VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2011 Petr Lesák

VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY

Název diplomové práce:

Metoda Analytic Network Process

Autor:	**Petr Lesák**
Katedra:	**Katedra ekonometrie**
Obor:	**Matematické metody v ekonomii**
Vedoucí práce:	**Mgr. Jana Kalčevová, Ph.D.**

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Metoda Analytic Network Process“ zpracoval samostatně. Veškerou použitou literaturu a další podkladové materiály uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne 3. května 2011 .....

Petr Lesák

Poděkování:

Rád bych na tomto místě poděkoval Mgr. Janě Kalčevové, Ph.D. za vedení mé diplomové práce a konstruktivní kritiku. Děkuji také všem, kdo mi poskytli konzultace ohledně aplikační části práce a zvýšili tak její hodnotu.

Abstrakt

Název práce: Metoda Analytic Network Process
Autor: Petr Lesák
Katedra: Katedra ekonometrie
Vedoucí práce: Mgr. Jana Kalčevová, Ph.D.

Diplomová práce se věnuje problematice vícekriteriálního rozhodování, konkrétně pak metodě Analytic Network Process (ANP). Úvodní část obsahuje shrnutí teoretických poznatků potřebných k porozumění metodě a používaných ve zbytku práce. Popsána je metoda Analytic Hierarchy Process (AHP) a její zobecnění na metodu ANP. Součástí práce je i zmapování softwaru schopného modely metody ANP řešit. Hlavní pozornost je věnována aplikačním možnostem metody, ověřována je užitečnost metody při modelování v makroekonomii. Ve třetí kapitole práce je prezentován prognostický model vytvořený po konzultaci s odborníky. Výsledky modelu jsou srovnány s aktuálními dostupnými prognózami tuzemských a zahraničních institucí.

Klíčová slova: vícekriteriální rozhodování, ANP, makroekonomická predikce.

Abstract

Title: Analytic Network Process Method
Author: Petr Lesák
Department: Department of Econometrics
Supervisor: Mgr. Jana Kalčevová, Ph.D.

The thesis is concerned with Multi-Criteria Decision Making, in particular the Analytic Network Process method. The introductory part is dedicated to compile all the theory necessary to understand the method and utilized throughout the paper. The Analytic Hierarchy Process method is described and later generalized in the form of the ANP. Part of the paper is a description of available software products that are able to solve the ANP models. The main focus is on the application of the method, the usability and efficiency of possible use in macroeconomics is tested. In the third chapter a macroeconomic forecasting model is developed in cooperation with experts. The results of this model are compared with the best available up-to-date forecasts by local and international institutions.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making, ANP, Macroeconomic Forecasting.

Obsah

ÚVOD **1**

1 TEORETICKÉ ZÁKLADY **2**

1.1 DEFINICE POJMŮ 2
1.2 HISTORICKÁ EXKURZE 3
1.3 PÁROVÁ SROVNÁNÍ 3
1.3.1 Elementární stupnice 3
1.3.2 Saatyho matice 5
1.3.3 Konzistence párových srovnání 6
1.4 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS 8
1.4.1 Postup modelování 8
1.4.2 Expertní soudy 9
1.4.3 Kritiky metody 9
1.4.4 Ilustrační příklad použití AHP 10
1.5 ANALYTIC NETWORK PROCESS 13
1.5.1 Síťová struktura 13
1.5.2 Supermatice 14
1.5.3 Postup modelování 16
1.5.4 Ilustrační příklad použití ANP 17
1.5.5 Praktické aplikace metody ANP 19
1.6 MAKROEKONOMICKÁ APLIKACE 22
1.6.1 Prognózování v makroekonomii 22
1.6.2 Hrubý domácí produkt a jeho měření 23

2 SOFTWARE **24**

2.1 SOFTWARE PRO VÍCEKRITERIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ 24
2.2 SUPER DECISIONS 25
2.2.1 Základní popis programu 25
2.2.2 Prostředí 26
2.2.3 Tvorba modelu 27
2.2.4 Vazby a párová srovnání 28
2.2.5 Výpočetní fáze 31
2.2.6 Analýza citlivosti 32
2.2.7 Závěrečné shrnutí 33

3 APLIKACE A ANALÝZA VÝSLEDKŮ **35**

3.1 ÚVOD DO SITUACE 35
3.2 POPIS MODELU 37
3.2.1 Struktura modelu 37

3.2.2 Klastr hlavních faktorů ... 38
3.2.3 Globální faktory ... 39
3.2.4 Politické faktory ... 39
3.2.5 Ekonomické faktory ... 39
3.2.6 Sociální faktory ... 40
3.2.7 Klastr variant ... 40
3.3 PÁROVÁ SROVNÁNÍ ... 41
3.3.1 Interpretace ... 42
3.3.2 Expertní úsudky ... 42
3.4 VÝPOČETNÍ FÁZE ... 43
3.5 INTERPRETACE A SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ... 44
3.5.1 Výsledky modelování ... 45
3.5.2 Analýza citlivosti ... 46
3.5.3 Srovnání výsledků ... 47
3.5.4 Zhodnocení modelu ... 49
ZÁVĚR ... 51
LITERATURA ... 52
INTERNETOVÉ ZDROJE ... 52
OBSAH PŘILOŽENÉHO CD ... 54

Seznam grafů, obrázků a tabulek

Tab. 1.1 – Elementární stupnice ... 4
Tab. 1.2 – Párové srovnání kritérií ... 6
Tab. 1.3 – Index konzistence náhodné reciproké matice podle řádu matice ... 7
Tab. 1.4 – První způsob aproximace hodnoty λ_{max} ... 7
Tab. 1.5 – Druhý způsob aproximace hodnoty λ_{max} ... 7
Obr. 1.6 – Jednoduchý model AHP se třemi vrstvami ... 8
Tab. 1.7 – Matice párových srovnání s vektory vah ... 11
Tab. 1.8 – Matice vah variant podle kritérií ... 11
Obr. 1.9 – Analýza citlivosti variant na vahách kriterií v programu Super Decisions ... 12
Obr. 1.10 – Třívrstvá hierarchie v síťovém zobrazení ... 13
Obr. 1.11 – Příklad modelu metody ANP ... 14
Obr. 1.12 – Supermatice úplné sítě o *N* klastrech ... 15
Obr. 1.13 – Jeden blok supermatice ... 15
Obr. 1.14 – Struktura a supermatice holarchie ... 16
Obr. 1.15 – Ilustrační model ANP ... 17
Tab. 1.16 – Matice párových srovnání ... 18
Tab. 1.17 – Supermatice modelu ... 18

Tab. 1.18 – Limitní supermatice modelu 19
Obr. 2.1 – Vstupní okno programu Super Decisions 26
Obr. 2.2 – Ovládací lišta v Super Decisions 26
Obr. 2.3 – Příklad klastrů, uzlů a podsítí 27
Obr. 2.4 – Vlastnosti klastru 28
Obr. 2.5 – Ukázka sítě se zvýrazněnými vazbami 28
Obr. 2.6 – Dotazníková a maticová forma párového srovnávání 29
Obr. 2.7 – Zadávání párových srovnání slovně a na grafu 30
Obr. 2.8 – Zpráva o nekonzistenci 30
Obr. 2.9 – Grafická a textová podoba nevážené supermatice 31
Obr. 2.10 – Finální vektor vah variant modelu 32
Obr. 2.11 – Citlivostní analýza v závislosti na rizicích projektu 33
Tab. 3.1 – Vybrané české makroekonomické ukazatele od roku 2002 36
Tab. 3.2 – Posledních deset změn sazeb vyhlašovaných ČNB 36
Obr. 3.3 – Obecné schéma modelu (holarchie) 38
Obr. 3.4 – Model pro predikce HDP ČR v roce 2011 41
Tab. 3.5 – Limitní vektory vah prvků v predikčních modelech 44
Obr. 3.6 – Výsledky predikce pro rok 2011 45
Obr. 3.7 – Výsledky predikce pro rok 2011 (skupinové hodnocení) 45
Obr. 3.8 - Výsledky predikce pro rok 2016 (skupinové hodnocení) 46
Obr. 3.9 – Analýza citlivost v programu Super Decisions 47
Obr. 3.10 – Prognóza vývoje HDP včetně intervalů spolehlivosti 48
Tab. 3.11 – Porovnání závěrů práce s aktuálními prognózami významných institucí 49

Úvod

Selský rozum je vynikajícím nástrojem pro rozhodování. Každý z nás je denně konfrontován s desítkami problémů a situací, kdy se potřebuje správně a hlavně efektivně rozhodnout. Co si vzít na sebe, jakým dopravním prostředkem jet do práce nebo co si dát k obědu jsou příklady rozhodnutí každému důvěrně známých. Jak ale roste rozsah a komplexita problémů, selský rozum přestává stačit a ke slovu se dostávají realitu zjednodušující modely a různé metody pro podporu rozhodování.

Při vytváření takových metod se autoři snaží napodobit a algoritmizovat schopnost lidského mozku analyzovat problém, rozdělit jej na jednotlivé části, ohodnotit jejich přínos a následně syntézou dojít k závěrečnému rozhodnutí. Jiným přístupem k popisování rozhodování je pak ekonomická teorie očekávaného užitku, např. Von Neumannova-Morgensternova teorie užitku.

Jako téma své diplomové práce jsem si vybral metodu Analytic Network Process (ANP), kterou jako rozšíření své metody Analytic Hierarchy Process (AHP) vytvořil Thomas L. Saaty. Jde o metody vícekriteriálního rozhodování s kardinální informací a diskrétními dopředu definovanými variantami. To znamená, že varianty posuzujeme z více pohledů, vztahy jsou vyjádřeny v měřitelných jednotkách a máme předem danou množinu variant řešení, mezi kterými se rozhodujeme.

Vícekriteriální rozhodování mě přitahuje svoji zřejmou uplatnitelností v praxi. Jako velmi nerozhodný člověk dokážu docenit schopnost modelu analyzovat jednotlivé kroky rozhodování a syntézou dojít k určitému výsledku. Konkrétně pro metodu ANP jsem se rozhodl, protože metodu AHP považuji díky schopnosti dobře zpracovat neměřitelné veličiny za jednu z nejužitečnějších a byl jsem zvědavý, jak bude její zobecnění pro složitější struktury fungovat. Metoda ANP byla aplikována v tak rozmanitých situacích, jako je predikce chování ekonomik, analýza podnikové strategie či řešení geopolitických konfliktů. Otázka je, nakolik jsou takové aplikace metody smysluplné a efektivní. K této metodě také neexistuje téměř žádná česky psaná literatura a téma není tak vyčerpané.

Hlavním cílem mé diplomové práce je předložit českému čtenáři ucelený dokument popisující metodu ANP, dostupný software k jejímu řešení a demonstrovat její možnosti jako nástroj pro makroekonomické prognózování. Tomu odpovídá i členění práce na kapitoly. Nejprve jsou uvedeny teoretické podklady nutné pro pochopení metody, krátce se zmiňuji i o nejběžnějších aplikacích ANP. Ve druhé kapitole je popsán software, který dokáže úlohy touto metodu řešit. Soustředím se na program Super Decisions, který je v testovací verzi šířen jako freeware a je zaměřen pouze na metodu ANP. Konečně ve třetí kapitole se již věnuji samotné aplikaci metody – od vytvoření modelu, jeho řešení až po následný rozbor výsledků. V závěru se snažím shrnout poznatky o metodě ANP a zkušenosti z její aplikace.

1 Teoretické základy

V této kapitole uvádím shrnutí teoretických poznatků důležitých pro porozumění práci. Je tu také detailně představena metoda ANP a některé její aplikace. Teorie je ilustrována na jednoduchých příkladech pro lepší srozumitelnost, všechny výpočty jsou k nahlédnutí jako součást příloh práce.

1.1 Definice pojmů

V problematice teorie rozhodování se setkáváme s celou řadou pojmů, z nichž některé pro přehlednost uvádím a definuji. Jedním z nejčastěji používaných termínů je **model**. Model je reprezentací reálně existujícího systému vytvářenou za účelem jeho lepšího pochopení a analýzy. Obvykle zahrnuje jen některé vlastnosti a vztahy originálního systému a jde tak o *zjednodušení reality* na základě odpovídající teorie. Modely v rámci teorie rozhodování dělíme podle způsobu jejich konstrukce, jejich formy a účelu.

Hlavními prvky rozhodovacího modelu jsou **cíl**, **kritérium** a **varianta**. Cíl je zpravidla důvodem, proč rozhodovací model sestavujeme, tedy předmětem rozhodování. Cílů může být více, ale aby byl model řešitelný, je třeba znát jejich váhy nebo priority. Varianta je možným výsledkem modelu. Množina variant může být dopředu známá (diskrétní modely) či generovaná modelem (spojité rozhodování). Množina variant musí být minimálně dvouprvková, jinak se nejedná o rozhodování. Kritérium je vlastnost, podle které jsou varianty hodnoceny. Může mít podobu spojité funkce či diskrétní stupnice, další možností je ordinální řazení variant. Pokud model obsahuje kritérií více, jde o vícekriteriální rozhodování.

