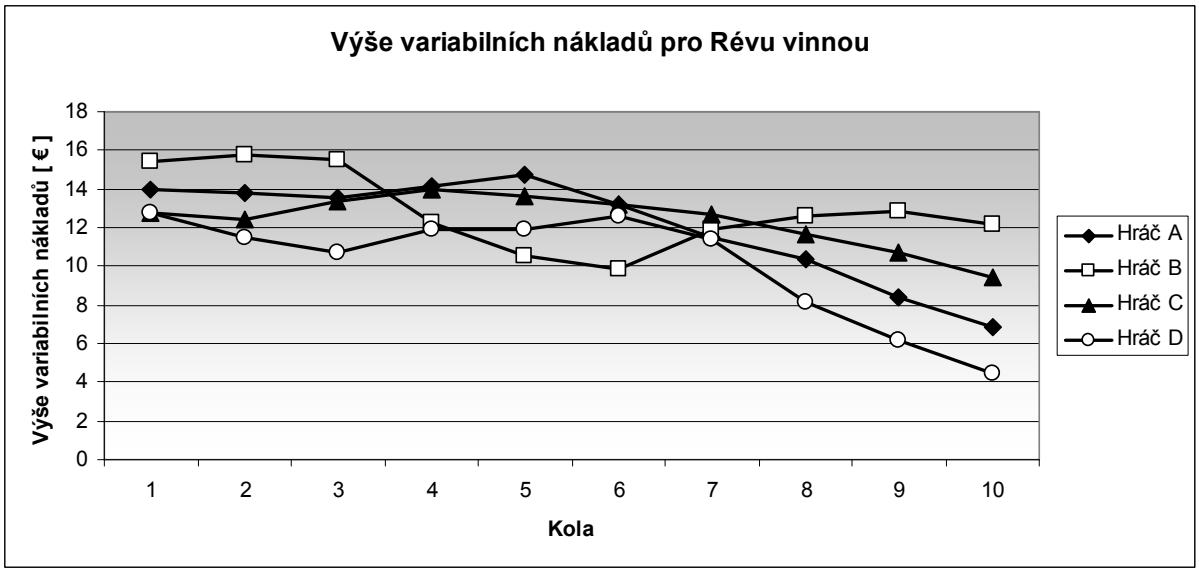


Obrázek 6.4: Množství a cena půdy

Z grafu je na první pohled patrné, že s přibývajícími koly lineárně rostla cena půdy. Vysvětlení tohoto jevu spočívá ve schopnosti hráčů snižovat své variabilní náklady a tím zvyšovat efektivitu půdy. To se mimo jiné projevuje tím, že hráči jsou schopni do půdy investovat větší množství financí. Tento jev nastává až v okamžiku, kdy nabízená cena za půdu v průběhu kol roste minimálně u 2 hráčů. Další fenomén, který lze pozorovat v kolech 3-7 je stagnace ceny půdy. V první části (kola 4 a 5) je to způsobeno tím, že nabízené množství půdy na trhu vzrostlo a tlaky na růst ceny půdy byly proto minimální. V druhé části (kola 6 a 7) nabízené množství půdy pokleslo, ale protože trh byl nasycen z předchozích kol, tak opět nedošlo k růstu ceny.

Vliv variabilních nákladů

Cílem tohoto experimentu je analýza vlivu variabilních nákladů a také možnost predikce dalšího vývoje.

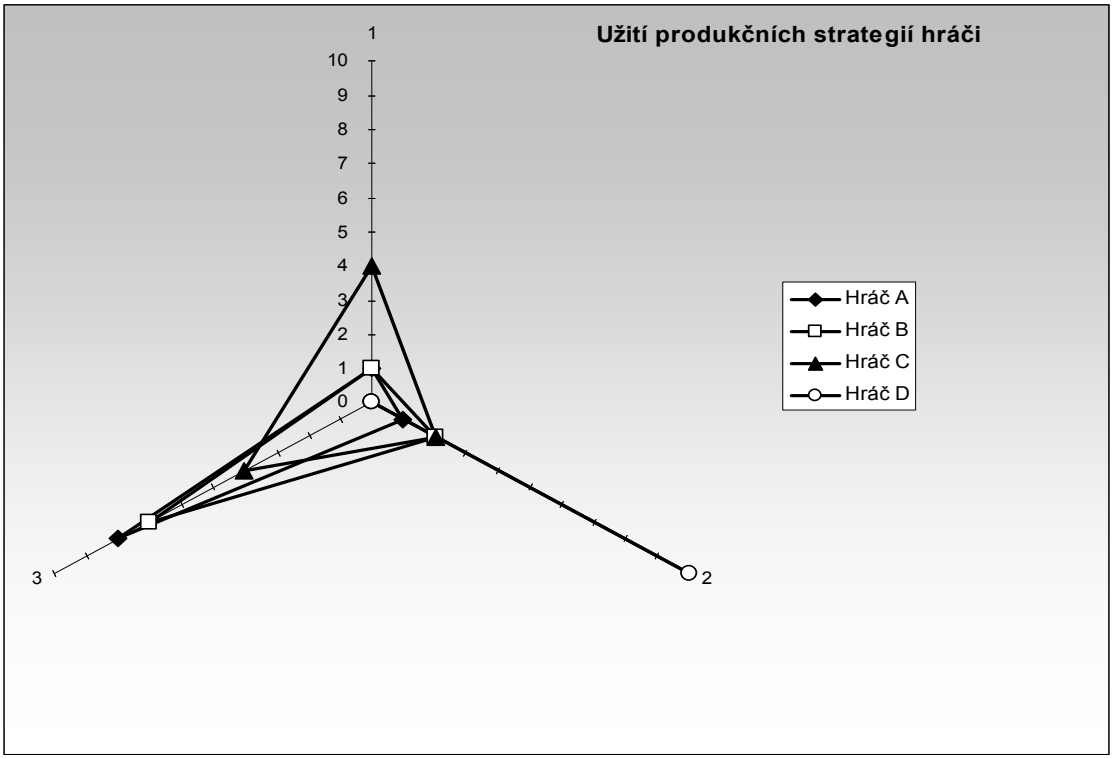


Obrázek 6.5: Variabilní náklady hráčů

Z grafu je jasně patrné, jak se projevuje nákup půdy do variabilních nákladů. V okamžiku (kolo 4), kdy hráč D nakoupí novou půdu, tak mu vzrostou variabilní náklady. To se opakuje i v kolech 5 a 6. Dalším zajímavým faktem je to, že hráč D následně investoval do snižování variabilních nákladů výrazné množství prostředků, což vedlo k dramatickému poklesu nákladů. Z tohoto trendu lze usuzovat, že hráč D začne v kolech 11-15 opět skupovat půdu a navíc, protože bude kapitálově nejsilnější, dokáže udržet své variabilní náklady na přiměřené úrovni. Dále lze také předpokládat, že pokud nedojde k výrazným výkyvům způsobených počasím, bude hráč D na konci kola 20 vlastnit většinu celkové půdy a bude mít nejefektivnější hospodářství. Pro zajímavost lze uvést také to, že hráč C, který měl sice nejméně počáteční půdy ale nejnižší průměrné variabilní náklady, nedokázal překonat během 10-ti kol žádného ze svých konkurentů ani v množství půdy ani v ziscích (výjimku tvoří kolo 3).

Srovnání produkčních strategií

Poslední studie vyhodnocuje oblíbenost produkčních strategií mezi hráči.



Obrázek 6.6: Produkční strategie hráčů

Na závěr bych chtěl ukázat jak byly produkční strategie využívány jednotlivými hráči. To, jestli se hráč bude specializovat na produkci jedné komodity, anebo bude produkovat více druhů, závisí na několika faktorech. Především jsou to počáteční podmínky hráče, podle kterých identifikuje výnosnost komodit. Nejzřetelněji se to projevuje u hráče D, který volí vždy produkční strategii 2, tedy produkci dvou plodin. Totéž lze vidět i u hráčů A a B, kteří se ve většině kol specializují – volí strategii 3, produkci jediné komodity. Produkční strategie nejsou žádným exaktním parametrem, který by popisoval konkrétní stav světa. Jejich hodnota spočívá v informaci, kterou podávají - jestli se vyplatí hráčům specializovat a opačně, jestli je pro hráče vhodné rozložit riziko produkce do více komodit. Tento faktor lze ještě posílit dalšími nastaveními, například zabudováním koeficientů rizika pěstování jediné komodity.