Speciálními termíny souvisejícími s metodou ANP jsou **síť**, **klastr** a **vazba**. Modely ANP jsou tvořeny prvky (cíle, kritéria, varianty) propojenými vazbami, prvky jsou tematicky členěny do klastrů a celý model se nazývá síť. Pojem síť odpovídá svým použitím síti známé z teorie grafů. Modely AHP a ANP samozřejmě mohou obsahovat celou škálu mezistupňů – dílčí cíle, podrobnější kritéria, **podsítě** a podobně.

Základním pojmem je **rozhodování**, proces výběru varianty z množiny variant podle stanoveného kritéria za účelem dosažení stanovených cílů[1]. **Rozhodovatel** je logicky subjekt, provádějící rozhodování.

Teorie rozhodování rozlišuje modely s informací **a priori**, **a posteriori** a **průběžnou informací**. Apriorní informace umožňuje řešit úlohu jako jednokriteriální bez dalšího vstupu rozhodovatele. A posteriori modely naopak úlohu řeší bez předchozího vyjádření o preferencích a předkládá rozhodovateli množinu nedominovaných variant[2]. Průběžná informace pak předpokládá interaktivitu mezi rozhodovatelem a řešitelem. Metoda ANP je

[1] Fiala, P. – *Modely a metody rozhodování*, [3, str. 10]
[2] Fiala, P. – *Modely a metody rozhodování*, [3, str. 14]

metodou s informací *a priori*. K doladění preferencí po řešení zde může napomoci analýza citlivosti výsledků.

1.2 Historická exkurze

Pro uvedení čtenáře do kontextu mi přišlo užitečné krátce nastínit i historické souvislosti vzniku popisovaných metod. Autor metody Thomas L. Saaty je od roku 1979 profesorem na americké University of Pittsburgh. Předtím učil deset let na University of Pennsylvania a ještě dříve strávil patnáct let prací pro americkou vládu v Agentuře pro kontrolu zbraní a odzbrojování.

V roce 1980 vyšla jeho přelomová kniha *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, na kterou navázal celou řadou knih a článků rozvíjejících metodu AHP a představující její aplikace. Jeho netechnická kniha *Decision Making for the Leaders* z roku 1982 byla přeložena do více než 10 jazyků. Od roku 1988 se každé dva roky pořádá konference *The International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, zabývající se nejnovějšími poznatky v oblasti vícekriteriálního rozhodování a metod AHP/ANP.

Metoda ANP byla oficiálně představena v roce 1996 v Saatyho knize *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Síťové zobecnění AHP ale Saaty popisuje již v původní publikaci z roku 1980.

1.3 Párová srovnání

Základním stavebním kamenem a vlastností, která odlišuje AHP a potažmo i ANP od ostatních metod vícekriteriálního rozhodování, je způsob párových srovnání variant a kritérií. Proto jim věnuji celou samostatnou podkapitolu.

1.3.1 Elementární stupnice

Saaty při konstrukci metody navrhl používání takzvané *Fundamental Scale of Absolute Numbers*[3], tedy česky základní stupnice absolutních hodnot (tab. 1.1), která umožňuje jednoduché zpracování měřitelných i neměřitelných veličin pomocí úsudků odborníků. Zde leží hlavní výhoda metod AHP a ANP oproti klasickým matematickým modelům. Úsudek experta totiž často umožňuje přesnější interpretaci, co čísla nebo neměřitelné vlastnosti skutečně znamenají, než mechanická normalizace daných hodnot.

Na námitky o vágnosti a nepřesnosti takových soudů odpovídá Saaty úspěšností metody v praxi i ve srovnání s konvenčními modely. Jako příklad uvádí[4], že autoři klasických makroekonomických predikčních modelů přidávají do svých modelů přídavné veličiny, které mají vykompenzovat různé změny nebo trendy klíčových endogenních proměnných. Ukazuje

[3] Saaty, T. L. a L. G. Vargas – *Decision Making with the Analytic Network Process*, [10, str. 3]
[4] Saaty, T. L. a L. G. Vargas – *Decision Making with the Analytic Network Process*, [10, str. 27]

se ale, že výsledné modely podávají při predikci lepší výsledky, než při kontrolním výpočtu s reálnými hodnotami exogenních proměnných získaných „ex post“. To by naznačovalo, že autoři modelů mají velmi dobrou představu, co data skutečně znamenají. Jinak řečeno na reálných číslech tolik nezáleží, vliv přídavných faktorů je větší než teoretický model.

Hodnota	Definice	Interpretace
1	Stejná důležitost	Oba prvky přispívají k cíli shodně.
2	Slabá důležitost/preference	
3	Mírná důležitost/preference	Podle zkušeností a úsudku jeden prvek mírně převažuje nad druhým.
4	Mírně silná důležitost/preference	
5	Silná důležitost/preference	Podle zkušeností a úsudku jeden prvek silně převažuje nad druhým.
6	Velmi silná důležitost/preference	
7	Výrazná důležitost/preference	Jeden prvek velmi silně převažuje nad druhým, jeho převaha je zřejmá.
8	Velmi výrazná důležitost/preference	
9	Extrémní důležitost/preference	Převaha jednoho prvku nad druhým vzhledem k cíli je očividná.
Převrácené (reciproké) hodnoty hodnot výše uvedených	Pokud je prvku *i* přiřazena některá z výše uvedených hodnot v porovnání s prvkem *j*, pak *j* má převrácenou hodnotu v porovnání s *i*.	Jeden z předpokladů metody.

Tab. 1.1 – Elementární stupnice

Hodnoty je možné v případě potřeby libovolně dělit na zlomky. Pokud je kladen důraz na konzistenci soudů, nelze se většinou bez zlomků obejít.

1.3.2 Saatyho matice

Rozhodovateli je předložena homogenní (aby je bylo možné srovnávat) skupina *k* prvků, a rozhodovatel každou dvojici porovná vzhledem k prvku nadřazenému za použití základní stupnice. Vzniká tak matice párových srovnání, nazývaná Saatyho matice, dále značená písmenem **S**. Prvky matice s_{ij} jsou tedy poměrem důležitosti prvků *i* a *j* vzhledem k danému nadřazenému kritériu a platí pro ně následující vztahy:

$$s_{ij} \cong \frac{v_i}{v_j}\,, \qquad i = 1, 2, \dots, k;\ j = 1, 2, \dots, k\,,$$
$$s_{ii} = 1\,, \qquad i = 1, 2, \dots, k\,,$$
$$s_{ji} = \frac{1}{s_{ij}}\,, \qquad i = 1, 2, \dots, k;\ j = 1, 2, \dots, k\,,$$

kde *k* odpovídá počtu srovnávaných prvků (řád matice).

Ze Saatyho matice lze pomocí vlastního vektoru matice[5] normalizováním vypočítat vektor priorit jednotlivých prvků vzhledem k nadřazenému prvku. Vzhledem k výpočetní náročnosti hledání vlastních čísel matice (hlavně u matic vyššího řádu) nabízí Saaty několik metod odhadu vektoru priorit. Nejpřesnější výsledky dává normalizovaný[6] geometrický průměr řádků. Tento odhad bude používán ve zbytku práce, pokud nebude uvedeno jinak. Použité značení:

$$s_i = \prod_{j=1}^{k} s_{ij}\,, \quad r_i = \sqrt[k]{s_i}\,, \quad w_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^{k} r_i}\,.$$

Vektory **s** a **r** jsou mezikroky výpočtu geometrického průměru. Vektor **w** je normalizovaným vektorem vah, určujícím vliv jednotlivých kritérií vzhledem k hlavnímu cíli a je používaný v dalších krocích výpočtu.

Pro ilustraci uvádím příklad. Rozhodovatel vybírá ideální dopravní prostředek na cestu do práce (Cíl). Má párově porovnat jednotlivá kritéria podle důležitosti. Množina kritérií: {pořizovací cena, náklady, image, pohodlí}. Rozhodovatel pro každou dvojici odpovídá na otázku:

„Kolikrát je kritérium *i* důležitější než kritérium *j* vzhledem k dopravě do práce?“

Výsledná Saatyho matice i s vypočítanými normalizovanými prioritami by mohla vypadat následovně (tab. 1.2):

[5] Saaty, T. L. – *The Analytic Hierarchy Process*, [9, str. 19]
[6] Normalizací se zde vždy rozumí úprava na vektor se součtem prvků rovným jedné.

Cesta do práce	*Pořizovací cena*	*Náklady*	*Image*	*Pohodlí*	s_i	r_i	w_i
Pořizovací cena	1	2	7	5	70	2,893	0,510
Náklady	1/2	1	6	4	12	1,861	0,328
Image	1/7	1/6	1	1/3	0,008	0,298	0,053
Pohodlí	1/5	1/4	3	1	0,15	0,622	0,110

Tab. 1.2 – Párové srovnání kritérií

Takže například hodnota 7 v buňce s_{13} znamená, že *pořizovací cena* je výrazně důležitější při rozhodování o volbě dopravního prostředku než *image*. Reciproká hodnota v buňce s_{31} se rovná 1/7.

Výsledný vektor priorit $\mathbf{w^T} = (0{,}510;\ 0{,}328;\ 0{,}053;\ 0{,}110)$ se dá interpretovat tak, že více než polovinu váhy v rozhodnutí představuje pořizovací cena. Významnou roli hrají náklady a méně důležitými kritérii jsou pohodlí a image.

1.3.3 Konzistence párových srovnání

Důležitým faktorem, kterému je třeba věnovat pozornost při párovém srovnávání je konzistence. V případě, že pouze nepřevádíme exaktní měření na elementární stupnici a používáme úsudek, dochází téměř vždy k nekonzistenci. (Pokud tvrdím, že *a* je 3-krát lepší než *b*, ale jen 1/5-krát tak dobré jako *c*, abych předešel nekonzistenci, muselo by být *c* 15-krát lepší než *b*.) Vzhledem k vlastnostem reciprokých matic a vlastních čísel nehraje drobná nekonzistence roli při určování vektoru priorit[7].

Míra konzistence (C. R.) se určuje jako podíl indexu konzistence (C. I.) a indexu konzistence náhodně generované reciproké matice (R. I.) odpovídajícího řádu. Index konzistence pro matici *S* pak dostaneme pomocí nejvyššího vlastního čísla matice λ_{max}.

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - k}{k - 1}.$$

Míra konzistence do 0,10 (10 %) se považuje za únosnou. Při vyšších hodnotách je třeba upravit matici párových srovnání, jinak výsledky celého modelu rychle ztrácí výpovědní

[7] Saaty, T. L. – *The Analytic Hierarchy Process*, [9, s. 51]

hodnotu. Experimentálně odvozené hodnoty R. I. uváděné[8] autorem pro matice řádu 1 až 15 jsou v tabulce 1.3.

Řád	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Tab. 1.3 – Index konzistence náhodné reciproké matice podle řádu matice

I zde nabízí Saaty výpočetně jednodušší způsob odhadu konzistence. Jedním způsobem, jak odhadnout nejvyšší vlastní číslo matice, je prostě sečíst sloupce matice **S** a výsledný vektor skalárně vynásobit vektorem normalizovaných vah získaným pomocí některého z výše popsaných postupů pro řešení Saatyho matice. Součet prvků tohoto vektoru se pak blíží číslu λ_{max}. Přesnější odhad dává vynásobení matice vektorem vah zprava, vydělení prvků výsledného vektoru prvky vektoru vah a konečně zprůměrování prvků tohoto vektoru řádem matice. Uvedené způsoby aproximace indexu konzistence jsou demonstrovány v tabulkách 1.4 a 1.5.