6.2 Hodnocení výsledků experimentů

Výsledky experimentů a jejich posouzení ověřilo, že navrhnutý model splňuje základní logickou strukturu požadovanou pro simulaci obchodování s komoditami. Model je schopen zčásti nahradit reálné prostředí a pomocí vhodně zvolených parametrů můžeme sledovat vybrané situace systému a jeho vzájemnou provázanost.

Využití experimentů, které lze pomocí modelu studovat, je vhodné zvláště v tom okamžiku, kdy nastavení výchozích podmínek plodin bude odpovídat reálným datům. Zkoumané problémy by

také měly být definovány tak, aby se výběr plodin omezil na ty, které svými vlastnostmi korelují s navrhnutým modelem. Hodnota experimentů a jejich predikční schopnosti vzrostou, pokud se do modelu přidají prvky vzájemné závislosti plodin, které budou mít oporu v reálném světě.

Experimenty také zobrazily schopnost modelu propagovat ekonomické impulsy z jednoho subjektu na druhý, čímž se dosáhlo vzájemné provázanosti modelovaného systému.

7. Vyhodnocení a výsledky

Navržený a implementovaný model je simulací prostředí trhu se zemědělskými komoditami. Tento model v současné podobě splňuje základní funkcionalitu a jeho rozšiřování by přineslo možnost dalších experimentů. Následuje zhodnocení oblastí, které se v současném stavu dají rozšířit, případně upravit.

Trh futures komodit. Zajímavým doplněním strategického rozhodování hráčů by bylo, pokud by mimo běžný trh s aktuální produkcí měli hráči možnost prodávat část své produkce přes futures trhy komodit. Tím by se do hry vneslo několik úvah. Například: Je pro hráče výhodnější prodat část své produkce dopředu s rizikem, že nebude schopen dostát svému závazku? Anebo: Je pro hráče výhodnější vzít cenu futures, než pozdější cenu stanovenou celkovým produkovaným množstvím? V současné podobě hráči obchodují pouze na trhu aktuální produkce, která je značně volatilní. Pokud by byl trh aktuální produkce a trh futures komodit provázán pomocí regulačních mechanik, tak by se mohlo zabránit některým výkyvům cen komodit.

Vypuštění produkčních strategií. Produkční strategie hráčů byly zavedeny především proto, aby byl běh programu omezen na rozumnou dobu, která by umožňovala provádět sérii testů a ladit parametry programu. V současné době při nastavení: 4 hráči, 3 komodity a 5 možností, jak rozdělit půdu u každé komodity, běží program na běžném PC zhruba 30min. Výhoda produkčních strategií spočívá především v tom, že není nutné pro každou komoditu počítat všechny varianty rozdělení půdy v závislosti na ostatních plodinách, ale vezmou se jenom 3 varianty rozložení půdy mezi komodity. Je zřejmé, že výpočetní složitost tohoto modelu by odstraněním produkčních strategií výrazně vzrostla, protože počet kombinací je dán exponenciální složitostí:

$$T = P^{K^H}$$

Rovnice 7.1: Výpočetní složitost modelu

Ve vzorci **T** značí celkový čas výpočtu, **P** je počet dílů půdy, **K** je počet komodit a **H** je počet hráčů.

Závislost komodit. V reálném světě existují mezi komoditami z pohledu spotřebitele vztahy komplementů a substitutů. Začlenění vztahů do tohoto modelu by přineslo další zajímavé prvky na zkoumání. V současné podobě je provázanost komodit dána pouze přednastavenými parametry hráčů, kteří vyhodnocují užitek z komodit na základě výnosů z minulých sezón.

Hra o nákup půdy a investic do variabilních nákladů. Model v aktuální podobě má nastaveno pořadí v jakém probíhá nákup nové půdy a investice do variabilních nákladů. Z pohledu reality to však příliš nevypovídá o rozumném uvažování hráčů, kteří by nejdříve zvažovali nákup půdy

a až poté investice do variabilních nákladů. Aby byl model co nejhodnověrnější, tak by měla probíhat hra o to kam a v jaké míře investovat své zisky tak, aby to bylo pro každého hráče nejvýhodnější. Tím by bylo dosaženo toho, že hráč by uvažoval komplexněji a zřejmě také racionálněji.

Další parametry. Je zřejmé, že přidávání dalších parametrů a vyladění funkčnosti již implementovaných zvýší hodnotu predikce, kterou tento model poskytuje. Další vlastnosti, které by se mohly v modelu objevit jsou například: inflace, alternativní trhy, další vnější vlivy, aj.

8. Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit model, který by simuloval prostředí trhu zemědělských komodit pomocí herně teoretických nástrojů. Míra využití modelu je přitom přímo závislá na jeho kvalitě, nebo-li schopnosti předikovat budoucí stavy systému. Základním předpokladem je proto správný návrh modelu a vhodná aplikace teoretických nástrojů.

Pro simulaci obchodování s komoditami bylo hodnoceno několik herně teoretických koncepcí. Výchozím bodem je porovnání teorií navzájem a vyhodnocení jejich přínosu pro zkoumaný problém. Jako nejvhodnější byla zvolena klasická teorie her s hledáním Nashových equilibrií v matici rozložení půdy. Pomocí tohoto konceptu je vytvářen rozhodovací strom každého kola hry pro všechny hráče. Kořenem stromu je pak vyhodnocení sezóny. Tato definice produkce nachází svůj protějšek ve spotřební funkci komodit, která je vyhodnocena použitím Cournotovy hry – nástrojem teorie her pro modelování trhů.

I další fáze modelu využívá herně teoretické prostředky. Konkrétně se jedná o aukce, které jsou využity pro obchodování s volnou půdou. Srovnání aukcí vedlo k tomu, že byla vybrána jednoduchá aukce obálkovou metodou s druhou cenou, která je názorná a přitom efektivní.

Kompletní popis modelu také zahrnuje diskusi nad použitými parametry a hodnocení všech jeho částí, včetně úvah o rozšíření a modifikaci modelu. Jako příští kroky, které by rozšiřovaly funkčnost modelu, by zřejmě měly být hlubší korelace komodit, další trhy komodit a také úprava systému rozhodování producentů.

Nepostradatelnou částí každé práce na modelu jsou experimenty, které prověřují implementované vlastnosti. Na vytvořeném modelu je zpracováno několik studií a experimentů zaměřených na zkoumání vnitřní struktury a schopnosti šířit informace mezi jednotlivými subjekty. Ze studií vyplývá, že základní struktura modelu odpovídá reálným scénářům, ale krátkodobé predikce i dlouhodobé prognózy jsou hodnotné teprve až když data mají oporu v aktuálních komoditách a hráči odpovídají producentům na skutečném trhu.

Literatura

[1] *NASA - Data-Driven Prognostics* [online]. 2008 [cit. 2008-05-10]. Dostupný z WWW: <http://ti.arc.nasa.gov/projects/data_driven_prognostics/>.

[2] *Gambit Game Theory Analysis Software and Tools* [online]. 2007 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <http://gambit.sourceforge.net/>.

[3] BERNETTI, FRANCIOSI, LOMBARDI. *Land use change and the multifunctional role of agriculture : a spatial prediction model in an Italian rural area* [online]. 2006 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <http://ideas.repec.org/a/ids/ijarge/v5y2006i2-3p145-161.html>.

[4] BIERMAN, H. Scott, FERNANDEZ, Luis. *Game Theory : With Economic Applications*. 2nd edition. [s.l.] : [s.n.], c1998. 452 s. ISBN 0201847582.

[5] DAVIS, Morton D. Game Theory : A Nontechnical Introduction. [s.l.] : [s.n.], 1997. 252 s. ISBN 0486296725.