Matice S	1	2	7	5	
	1/2	1	6	4	
	1/7	1/6	1	1/3	
	1/5	1/4	3	1	
Součty sloupců	1,843	3,417	17	10,33	
Váhy $\boldsymbol{w_i}$	0,510	0,328	0,053	0,110	$\boldsymbol{\lambda_{max}}$
Součiny (součty x $\boldsymbol{w_i}$)	0,939	1,121	0,894	1,133	**4,087**

Tab. 1.4 – První způsob aproximace hodnoty λ_{max}

Matice S				Váhy $\boldsymbol{w_i}$	Součiny (**S** x $\boldsymbol{w_i}$)	Podíly (součiny/$\boldsymbol{w_i}$)
1	2	7	5	0,510	2,082	4,085
1/2	1	6	4	0,328	1,337	4,077
1/7	1/6	1	1/3	0,053	0,217	4,119
1/5	1/4	3	1	0,110	0,451	4,116
					$\boldsymbol{\lambda_{max}}$	**4,099**

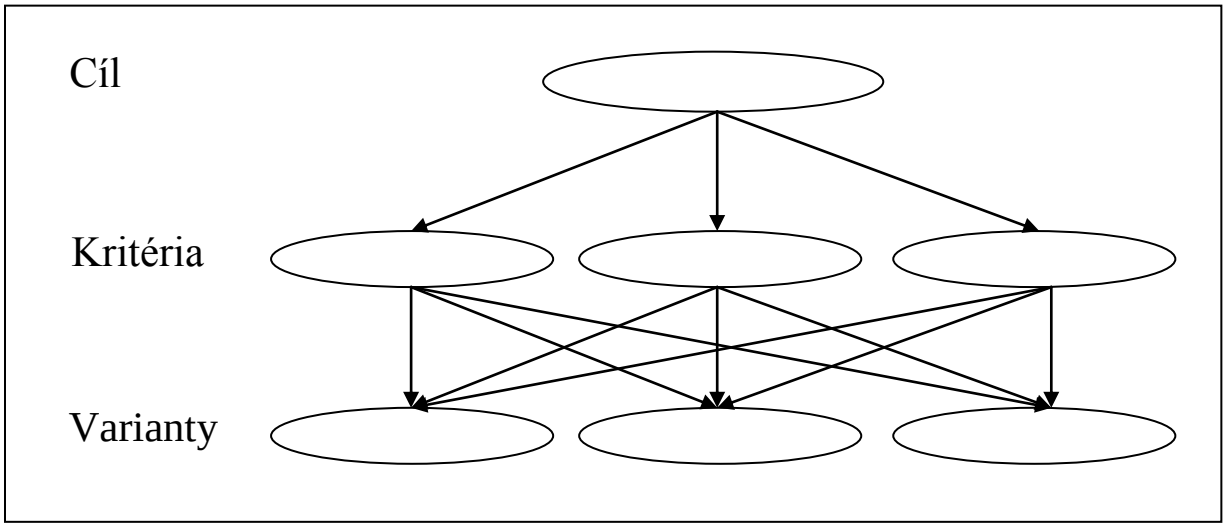
Tab. 1.5 – Druhý způsob aproximace hodnoty λ_{max}

[8] Saaty, T. L. – *The Analytic Hierarchy Process*, [9, str. 21]

Prvním způsobem dostaneme pro náš ilustrační příklad λ_{max} = 4,087 a po dosazení do vzorce *C. I.* = 0,029; druhým způsobem vychází λ_{max} = 4,099 a *C. I.* = 0,033. Pokud bych spočítal λ_{max} z definice vlastního čísla, vyjde 4,099. Druhý způsob aproximace se odlišuje až v řádu desetitisícin. *R. I.* pro matice čtvrtého řádu je 0,90 (viz tab. 1.3) je tedy patrné, že náš příklad bezpečně splňuje únosnou míru konzistence.

1.4 Analytic Hierarchy Process

Metodu AHP lze uplatnit na celou řadu reálných situací. Omezeními jsou hierarchická struktura, od ústředního cíle, přes úrovně kritérií po nejnižší úroveň variant (viz obr. 1.6) a porovnatelnost prvků v jednotlivých úrovních. AHP také předpokládá pouze vazby mezi úrovněmi. Na obrázku jsou prvky znázorněny elipsami a vazby šipkami.



Obr. 1.6 – Jednoduchý model AHP se třemi vrstvami

1.4.1 Postup modelování

Při používání metody AHP rozlišujeme čtyři hlavní kroky.

1) Přípravná fáze. Je třeba si důkladně a pečlivě rozmyslet všechna kritéria ovlivňující výsledek rozhodování a prozkoumat všechny dostupné smysluplné varianty. Posléze přistupujeme ke konstrukci hierarchie.
2) Rozhodovací fáze. Postupujeme ve směru šipek a vytváříme matice párových srovnání pro každou úroveň vzhledem ke každému nadřazenému prvku (pokud je mezi nimi vazba).
3) Výpočetní fáze. Z vzniklých matic párových srovnání vypočteme vektory preferencí a postupně podle směru šipek agregujeme výsledky až po určení výsledných preferencí variant vzhledem k cíli.
4) Analýza výsledků. Po výpočtu může ještě následovat citlivostní analýza, zkoumající, jak by výsledky ovlivnila změna dílčích hodnot. Možná je také úprava konzistence párových srovnání a další interakce mezi řešitelem a rozhodovatelem.

Agregace se provádí jako klasické násobení matic, ve třívrstvém modelu sestavíme matici **W**, kde řádky odpovídají jednotlivým variantám, sloupce kritériím a prvky w_{ij} tvoří do sloupců zapsané vektory vah vypočítané z odpovídajících matic $\mathbf{S_j}$, kde $\mathbf{S_j}$ je Saatyho matice pro *j*-té kritérium. Matici **W** zprava vynásobíme dříve odvozeným vektorem priorit kritérií. Výsledkem je vektor finálních vah variant. Ve vícevrstvém modelu tento postup opakujeme až do dosažení nejnižší úrovně (vektor variant).

Postup je demonstrován na závěr podkapitoly na příkladu.

1.4.2 Expertní soudy

Vzhledem k využívání subjektivních úsudků metoda přímo vybízí k vytváření celých skupin rozhodovatelů. Agregaci názorů rozhodovatelů je možné provádět na několika úrovních. Jednou možností je průměrování jejich názorů hned při vytváření párových srovnání. Podle Saatyho[9] je jediným způsobem, jak udržet reciprocitu párových srovnání, využití geometrického průměru. V případě, že názorům rozhodovatelů nepřikládáme stejnou váhu, pak váženého geometrického průměru.

Pokud jsou rozhodovatelé odborníci a jejich názory nechceme znehodnotit agregací, je možné vyhodnotit pro každého experta model zvlášť a z výsledných vektorů preferencí například vypočítat geometrický průměr. Pokud nemají názory expertů stejnou váhu, je také možné výsledek získat sestavením klasické Saatyho matice s experty jako prvky.

Skupinová rozhodnutí pomocí metody AHP a její elementární stupnice splňuje všechny podmínky Arrowova obecného teorému možnosti[10] známého z teorie společenského výběru[11].

1.4.3 Kritiky metody

Díky svojí popularitě a rozšířenosti přitahuje metoda AHP po celou dobu svoji existence pozornost odborníků a výzkumníků, z nichž mnozí ji podrobili kritice. Konstruktivní kritika převážně formou vědeckých článků a případné odpovědi autora pomáhají metodu rozvíjet a jsou ku prospěchu jejím uživatelům. Vzhledem k tomu, že kritika se většinou týká základů metody společných pro AHP i ANP, uvádím několik jejích nejdůležitějších bodů.

Jedním z výrazných kritiků metody AHP je J. S. Dyer z University of Texas. Ve svém shrnujícím článku z roku 1990[12] kritizuje několik částí metody. Konkrétně poukazuje na vágnost a nejasnost otázek pokládaných rozhodovateli. Kritizuje axiomatickou základnu metody představenou Saatym v roce 1986[13], která je podle něj ve srovnání například s axiomy Neumannovy-Morgensternovy teorie užitku příliš popisná a není možné její jednotlivé axiomy empiricky ověřit.

[9] Saaty, T. L. a L. G. Vargas – *Decision Making with the Analytic Network Process*, [10, s. 23]
[10] Fiala, P. – *Modely a metody rozhodování*, [3, s. 243]
[11] Saaty, T. L. a L. G. Vargas – *Decision Making with the Analytic Network Process*, [10, s. 25]
[12] Dyer, J. S. – *Remarks on the Analytic Hierarchy Process* [2]
[13] Saaty, T. L. – *Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process* [8]

Za hlavní problém metody pak Dyer považuje nestabilitu pořadí variant při rozšíření množiny variant. To je podle něj příznakem nahodilosti a svévolnosti pořadí variant generovaných metodou AHP. V článku na příkladech dokládá, že hierarchické skládání vektorů (násobení vektoru vah kritérií vektory variant pro jednotlivá kritéria) vždy produkuje nahodilé pořadí variant, které nemusí odpovídat skutečným preferencím rozhodovatele. Jedno z řešení je podle Dyera zavedení zpětné vazby mezi kritéria a varianty a použití supermatice (metoda ANP). To je ale podle něj limitováno rychle rostoucím počtem požadovaných párových srovnání a ještě nejasnějšími otázkami pro rozhodovatele. Dobrým řešením by podle něj bylo propojení metody AHP s vícekriteriální metodou užitku, tedy přechod na intervalové hodnocení variant místo relativního párového srovnání.

V odpovědi na Dyerův článek Saaty argumentuje[14], že u relativních hodnocení variant je nestabilita generovaného pořadí variant zamýšlenou vlastností metody a ne chybou. Při změně množiny variant totiž rozhodovatel získává dodatečnou informaci, původní vektor vah kritérií by se proto měl přehodnotit. (Přidání identické kopie již zařazené varianty může mít opodstatněný vliv na pořadí všech variant.) V podobném duchu reagují P. T. Harker a L. G. Vargas, kteří ve svém článku[15] poukazují na chyby v Dyerově argumentaci a nefunkčnost jím navrhované úpravy metody AHP.

Zajímavý souhrn kritiky metody přináší článek[16] H. A. Donegana, F. J. Dodda a T. B. M. McMastera. Metodě vytýkají nepřesnost a vágní definici základní škály, neuzavřenost škály pro násobení, Saatyho důraz na platnost aritmetických operací v rámci srovnání a závislost metody na irelevantní variantě. Jako důsledek těchto nedostatků označují metodu jako nadhodnocující rozdíly mezi variantami a jedná se podle nich *de facto* o kvalitativní hodnocení místo udávaného kvantitativního.

Hlavním přínosem článku je snaha autorů o definování fungující algebry na Saatym dané fundamentální škále. Jednou z možností je vyjádřit párová srovnaní na křivce funkce, která má asymptotické vlastnosti vzhledem ke krajním bodům škály. Autoři navrhují jako počáteční aproximaci inverzní hyperbolický tangens. Předkládají navíc zajímavý příklad, kdy studenti měli hodnotit poměr délek dvou kusů papíru pomocí Saatyho fundamentální škály. Zprůměrované soudy studentů vykazují vysokou korelaci s hodnotami funkce $tanh^{-1}$.

1.4.4 Ilustrační příklad použití AHP

Pro ilustraci použití metody AHP pokračuji v příkladu z minulé podkapitoly zabývajícím se výběrem dopravního prostředku pro cesty do práce (Cíl). Množinu kritérií tvoří {pořizovací cena, náklady, image, pohodlí} a doplnil jsem množinu variant {automobil, městská hromadná doprava, bicykl, chůze}. Matice párových srovnání kritérií je uvedena v tabulce 1.2, zbývají tedy čtyři matice párových srovnání variant podle jednotlivých kritérií a následně agregace výsledných preferencí.

[14] Saaty, T. L. – *An Exposition on the AHP in Reply* [7]
[15] Harker, P. T. a Vargas L. G. – *Reply to „Remarks on the Analytic Hierarchy Process"* [4]
[16] Donegan, H. A., Dodd F. J. a McMaster T. B. M. – *A New Approach to AHP Decision-Making* [1]

(Pozn. U minimalizačních kritérií, jako pořizovací cena, kdy je menší cena preferována před vyšší, je třeba se ptát: „S ohledem na pořizovací cenu, kolikrát je varianta *a* lepší než varianta *b*?“)

Při pohledu na výsledky párových srovnání (Tab. 1.7) lze konstatovat, že například varianta automobil logicky vítězí, co se týče pohodlí a dobře si vede i v image. Naopak u nákladových kategorií je variantou nejméně preferovanou. Finální rozhodnutí tak záleží hlavně na vahách jednotlivých kritérií.

Pořizovací cena	*auto*	*MHD*	*kolo*	*pěš.*	w_i	**Náklady**	*auto*	*MHD*	*kolo*	*pěš.*	w_i
auto	1	1/8	1/8	1/9	**0,037**	*auto*	1	1/7	1/8	1/9	**0,036**
MHD	8	1	1	1/2	**0,258**	*MHD*	7	1	1/2	1/4	**0,163**
kolo	8	1	1	1/2	**0,258**	*kolo*	8	2	1	1/3	**0,257**
pěšky	9	2	2	1	**0,447**	*pěšky*	9	4	3	1	**0,544**
Image	*auto*	*MHD*	*kolo*	*pěš.*	w_i	**Pohodlí**	*auto*	*MHD*	*kolo*	*pěš.*	w_i
auto	1	7	4	9	**0,641**	*auto*	1	6	7	5	**0,624**
MHD	1/7	1	1/2	3	**0,109**	*MHD*	1/6	1	2	1/4	**0,088**
kolo	1/4	2	1	5	**0,202**	*kolo*	1/7	1/2	1	1/5	**0,057**
pěšky	1/9	1/3	1/5	1	**0,047**	*pěšky*	1/5	4	5	1	**0,232**

Tab. 1.7 – Matice párových srovnání s vektory vah

Vektor vah kritérií odvozený v minulé podkapitole má podobu $\mathbf{w}^T$= (0,510; 0,328; 0,053; 0,110). Indexy konzistence (C. I.) uvedených matic párových srovnání jsou po řadě {0,014; 0,058; 0,030; 0,076}, všechny čtyři jsou tedy přijatelně konzistentní. V tabulce 1.8 je matice **W** s variantami v řádcích a kritérii ve sloupcích.

W	*Pořizovací cena*	*Náklady*	*Image*	*Pohodlí*
auto	0,037	0,036	0,641	0,624
MHD	0,258	0,163	0,109	0,088
kolo	0,258	0,257	0,202	0,057
kůň	0,447	0,544	0,047	0,232

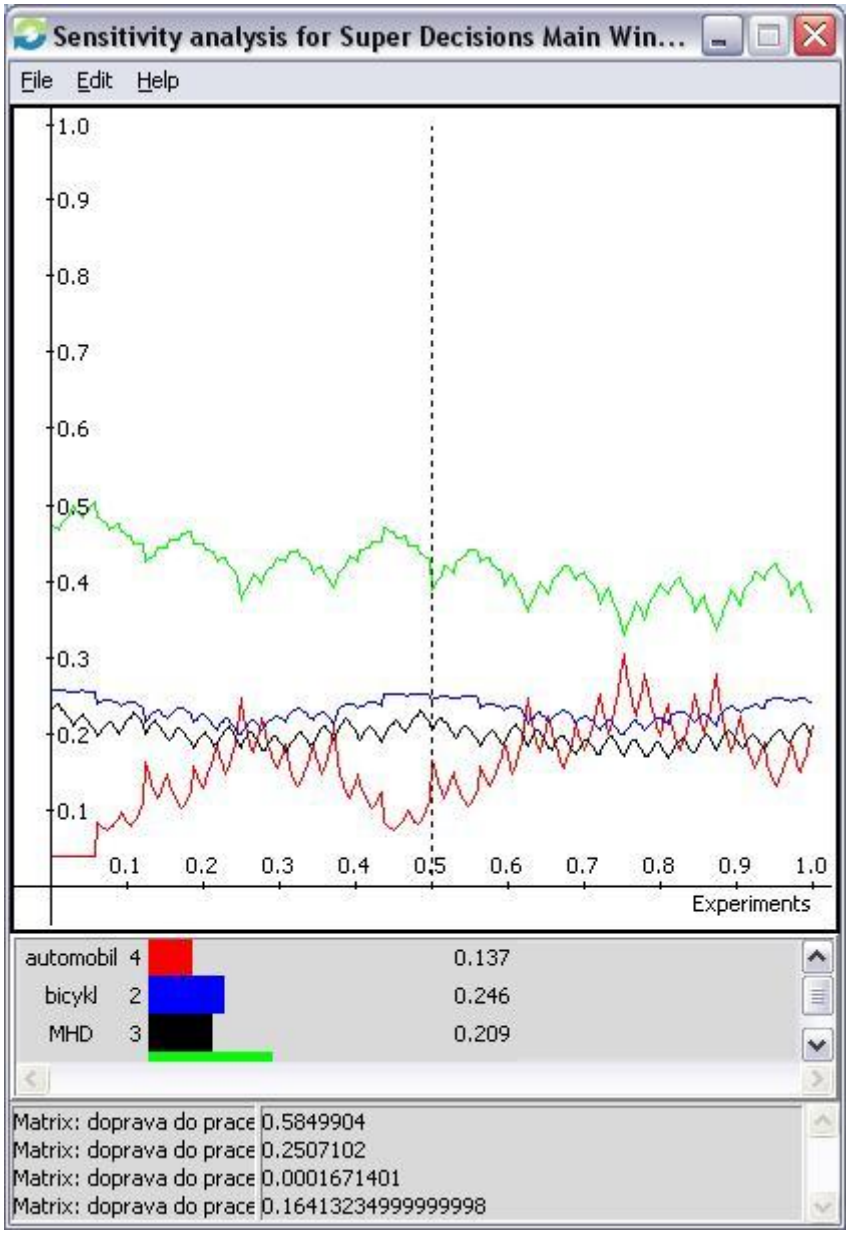
Tab. 1.8 – Matice vah variant podle kritérií

Po vynásobení matice **W** vektorem **w** zprava již dostaneme finální vektor preference variant vzhledem k volbě dopravního prostředku, tedy cíli rozhodování:

$$\mathbf{w}_{\mathbf{fin}}^{\mathbf{T}} = (0{,}133; 0{,}200; 0{,}233; 0{,}434)\,.$$

Jako vítězná varianta je poměrně jednoznačně vybráno chození pěšky, zejména pro svojí nízkou pořizovací cenu a dlouhodobé náklady. Pokud bychom nehledali pouze vítěze, ale šlo by nám o pořadí variant, druhá by skončila jízda na kole, třetí městská hromadná doprava a poslední koupě automobilu. Mezi nevítěznými variantami jsou ale jen malé rozdíly.

V rámci analýzy citlivosti bych se soustředil na zkoumání vlivu vah kritérií na výsledné pořadí variant. To se nejlépe demonstruje na grafu (obr. 1.9).



Obr. 1.9 – Analýza citlivosti variant na vahách kriterií v programu Super Decisions

Graf zachycuje chování variant při 256 různých kombinacích vah kritérií. Přitom jsem omezil hodnoty vah variant na interval 30 % kolem hodnot, které vyšly v matici párových srovnání. Například váha kriteria *pořizovací cena* tedy nabývá hodnot od 0,35 do 0,65. Je vidět, že pořadí variant je na těchto intervalech relativně stabilní, vždy vítězí varianta *chůze*.

Všechny propočty k příkladu jsou k opět k nahlédnutí v přiloženém excelovém souboru.

1.5 Analytic Network Process

Po porozumění metodě AHP je dalším logickým krokem její zobecnění na metodu ANP.

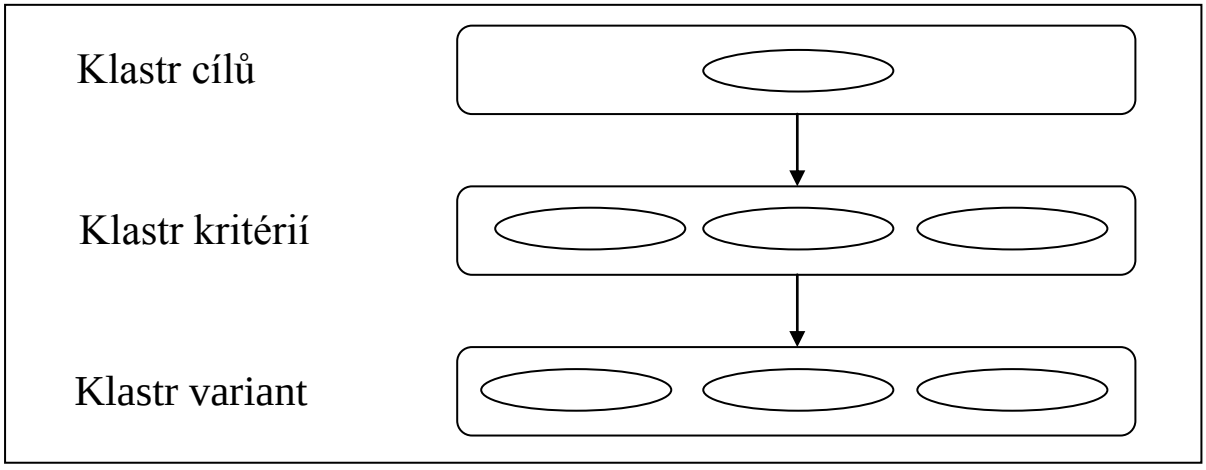
1.5.1 Síťová struktura

Hlavním rozdílem mezi metodami AHP a ANP je, že ANP se vzdává některých omezení. Není třeba dodržovat hierarchickou strukturu, vazby a závislosti mohou existovat mezi všemi úrovněmi (o úrovně se v ANP v pravém slova smyslu nejedná, homogenní skupiny prvků se nazývají klastry). Vazby v ANP mohou vést mezi klastry obousměrně, což značí zpětnou vazbu, nebo může mít klastr vazbu sám na sebe, což znamená vnitřní závislost prvků. Co mají obě metody společného, jsou párová srovnání, každá vazba mezi klastry znamená jednu nebo více matic párových srovnání.

Vzhledem k tomu, že metoda ANP se snaží vysledovat, jak se prvky v modelu navzájem ovlivňují, neptáme se při párovém srovnávání ani tak po preferenci vzhledem k nadřazenému prvku, jako spíš:

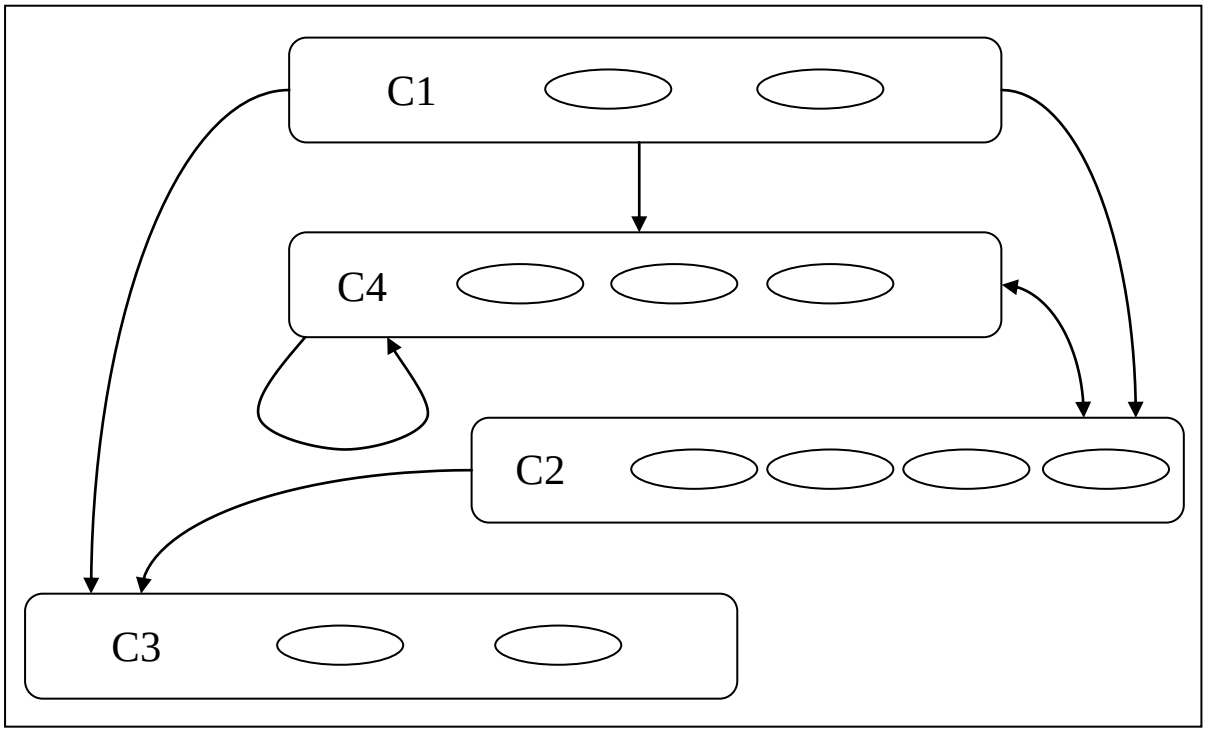
„Kolikrát větší vliv má prvek *i* než prvek *j* na daný prvek *k*?“

Jedinou podmínkou pro tvorbu sítě přitom zůstává, že všechny části musí být propojeny aspoň jednou vazbou. Pokud by některé části zůstaly nezávislé, nemělo by smysl se ptát na jejich vzájemný vliv.



Obr. 1.10 – Třívrstvá hierarchie v síťovém zobrazení

Na obrázku 1.10 je pro srovnání zachycena opět jednoduchá třívrstvá hierarchie, jako v minulé podkapitole, tentokrát jako síť. Na obrázku 1.11 pak příklad modelu ANP.



Obr. 1.11 – Příklad modelu metody ANP

Klastry obvykle označujeme písmenem *C*. Takový klastr, z kterého vazby pouze vychází (C1), je označován jako zdrojový klastr[17], a takový, do kterého vazby pouze vstupují (C3) jako klastr koncový. Ostatní klastry jsou nazývány průběžné (C2, C4). Síť může obsahovat libovolný počet zdrojových a koncových klastrů (i žádné). Na obrázku 1.11 je možno si všimnout vnitřní vazby u klastru C4, naznačené smyčkou, a zpětné vazby mezi klastry C4 a C2 značené oboustrannou šipkou.

Jedním z rozeznávaných typů sítí se zpětnou vazbou je **holarchie**. Od hierarchie se liší pouze tím, že přímo neobsahuje žádný cíl. Klastr variant může představovat například různé scénáře vývoje modelovaného systému a vypočítané váhy variant pak jejich pravděpodobnost. Nejnižší úroveň v holarchii (varianty) má vliv na vrchní vrstvu, čímž vzniká cyklus nepřímých vlivů v celém modelu. Struktura holarchie je na obrázku 1.14.

1.5.2 Supermatice

V metodě ANP se agregace výsledků provádí pomocí takzvané supermatice. Ta se skládá z N x N bloků, kde N je celkový počet klastrů v síti. Klastry značíme symbolem C_h, $h = 1, \ldots, N$. Každý klastr má n_h prvků, které značíme $e_{h1}, e_{h2}, \ldots, e_{hn_h}$. Na obrázku 1.12 je taková supermatice schematicky zobrazená.