[6] KREPS, David M. *Game Theory and Economic Modelling* . [s.l.] : [s.n.], 1990. 208 s. ISBN 9780198283812.

[7] KRISHNA, Vijay. *Auction Theory*. [s.l.] : [s.n.], c2002. 297 s. ISBN 9780124262973.

[8] NEUSTUPNÝ, Evžen. *Predikce areálů archeologického zájmu : Rukopis příspěvku určeného do sborníku na památku Jana Rulfa* [online]. 1998 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <http://www.kar.zcu.cz/texty/NeustupnyND.htm>.

[9] RÁBOVÁ, Zdena, et al. *Modelování a simulace*. Brno : [s.n.], 2004. 220 s.

[10] SIEBRASSE, Norman. *Norman Siebrasse Spatial Games* [online]. 2008 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <http://law.unb.ca/Siebrasse/GameTheory.htm>.

[11] SIEGEL, Aaron. *Combinatorial Game Suite* [online]. 2007 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <http://cgsuite.sourceforge.net/>.

[12] TESFATSION, Leigh. *Trade Network Game Laboratory* [online]. 2008 [cit. 2008-05-15]. Dostupný z WWW: <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/tnghome.htm>.

Seznam příloh

Příloha 1 – uživatelská příručka programu GameSim

Příloha 2 – plakát modelu

Příloha 1 – uživatelská příručka programu GameSim

Program GameSim představuje programovou část této diplomové práce. GameSim je implementací navrženého modelu a umožňuje experimentovat se systémem pomocí vstupních parametrů.

Program byl implementován na operačním systému Windows, a protože využívá vlákna WinAPI, nelze jej kompilovat na jiném operačním systému.

Vstupním souborem, který musí být uveden jako parametr spouštěného programu je soubor s přesně definovaným formátem, jak bude později uvedeno. Výstupním souborem je soubor output.txt, kde jsou uloženy všechny hlavní výsledky. Output.txt je pro snazší zpracování uložen také v XML verzi. Program dále využívá několik pomocných souborů pro mezivýpočty (matrix.nfg, solution.txt) a také soubor pro vedlejší výsledky (log.txt). V pracovním adresáři musí být také program Gambit, respektive jeho knihovny, které jsou použity pro výpočet equilibrií.

Následuje popis vstupního formátu souboru.

```
OBECNE NASTAVENI
{
dostupna puda ke koupi kazde kolo (ary) int,
celkovy pocet kol/sezon short,
pocet moznych rozdeleni pudy producenta short,
dobra navraceni hodnoty pojistky short,
cena na snizeni variailnich nakladu o 1% (€) float
}

POPTAVKA
{
pocet komodit short,
//komodita C:
  //[
  jmeno string ,
  zaklad logaritmu float,
  pridana hodnota k logaritmu (€) int,
  trend (%) float,
  rozptyl pocasi (%) float,
  minimalni produkce potrebna k zahajeni dotaci (jednotky) int,
  dotace na jednotku (€) float,
  kapacita trhu (jednotky) int,
  kapacita se aplikuje v kole int
  //]
}

NABIDKA
{
pocet producentu,
//producent P:
  //[
  jmeno string ,
  pocatecni puda (ary) int,
```

```
  //komodita C:
    //[
    pocatecni variabilni naklady ($) float,
    //]
  //]
}

priklad:

{
1000 , 10 , 5 , 10 , 1000
}
{
3 ,
Vino ,     0.2 ,  20 , 1 ,   0.5 , 4500 ,  1 , 10000 , 5 ,
Brambory ,    0.3 ,  15 , 0.9 , 0.1 , 4500 ,  2 , 20000 , 0 ,
Repa ,  0.1 ,  10 , 1.1 , 0.2 , 4500 ,  3 , 20000 , 0
}
{
4 ,
Agronom , 6000 , 14 , 6 , 2 ,
Bauer ,   7000 , 15 , 7 , 2.5 ,
Colono ,  4000 ,  13 , 5 , 1.5 ,
Diabas ,  11000 , 13 , 7 , 3.2
}
```

Příloha 2 – plakát modelu