[17] Saaty, T. L. a L. G. Vargas – *Decision Making with the Analytic Network Process*, s. 9

$$
W = \begin{array}{c|c}
 & \begin{array}{ccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_N \\ e_{11}e_{12}\cdots e_{1n_1} & e_{21}e_{22}\cdots e_{2n_2} & & e_{N1}e_{N2}\cdots e_{Nn_N} \end{array} \\
\begin{array}{c} C_1 \\ \\ \\ \\ C_2 \\ \\ \\ \\ C_N \\ \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ e_{1n_1} \\ e_{21} \\ e_{22} \\ \vdots \\ e_{2n_2} \\ e_{N1} \\ e_{N2} \\ \vdots \\ e_{Nn_N} \end{array} & \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ W_{N1} & W_{N2} & \cdots & W_{NN} \end{bmatrix}
\end{array}
$$

Obr. 1.12 – Supermatice úplné sítě o *N* klastrech[18]

Bloky supermatice $\mathbf{W_{ij}}$ (obr. 1.13) odpovídají svoji strukturou matici **W** z metody AHP. Jsou to buď nulové matice, pokud mezi danými klastry neexistuje vazba, nebo obsahují vektory vah odvozené z matic párových srovnání prvků v klastru C_i vzhledem k prvkům v klastru C_j, pokud mezi prvky odpovídající vazba existuje.

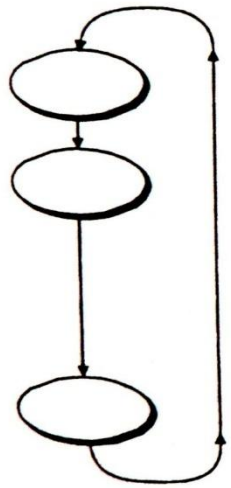
$$
\mathbf{W_{ij}} = \begin{bmatrix} W_{i1}^{(j_1)} & W_{i1}^{(j_2)} & \cdots & W_{i1}^{(jn_j)} \\ W_{i2}^{(j_1)} & W_{i2}^{(j_2)} & \cdots & W_{i2}^{(jn_j)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ W_{in_i}^{(j_1)} & W_{in_i}^{(j_2)} & \cdots & W_{in_i}^{(jn_j)} \end{bmatrix}
$$

Obr. 1.13 – Jeden blok supermatice

Do supermatice je samozřejmě možné zachytit i obyčejnou hierarchii o *n* úrovních, použity jsou pouze bloky na diagonále o jednu pozici pod hlavní diagonálou – srovnání kritérií podle cíle, subkritérií podle kritérií, v posledním řádku pak jsou párová srovnání variant. Blok

[18] Saaty, T. L. a L. G. Vargas – *Decision Making with the Analytic Network Process* [10]

v posledním sloupci a řádku pak obsahuje jednotkovou matici **I** (každá varianta v hierarchii závisí pouze sama na sobě)[19].



$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \bullet & \bullet & \bullet & 0 & W_{1,n} \\ W_{21} & 0 & 0 & \bullet & \bullet & \bullet & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & 0 & \bullet & \bullet & \bullet & 0 & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & W_{n-1,n-2} & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & 0 & \bullet & \bullet & \bullet & W_{n,n-1} & 0 \end{bmatrix}$$

Obr. 1.14 – Struktura a supermatice holarchie

Získanou supermatici je ještě před finálním výpočtem třeba převést na matici sloupcově stochastickou – tedy takovou, aby suma každého sloupce byla jedna. Doporučeným procesem je získat párovým srovnáním samotných klastrů (mezi sebou) jejich vektor priorit a jím pak vynásobit celou supermatici. Tím vznikne takzvaná **vážená supermatice**. Alternativně je možné všechny prvky prostě vynásobit konstantou $1/m$ (m je počet srovnávaných klastrů), tím ale utrpí kvalita modelu, protože všechny klastry obvykle nejsou stejně významné.

Konečně s váženou supermaticí můžeme přistoupit k poslednímu kroku výpočtu, umocnit ji na dostatečně velké číslo a získat aproximaci stabilní **limitní matice**. Umocněním se vyrovnají všechny zpětné vazby a vztahy uvnitř supermatice a výsledná limitní matice již dává definitivní odpověď na otázku, jakým způsobem a jak silně který prvek ovlivňuje všechny ostatní prvky. Výsledný **vektor vah variant** najdeme v supermatici v libovolném sloupci v klastru variant, pro lepší interpretaci je možné tento vektor znormovat (součet prvků = 1) nebo nejlepší variantu určit jako ideální a ostatní vyjádřit jako její zlomky.

Všechny kroky metody budou opět ilustrovány v příkladu na závěr podkapitoly. Matematické podrobnosti výpočtu a odpovídající matematickou teorii lze podrobněji nastudovat v Saatyho publikacích [8], [10].

1.5.3 Postup modelování

Vzhledem k větší složitosti modelů metody ANP je klíčové se při jejich vytváření chovat systematicky a pokud možno dodržet následující kroky.

[19] Saaty, T. L. a L. G. Vargas – *Decision Making with the Analytic Network Process*, [10, str. 11]

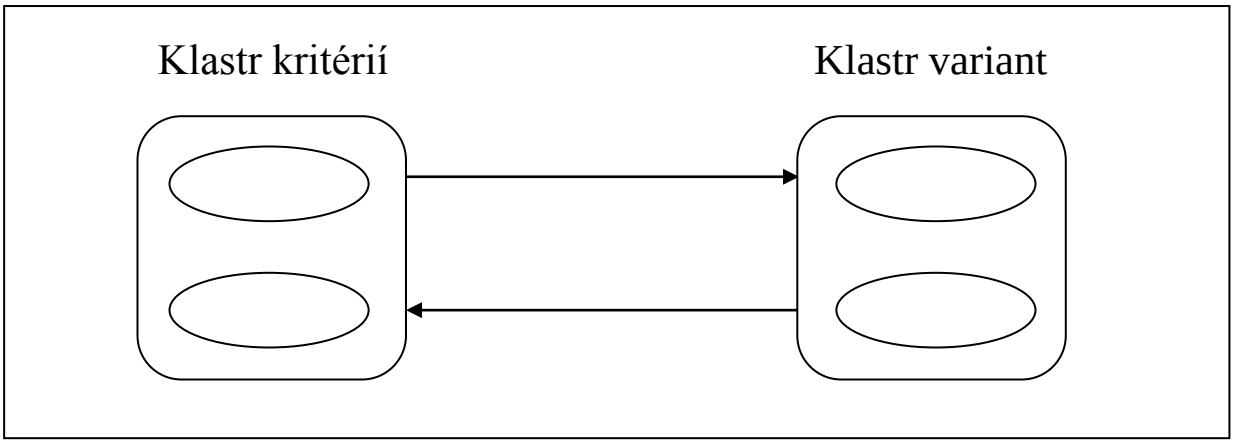
1) Důkladné promyšlení celého modelu, nalezení všech prvků, jejich rozdělení do klastrů a určení vazeb mezi klastry. Asi nejobtížnější moment při vytváření modelu je uvést všechny vazby tam, kde dávají smysl, a naopak neuvádět je jinde.
2) Pro všechny vazby vytvořit párová srovnání odpovídajících prvků. Může jít o velké množství matic, a pokud mají mít výsledky hodnotu, je třeba všechna srovnání provést s rozmyslem a mít na zřeteli konzistenci jednotlivých soudů.
3) Zanesení dat do supermatice, pokud je třeba její vážení, následně umocnění supermatice a nalezení finálních vektorů vah.
4) Interpretace výsledků, analýza citlivosti a případná úprava modelu.

1.5.4 Ilustrační příklad použití ANP

Pro ilustraci možností síťového přístupu k rozhodovacím problémům lze použít stejný problém volby dopravního prostředku do práce, který jsem uvedl již u metody AHP. V hierarchii se postupuje pouze jedním směrem, nejprve je zvážena důležitost kritérií, jsou provedena jejich párová srovnání. Následně jsou srovnávány varianty podle kritérií a agregací získán výsledek. Takhle jednoduše ale přece lidský mozek nefunguje.

Při hodnocení variant a kriterií je možno se ptát nejen: „S ohledem na cenu kolikrát je chození pěšky lepší než ježdění na kole?“ Stejně dobře je možno se zeptat i: „Kolikrát důležitější vlastností chození pěšky je pohodlí než pořizovací cena?“ Tato zpětná vazba je vlastně alternativou k párovému srovnání kritérií vzhledem k hlavnímu cíli (jako v hierarchii), která umožňuje rozhodovateli přesněji vystihnout realitu.

Kvůli větší přehlednosti a snížení počtu nutných matic párových srovnání jsem se omezil pouze na varianty {bicykl, chůze} a kritéria {pořizovací cena, image}. Není ani třeba určovat jeden hlavní cíl jako v hierarchii. Síť o dvou klastrech pak vypadá následovně (obr. 1.15):



Obr. 1.15 – Ilustrační model ANP

V tabulce 1.16 jsou uvedeny 4 potřebné matice párových srovnání včetně vygenerovaných vektorů priorit ***w***. Pro matice párových srovnání dvou prvků není třeba kontrolovat index konzistence, v reciproké matici druhého řádu totiž k nekonzistenci nemůže dojít.

Pořizovací cena	*kolo*	*pěšky*	w_i	**Image**	*kolo*	*pěšky*	w_i
kolo	1	1/2	**1/3**	*kolo*	1	5	**5/6**
pěšky	2	1	**2/3**	*pěšky*	1/5	1	**1/6**
Kolo	*p. cena*	*image*	w_i	**Pěšky**	*p. cena*	*image*	w_i
pořizovací cena	1	1/3	**1/4**	*pořizovací cena*	1	8	**8/9**
image	3	1	**3/4**	*image*	1/8	1	**1/9**

Tab. 1.16 – Matice párových srovnání

Z párových srovnání vyplývá, že zatímco chození pěšky je podle rozhodovatele slabě preferováno co se pořizovací ceny týče, image má výrazně vyšší ježdění na kole. Naopak při posuzování kritérií, pro rozhodování o chození pěšky dominuje výhodná pořizovací cena, u ježdění na kole hraje sice slabou, ale nezanedbatelnou roli image. Získané vektory priorit dosadíme do supermatice modelu. (Tab. 1.17)

Supermatice		**Kritéria**		**Varianty**	
		p. cena	*image*	*kolo*	*pěšky*
Kritéria	*p. cena*	0	0	1/4	8/9
	image	0	0	3/4	1/9
Varianty	*kolo*	1/3	5/6	0	0
	pěšky	2/3	1/6	0	0

Tab. 1.17 – Supermatice modelu

Vzhledem k počtu vazeb v modelu jsou nenulové jen dva klastry a supermatice tak je sloupcově stochastická. Není tedy třeba provádět vážení, respektive vážená supermatice je totožná s neváženou. Zbývá tedy poslední krok výpočtu, nalezení limitní supermatice. Podle tvaru matice je zřejmé, že limita neexistuje, již po několika málo krocích umocňování ale dostáváme cyklus stabilních hodnot s periodou 3. V takovém případě se jako sloupec limitní matice bere průměr hodnot v jednotlivých krocích nekonečného cyklu[20]. Všechny sloupce limitní supermatice jsou shodné.

[20] Saaty, T. L. a L. G. Vargas – *Decision Making with the Analytic Network Process*, [10, str. 34]

Limitní supermatice		Kritéria		Varianty	
		p. cena	*image*	*kolo*	*pěšky*
Kritéria	*p. cena*	0,2619	0,2619	0,2619	0,2619
	image	0,2381	0,2381	0,2381	0,2381
Varianty	*kolo*	0,2857	0,2857	0,2857	0,2857
	pěšky	0,2143	0,2143	0,2143	0,2143

Tab. 1.18 – Limitní supermatice modelu

Z tabulky 1.18 můžeme vyčíst finální vektor priorit variant $\mathbf{w}_{\mathbf{fin}}^{\mathbf{T}}$ = (0,2857; 0,2143) po znormování (0,5714; 0,4286). Varianta koupě bicyklu při takto formulovaném modelu tedy mírně převažuje nad variantou chození pěšky. Při hierarchickém postupu přitom díky vysoké váze kritéria *pořizovací cena* naprosto dominovalo chození pěšky.

Analýzu citlivosti v tomto ilustračním případě vypustím, vzhledem k malému rozsahu modelu by neměla příliš smysl.

1.5.5 Praktické aplikace metody ANP

Díky svojí obecnosti a dobrému zachycení komplexních systému nachází metoda ANP uplatnění v nejrůznějších disciplínách lidské činnosti. Saaty vydal několik publikací soustředících se na aplikace metody, převážně vytvořené ve spolupráci se svými žáky a kolegy. Spektrum témat přitom zahrnuje makroekonomické predikce, doporučení pro management firem, analýzu geopolitických konfliktů nebo třeba rozbor zásobování energií v USA.

Jedním z typů aplikací, který si zaslouží zvláštní zmínku, jsou odhady podílu na trhu[21]. Do modelu jsou zadány všechny relevantní faktory ovlivňující chování trhu (např. charakteristiky produktu, marketingové strategie, segmentace trhu) a jako varianty jsou uvedeny konkurenční podniky nebo produkty. Model pak na základě experty prováděných párových srovnání vygeneruje vektor procentního zastoupení variant na trhu. Tato aplikace dává při zanedbatelných nákladech velmi kvalitní výsledky, které se příliš neodchylují od empiricky zjištěných hodnot.

Dalším významným typem aplikací jsou modely BOCR[22]. BOCR je zkratka pro Benefits, Opportunities, Costs and Risks (česky přínosy, příležitosti, náklady a rizika). Metoda se dá použít na nejrůznější situace, kde varianty tvoří množina možných (strategických) rozhodnutí a rozhodovatel chce komplexně analyzovat jejich následky. Jedná se o obdobu známé SWOT metody z teorie managementu a marketingu, analyzující silné a slabé stránky výrobku či firmy.

[21] Saaty, T. L. a L. G. Vargas – *Decision Making with the Analytic Network Process*, [10, str. 21]
[22] Saaty, T. L. a L. G. Vargas – *Decision Making with the Analytic Network Process*, [10, str. 13]

Systém modelu BOCR tvoří klastr **cíl** (volba rozhodnutí) a **čtyři hlavní podsítě** (BOCR), z nichž každá má definovanou vlastní strukturu podsítí, kriterií, případně subkritérií. Každá podsíť na nejnižší úrovni musí obsahovat klastr variant (možná rozhodnutí). Pro jednotlivé podsítě jsou vytvořeny supermatice a vygenerovány samostatné vektory vah variant a ty jsou daným způsobem agregovány. Autor doporučuje agregaci pomocí vzorce

$$w_i = bB + oO + c(1 - C) + r(1 - R)\,,$$

kde *b*, *o*, *c* a *r* jsou konstanty získané hodnocením relativních přínosů BOCR pro celkový cíl na základě stanovených **strategických kritérií** a *B*, *O*, *C* a *R* jsou vektory vah variant z jednotlivých podsítí. Alternativními způsoby agregace, pokud nechceme určovat váhy hlavních podsítí, jsou například

$$w_i = B + O - cC - rR\,,$$

$$w_i = B + O + \frac{1}{C} + \frac{1}{R}\,,$$

$$w_i = \frac{B * O}{C * R}\,.$$

Ilustrační příklad modelu BOCR zachycuje možné základní schéma rozhodování o budoucnosti jaderné energetiky v České republice[23].

Cíl: Rozhodnout o koncepci jaderné energetiky v horizontu 20 let

Strategická kritéria: Názor domácí veřejnosti, mezinárodní reakce a kapacita energetického systému.

Varianty: Budování dalších bloků jaderných elektráren (1), udržování současného stavu (2) nebo postupné omezování jaderné energetiky (3). Klastr variant se opakuje v každé podsíti nejnižší úrovně (v tomto schématu Přínosy, Příležitosti atd.) a není ve schématu vypisován.

BOCR:

- Přínosy (B)
  - Ekonomické
    - Energetika
    - Dodavatelé
    - Pracovní příležitosti
    - Rozvoj vzdělání
  - Sociální
    - Místní rozvoj
    - Zaměstnanost

[23] Ministerstvo průmyslu a obchodu – Státní energetická koncepce [29]

    - Životní prostředí
        - Omezení uhelných elektráren
        - Revitalizace
- Příležitosti (O)
    - Ekonomické
        - Energetický trh
        - Rozvoj trhu
        - Návratnost investice
    - Sociální
        - Rozvoj regionu
        - Zaměstnanost
- Náklady (C)
    - Ekonomické
        - Investice do výstavby
        - Budování infrastruktury
        - Cena pozemků
        - Import energií
    - Sociální
        - Stěhování z oblasti
        - Obavy z jaderné katastrofy
    - Životní prostředí
        - Vliv na lokální klima
        - Jaderný odpad
- Rizika (R)
    - Ekonomická
        - Nedostatek elektrické energie
        - Omezení dalších odvětví energetiky
    - Politická
        - Volební téma
        - Zahraniční reakce
    - Sociální
        - Zdravotní rizika

Výše uvedená struktura by mohla být ještě rozšířena o další vrstvu, kde by se z **klastrů** (ekonomické přínosy, sociální přínosy) staly samostatné podsítě, z prvků (energetika, dodavatelé) klastry a pod nimi by byly definovány nové jemnější prvky. Vztahy a zpětné vazby je možné podle uvážení definovat mezi klastry a prvky v rámci každé podsítě, hlavní je neopomenout klastr variant v každé podsíti na nejnižší úrovni.

1.6 Makroekonomická aplikace

Aplikační část této práce se zabývá makroekonomickým prognózováním. Následující podkapitolu proto věnuji stručnému shrnutí potřebné teorie.

1.6.1 Prognózování v makroekonomii

Základní dělení prognostických metod je na kvantitativní a kvalitativní. Naprostá většina metod používaných v současné době ve vědecké práci i běžné ekonomické praxi vychází z kvantitativního přístupu. Tvorba kvantitativních makroekonomických predikcí je jednou z hlavních náplní ekonometrie.

Příkladem kvantitativních metod jsou lineární regresní model (jednorozměrné prognózování), modely simultánních rovnic, ARIMA modely nebo modely vektorových autoregresí a modely korekce chyby (vícerozměrné metody). Samostatnou skupinu tvoří modelování založené na simulaci Monte Carlo. Neekonometrické kvantitativní metody vychází z postupů používaných v operačním výzkumu, teorie neuronových sítí či genetických algoritmů[24].

Za kvalitativní metody jsou označovány predikce založené na expertních soudech. Ať už se jedná o jednorázové predikce vydávané skupinami expertů nebo vycházející z delších organizovaných procesů, jako je například delfská metoda (způsob etapového dotazování, kdy jsou v dalších kolech dotazy zpřesňovány, výsledky se statisticky zpracovávají). Metoda ANP by se v tomto dělení dala nejlépe zařadit jako kvalitativní využívající kvantitativních postupů.

Hlavní předností kvantitativních metod je, že se zpravidla opírají o rozsáhlý matematický a statistický aparát. Výsledkem výpočtu je bodový nebo intervalový odhad s jasně stanovenou pravděpodobností události. Vedlejším produktem je fakt, že výsledky produkované některou z výše uvedených metod požívají jistou implicitní důvěryhodnost. Kvantitativní postupy také při dostupnosti dostatečného množství dat a výkonného softwarového produktu kladou menší nároky na řešitele.

Obrovskou výhodou matematických modelů je také možnost otestovat schopnosti modelu predikcí „ex post“ a porovnat výsledky s realitou. Samozřejmě věrnost odhadu v minulosti nutně neznamená úspěšnost v budoucnosti.

Nevýhodou kvantitativních přístupů je především náročnost na data. Většina ekonometrických modelů potřebuje data určitých vlastností, aby byla zajištěna kvalita jejich výsledků. Při používání dat z reálné ekonomiky se ekonometr často potýká s autokorelací náhodných složek, multikolinearitou časových řad nebo nestacionaritou dat. S rostoucí složitostí odhadovaného modelu také klesá počet stupňů volnosti modelu.

Naopak metody kvalitativní mají minimální nároky na skutečná data a mohou zahrnovat takřka libovolné množství faktorů a proměnných. Nevýhodou je jistá vágnost výsledků

[24] Hušek, R. – *Ekonometrická analýza*, [6, str. 259]

a nemožnost určení intervalů spolehlivosti. Jedinou zárukou smysluplnosti a věrohodnosti kvalitativních prognóz je jméno jejich autora nebo autorů.

Uplatnění nacházejí makroekonomické predikce v krátkodobém i dlouhodobém strategickém rozhodování jak na úrovni států tak i soukromých podniků, optimalizaci hospodářské politiky a zpětné analýze jejích důsledků.

1.6.2 Hrubý domácí produkt a jeho měření

Jako konkrétní modelovaný ukazatel hospodářské prosperity jsem si vybral hrubý domácí produkt (HDP). Ačkoliv má HDP, jako každý ukazatel, svoje problémy, je nejrozšířenějším a obecně uznávaným měřítkem prosperity států. Jedná se o peněžní vyjádření nově vyprodukovaných služeb a výrobků na území státu za dané časové období. Pro účely hodnocení vývoje ekonomiky mě zajímá roční relativní přírůstek tohoto ukazatele. Český statistický úřad ve svých časových řadách pro srovnatelnost používá cenovou hladinu roku 2000[25] a toho se budu ve své práci držet i já.

Skutečný výpočet HDP je poměrně komplikovaný proces, který zaměstnává řadu lidí na plný úvazek. Český statistický úřad publikuje první odhady tohoto agregátu se značným časovým odstupem, (u čtvrtletních dat 70 dní po skončení období) postupně je zpřesňuje podle nových údajů z národního účetnictví a definitivní hodnota je stanovena až po několika letech od konce relevantního období. Navíc při použití odlišné metodiky (např. úprava o vliv počtu pracovních dní v období) a aproximací některých procesů v ekonomice lze získat i značně se lišící hodnoty.

Obecně se HDP určuje třemi způsoby, produkční metodou, výdajovou metodou a důchodovou metodou. Produkční metoda používá data z výroby, kdy od hodnoty nově vzniklé produkce odečítá hodnotu mezispotřeby (suroviny použité k výrobě, které byly vyrobeny jinde a byly by tak započítány dvakrát). Výdajová metoda naopak vychází z dat o celkové spotřebě, od které se odečte saldo zahraničního obchodu. Konečně důchodová metoda sčítá různé formy prvotních důchodů v ekonomice. Následují vzorce pro výpočet jednotlivými metodami.

HDP = produkce – mezispotřeba + daně z produktů − dotace na produkty. (Produkční)

HDP = výdaje na konečnou spotřebu + tvorba hrubého kapitálu + vývoz výrobků a služeb − dovoz výrobků a služeb. (Výdajová)

HDP = náhrady zaměstnancům + daně z výroby a dovozu – dotace + čistý provozní přebytek + čistý smíšený důchod + spotřeba fixního kapitálu. (Důchodová)

Český statistický úřad pak svoje čtvrtletní odhady publikuje na základě výběrových dat získaných z podniků a domácností. Ty vyhodnotí produkční a výdajovou metodou a rozdílné výsledky srovná procesem bilancování[26].

[25] Český statistický úřad – Hrubý domácí produkt [16]
[26] Český statistický úřad – Metodika národního účetnictví [18]

2 Software

Tato kapitola je věnována softwarovým produktům usnadňujícím řešení vícekriteriálních rozhodovacích problémů. Obsahuje základní popis práce v programu Super Decisions, sloužícímu k řešení modelů metody ANP.

2.1 Software pro vícekriteriální rozhodování

Současná nabídka programů pro podporu rozhodování je poměrně rozsáhlá a různorodá. Od jednoduchých volně šiřitelných programů vytvářených na katedrách univerzit, cílených na studenty a akademické pracovníky, až po robustní komerční produkty spoléhající na grafické efekty a marketingovou podporu oslovující zákazníky z řad velkých korporací a vládních agentur. Cena takových produktů může dosahovat tisíců dolarů, většina ale pro zájemce nabízí na vyzkoušení aspoň omezenou licenci zdarma.

S rozmachem internetu se v posledních 10 až 15 letech rozšířila také nabídka řešení problémů online. Některé firmy již ani neposkytují program v klasickém pojetí, pouze za poplatek umožní klientům přístup do aplikace umístěné na webu. Konkurence nabízí online řešení problémů operačního výzkumu jako alternativu k zakoupení programu. Pro vývojáře softwaru je to výhodné, protože jim to umožňuje snadno nasbírat velké množství dat o potenciálních zákaznících.

Nepovažuji za smysluplné zde uvádět výčet všech dostupných programů, protože takový seznam by pravděpodobně stejně nebyl kompletní a rychle by zastaral. Zájemce odkazuji na Institute for Operation Research and the Management Sciences, vydávající časopis **Operation Research/Management Science Today**[27], který mimo jiné pravidelně vytváří seznamy softwaru ze všech odvětví operačního výzkumu a každé dva roky také přehled programů na podporu rozhodování[28]. V seznamu jsou uváděny programem podporované rozhodovací metody, možnosti programu a existence případné zkušební licence.

Rád bych zde zmínil několik příkladů programů, které skutečně dokáží řešit modely metody ANP. Ze zástupců komerční sféry bych uvedl program Expert Choice[29], zaměřený hlavně na metodu AHP, ale umožňující i zpětné vazby. Expert Choice nabízí patnáctidenní omezenou zkušební licenci. Dalším produktem, který už se soustředí přímo na ANP je program Decision Lens[30], vyvíjený za podpory Saatyho projektu **Creative Decisions Foundation**[31] a řízený Saatyho rodinou.

[27] Institute for Operation Research Management Science – Internetové stránky časopisu [25]
[28] Decision Analysis Software Survey [30]
[29] Expert Choice – Internetové stránky organizace [24]
[30] Decision Lens – Internetové stránky organizace [22]
[31] Creative Decisions Foundation – Internetové stránky organizace [12]

Creative Decisions Foundation je zajímavým počinem Saatyho a jeho ženy Rozann, který má za cíl shromažďovat články a projekty související s vícekriteriálním rozhodováním, metodami AHP a ANP a programy pro jejich řešení. Soudě dle rozsahu databáze článků se ale zatím projekt moc nerozběhl. Hlavním cílem organizace je správa a vývoj nekomerčního programu pro řešení ANP nazvaného Super Decisions, kterému je věnován zbytek kapitoly.

2.2 Super Decisions

Program je momentálně ve fázi beta, to znamená testování a příprava pro finální verzi, přičemž aktuální verze 2.0.8 byla vydána 1. července 2009. Tato testovací verze je šířena zdarma, po krátké registraci na stránkách http://superdecisions.com/ je zájemci přiděleno licenční číslo, které platí půl roku. Po uplynutí je možné licenci bez problémů prodloužit.

Cílem této podkapitoly není poskytnout kompletní českou dokumentaci k programu, je předpokládána aspoň základní orientace v programech pro operační systém MS Windows (verze, kterou popisuji). Pro detailnější informace může čtenář konzultovat volně dostupný vyčerpávající anglický manuál[32].

2.2.1 Základní popis programu

Po nainstalování zabírá program skromných 14 MB a i k dalším systémovým zdrojům je velmi šetrný. Je distribuován ve verzi pro operační systémy Windows 95/98/NT/2000/ME, Linux ix86, Dec/Alpha, Solaris a SGI Irix6.2, podle mých zkušeností ale bez problémů běží například i pod Windows XP. Program je standardně v angličtině, ale modelovací prostředí podporuje i znaky jiných jazyků, včetně češtiny.

Během používání programu jsem se nesetkal s žádným limitem výkonu nebo počtu proměnných modelu. Není prakticky možné navrhnout a zadat do programu natolik komplikovaný model, že by ho program nezvládl vyřešit. Bohužel současná verze programu není zcela stabilní, takže čas od času dochází k chybám, po kterých je třeba program restartovat. Doporučuji proto rozdělanou práci na modelu pravidelně ukládat.

Program nenabízí přímý export nebo import dat z/do tabulkového editoru, existuje možnost data exportovat do textového souboru a ten jde pak snadno importovat například do MS Excel. Vlastní formát modelů vytvořených v Super Decisions má koncovku mod, jde ale o běžný textový soubor, který lze editovat libovolným textovým editorem. Program navíc nabízí možnost vytvoření přehledné kompletní zprávy (Full Report), buď ve formátu pro tisk, nebo jako přehledný html soubor.

Součástí instalace programu je i zhruba 40 vzorových modelů, zahrnující jak triviální ukázky o dvou klastrech, tak i rozsáhlé praktické úlohy s víceúrovňovou strukturou. Prozkoumání těchto příkladů je pravděpodobně nejrychlejší cestou jak se s možnostmi programu seznámit.

[32] Adams W. J. L. a Saaty R. – *Super Decisions Software Guide* [10]

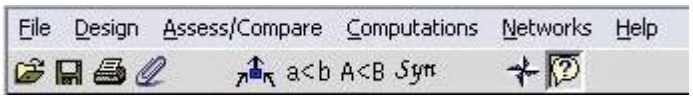
2.2.2 Prostředí

Komunikace s prostředím programu probíhá v systému oken. Po spuštění se otevře základní okno (obr. 2.1), které je i nejvyšší úrovní případného modelu.

Obr. 2.1 – Vstupní okno programu Super Decisions

Specifikem ovládání programu je, že většina úkonů jde udělat hned několika způsoby. Běžné činnosti jako vytváření klastrů a prvků (v Super Decisions nazývány uzly) mají klávesovou zkratku, veškeré činnosti jde provádět z lišty a pomocí několika ikon a konečně při kliknutí pravým tlačítkem myši na různé prvky modelu se rozbalí nabídka souvisejících příkazů. V tomto popisu nebudu uvádět všechny způsoby pro určitou proceduru, většinou se omezím na způsob podle mého názoru nejpohodlnější. Při delším používání programu bych ale doporučoval si vyzkoušet všechny.

Vzhledem k univerzálnosti používání lišty a ikon se soustředím na jejich popis (obr. 2.2).



Obr. 2.2 – Ovládací lišta v Super Decisions

Záložka **File** (soubor) nabízí standardní příkazy jako nový model (New), uložení (Save), otevření již existujícího modelu (Open), tisk (Print) a ukončení programu (Exit). Důležitá položka Export umožňuje snadné vyexportování matic modelu do textového souboru. **Design** (návrh) skrývá veškeré potřebné příkazy pro tvoření prvků modelu.

Assess/Compare (porovnej) slouží k přechodu do módu srovnávání uzlů (Node Comparisons) a klastrů (Cluster Comparisons). Pod položkou **Computations** (výpočty) pak nalezneme veškeré supermatice modelu (Unweighted, Weighted a Limit Super Matrix),

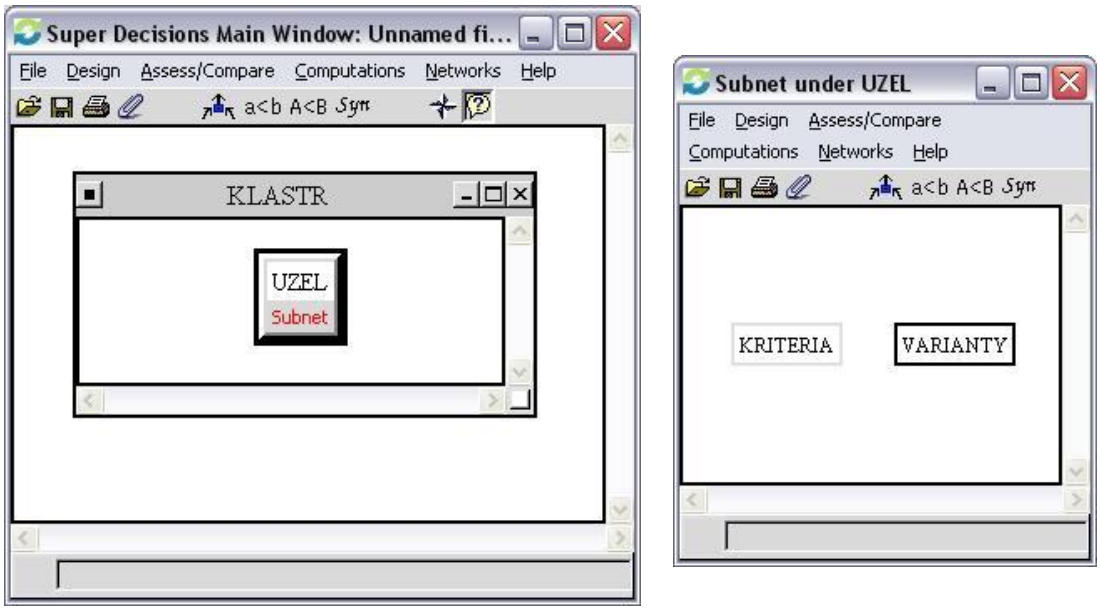
priority jednotlivých uzlů (Priorities), výsledné vektory vah (Synthesize) a příkaz pro spuštění analýzy citlivosti (Sensitivity). Důležitý je také příkaz kompletní zpráva (Full Report) k tisku nebo exportu celkového shrnutí modelu.

Položka **Networks** (sítě) pomáhá k lepší orientaci, pokud má model více úrovní a je třeba se pohybovat mezi okny. **Help** (nápověda) vyvolává nápovědu. Co se týče ikon na liště (obr. 2.2), první tři jsou obecně známé (otevřít, uložit, tisk), ikona v podobě sponky umožňuje připnout k modelu přílohy v externích souborech kancelářských programů jako MS Excel nebo Word.

Klíčová ikona zapíná a vypíná mód vytváření vazeb mezi uzly a klastry modelu. Další tři duplikují po řadě příkaz pro párová srovnání uzlů, klastrů a syntézu výsledného vektoru vah variant. Konečně ikona směrové hvězdice umožňuje po zapnutí najetím na uzel zobrazit, s kterými uzly je provázán, a ikona s bublinou zapíná a vypíná popisky systému (rychlá nápověda při najetí myší).

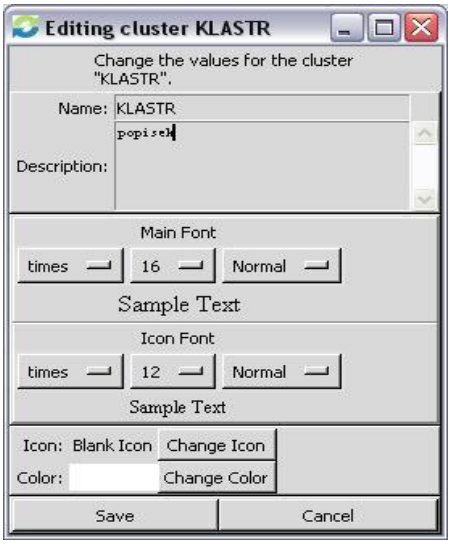
2.2.3 Tvorba modelu

Po otevření nového modelu (základní okno programu) je třeba nejprve vytvořit klastry sjednocující tematicky podobné prvky modelu (klastr kritérií, variant, atd.). Do klastrů pak umisťujeme prvky, v Super Decisions nazývané uzly (Nodes). Ty mohou reprezentovat například jednotlivá kritéria. Ke každému uzlu je možno přiřadit podsíť (Subnet), která se otevře v novém okně nadepsaném jménem daného uzlu. Jedná se vlastně o vsunutý model, který může obsahovat další libovolné struktury. Tak je možno snadno zachytit mnohovrstvý problém. Ilustrace na následujícím obrázku (obr. 2.3):



Obr. 2.3 – Příklad klastrů, uzlů a podsítí

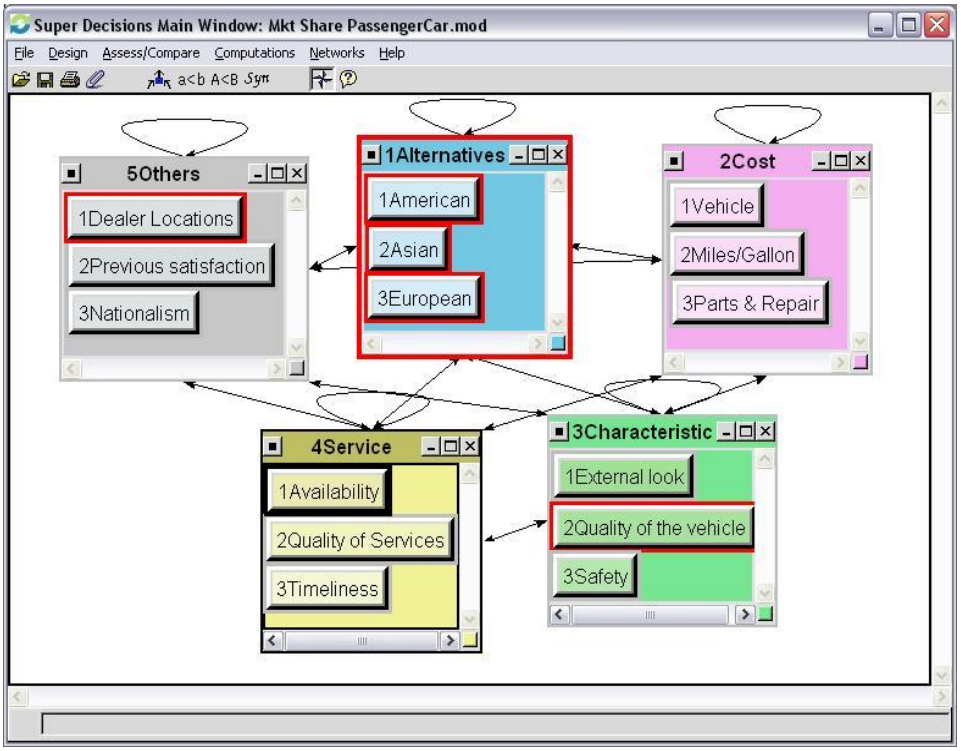
Po grafické stránce je program Super Decisions velmi omezený a jednoduchý. Přesto nabízí několik možností jak zvýraznit části modelu pro větší přehlednost a lepší dojem při případné prezentaci. U každého klastru a uzlu je možné zadat několik vlastností. Jde o název, popisek, velikost textu a font, barvu pozadí klastru a případně určit ikonku, která klastr zastupuje při grafickém zobrazení super matice. (Obr. 2.4)



Obr. 2.4 – Vlastnosti klastru

2.2.4 Vazby a párová srovnání

Po definování všech relevantních prvků modelu přichází na řadu nejdůležitější fáze. Je třeba určit vazby mezi prvky v rámci jednotlivých sítí a sestavit matice párových srovnání.



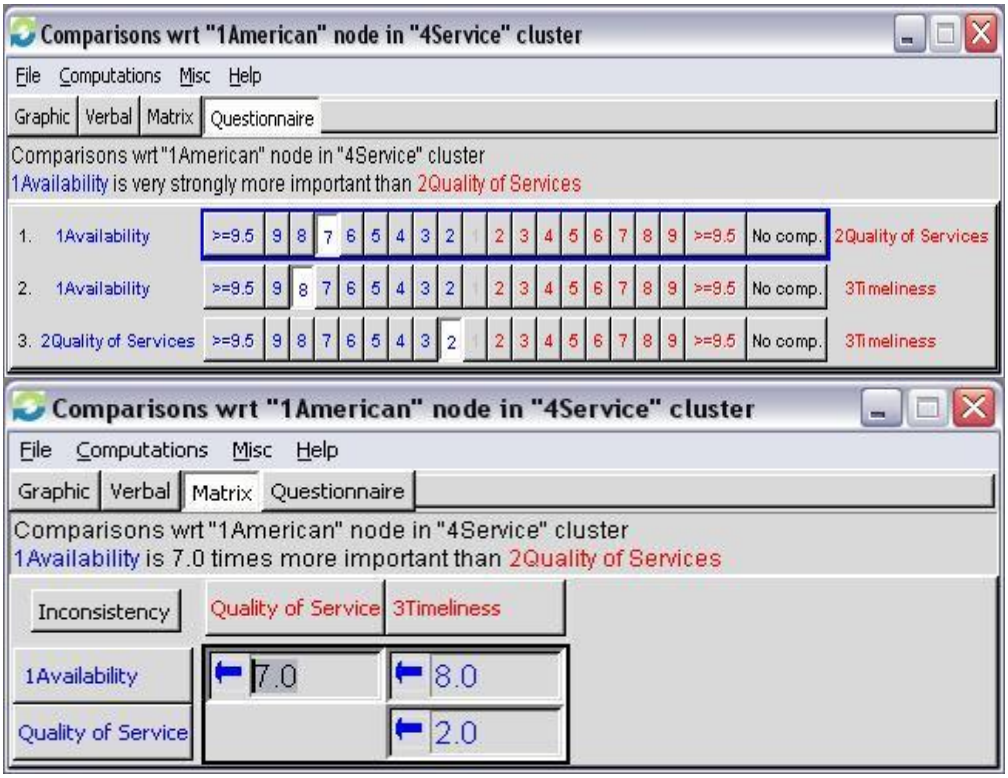
Obr. 2.5 – Ukázka sítě se zvýrazněnými vazbami

Zadávání vazeb je celkem jednoduché, při zapnuté ikoně zadávání vazeb klikneme levým tlačítkem na zvolený uzel a pravým označujeme uzly, které na něj mají vliv. (Například v jednoduché hierarchii bychom od každého kritéria vyznačili vazby ke všem variantám.) Je zásadní u této části postupovat rozvážně a mít model dobře promyšlený. Na obrázku 2.5 je ukázková síť s červeně vyznačenými uzly, které mají vliv na černě obtažený uzel dostupnost (Availability) v modelu podílů na trhu osobních vozů.

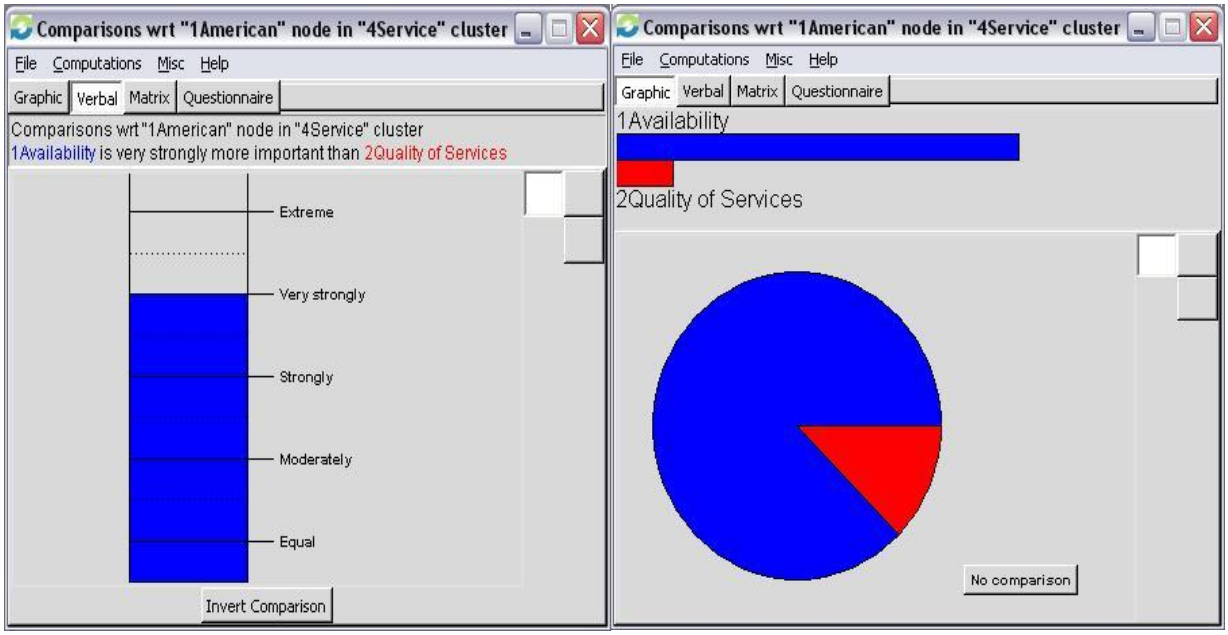
V momentě, kdy jsou vazby ve všech sítích modelu určené, je na čase přistoupit k párovým srovnáním uzlů a klastrů. V případě, že na daný uzel má vliv jen jeden uzel z jiného klastru, má tento vliv váhu jedna. Pokud jich je víc a odpovídající matici párových srovnání necháme nevyplněnou, předpokládá program rovnoměrný vliv. Pokud mají na uzel v daném klastru vliv uzly z několika klastrů, tento klastr nevyjímaje, je třeba provést také párové srovnání klastrů. Jinak jsou váhy pro vytvoření vážené supermatice rozděleny rovnoměrně.

Samotné párové srovnávání probíhá v samostatném okně a program nabízí hned čtyři formy zadávání hodnot. Tyto čtyři formy jsou: **Questionnaire** (dotazníková), **Matrix** (maticová), **Verbal** (slovní) a **Graphic** (grafická). Poslední možností je v nabídce různé (Misc) vložit již hotové priority (Direct data entry). Čtyři způsoby zadávání srovnání jsou na obrázcích 2.6 a 2.7.

Základním způsobem, ze kterého program vychází, je zadávání pomocí matice. Na obrázku 2.6 si je možno všimnout, že program pro úsporu uvádí jen buňky nad hlavní diagonálou Saatyho matice párových srovnání.



Obr. 2.6 – Dotazníková a maticová forma párového srovnávání



Obr. 2.7 – Zadávání párových srovnání slovně a na grafu

Uživatel si může vybrat, která forma zadávání mu nejlépe vyhovuje a přináší nejpřesnější výsledky. Mně osobně se nejvíce osvědčilo zadávání pomocí dotazníku.

Důležité je průběžně při zadávání párových srovnání kontrolovat konzistenci našich soudů. V módu zadávání srovnání (obr. 2.6 a 2.7) v záložce výpočty (Computations) si můžeme nechat najít buňku matice, která se nejvíce liší od očekávané konzistentní hodnoty v závislosti na ostatních buňkách (Most inconsistent). Případně nechat vypsat celou zprávu o nekonzistenci (Basic Inconsistency Report), která obsahuje i index konzistence, jak byl uvedený v popisu metody AHP. Na obrázku 2.8 ho najdeme ve sloupci nazvaném Old Inconsist (původní index).

Další sloupce zprávy o nekonzistenci obsahují pořadí podle nekonzistence (Rank), srovnávané prvky v řádku a sloupci Saatyho matice (Row, Column), hodnotu expertního soudu (Current Val.), hodnotu, která by byla konzistentní dle ostatních soudů (Best Val.) a absolutní a relativní příspěvek dané buňky k indexu konzistence matice (New Inconsist., % Improvement).

Inconsistency Report

Rank	Row	Col	Current Val	Best Val	Old Inconsist.	New Inconsist.	% Improvement
1.	4Service	5Others	4.000000	1.519343	0.057308	0.032019	44.13 %
2.	2Cost	3Characteristic	9.000000	20.936517	0.057308	0.038700	32.47 %
3.	1Alternatives	2Cost	7.000007	3.547591	0.057308	0.042863	25.21 %
4.	1Alternatives	3Characteristic	5.000000	2.441572	0.057308	0.044165	22.93 %
5.	2Cost	5Others	6.000000	3.435551	0.057308	0.047755	16.67 %
6.	2Cost	4Service	7.000000	11.627213	0.057308	0.050790	11.37 %
7.	3Characteristic	4Service	2.000000	1.335479	0.057308	0.052878	7.73 %
8.	3Characteristic	5Others	3.000003	3.857555	0.057308	0.055497	3.16 %
9.	1Alternatives	5Others	1.000000	1.142241	0.057308	0.056944	0.63 %
10.	1Alternatives	4Service	2.000000	2.122534	0.057308	0.057168	0.24 %

Obr. 2.8 – Zpráva o nekonzistenci

Doporučuji konzistenci kontrolovat pravidelně hned po zadání srovnání, program sám od sebe na vysokou nekonzistenci neupozorňuje.

2.2.5 Výpočetní fáze

Program automaticky zanáší vygenerované vektory vah z párových srovnání do nevážené supermatice (Unweighted Super Matrix v záložce Computations). Všechny tři supermatice je možné zobrazit jednak v grafické podobě (Graphic), která je o něco přehlednější a respektuje zvolené barvy klastrů, a v textové podobě (Text), která je úspornější a je v ní možné najednou zobrazit velké množství dat (obr. 2.9).

Super Decisions Main Window: Mkt Share PassengerCar.mod: Unweighted Super Matrix

Cluster	Node Labels	2Cost			3Characteristic			4Service	
		1Vehicle	2Miles/Gallon	3Parts & Repair	1External look	2Quality of the vehicle	3Safety	1Availability	2Quality of Services
1Alternatives	1American	0.785391	0.134929	0.366650	0.457875	0.121957	0.268368	0.814213	0.075057
	2Asian	0.148815	0.783772	0.582022	0.126007	0.558425	0.117221	0.113982	0.333216
	3European	0.065794	0.081299	0.051328	0.416117	0.319618	0.614411	0.071805	0.591728
2Cost	1Vehicle	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	1.000000	1.000000	0.000000	0.750000
	2Miles/Gallon	0.500000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	3Parts & Repair	0.500000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.250000
3Characteristic	1External look	0.163424	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	2Quality of the vehicle	0.539615	1.000000	1.000000	0.500000	0.000000	1.000000	1.000000	1.000000

Done

Super Decisions Main Window: Mkt Share PassengerCar.mod: Unweighted Super Matrix

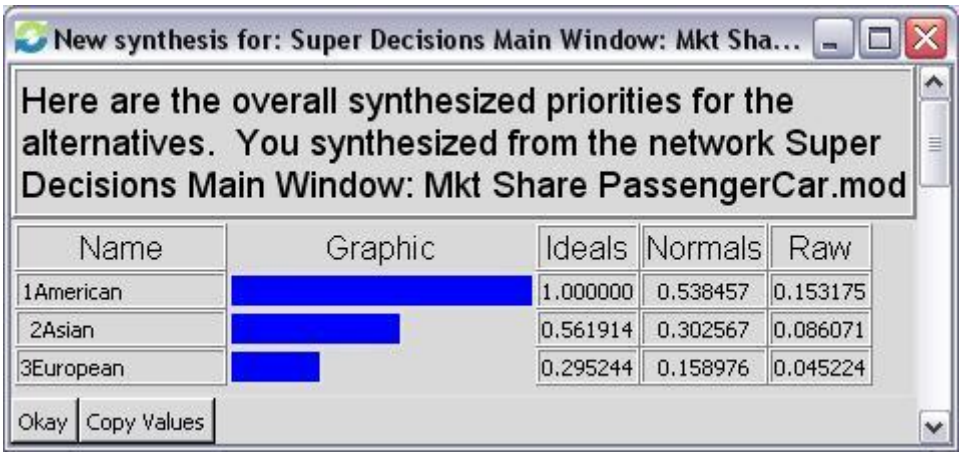
	1Americ~	2Asian	3Europe~	1Vehicle	2Miles/~	3Parts ~	1Extern~	2Qualit~	3Safety	1Availa~	2Qualit~
1Americ~	0.00000	0.90000	0.90000	0.78539	0.13493	0.36665	0.45787	0.12196	0.26837	0.81421	0.07506
2Asian	0.75000	0.00000	0.10000	0.14882	0.78377	0.58202	0.12601	0.55842	0.11722	0.11398	0.33322
3Europe~	0.25000	0.10000	0.00000	0.06579	0.08130	0.05133	0.41612	0.31962	0.61441	0.07180	0.59173
1Vehicle	0.79276	0.54693	0.78906	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	0.75000
2Miles/~	0.13122	0.34454	0.10312	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3Parts ~	0.07602	0.10853	0.10782	0.50000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.25000
1Extern~	0.14286	0.08522	0.16342	0.16342	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2Qualit~	0.57143	0.64422	0.53961	0.53961	1.00000	1.00000	0.50000	0.00000	1.00000	1.00000	1.00000
3Safety	0.28571	0.27056	0.29696	0.29696	0.00000	0.00000	0.50000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
1Availa~	0.78377	0.10473	0.15706	0.00000	0.00000	0.33333	0.00000	0.80000	0.00000	0.00000	0.33333
2Qualit~	0.13493	0.63699	0.59363	0.00000	0.00000	0.33333	0.00000	0.20000	0.00000	0.00000	0.00000
3Timeli~	0.08130	0.25828	0.24931	0.00000	0.00000	0.33333	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.66667
1Dealer~	0.46667	0.13785	0.20000	1.00000	0.00000	0.25000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.20000
2Previo~	0.06667	0.73243	0.60000	0.00000	1.00000	0.75000	0.00000	1.00000	1.00000	0.00000	0.80000
3Nation~	0.46667	0.12972	0.20000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Obr. 2.9 – Grafická a textová podoba nevážené supermatice

Z nevážené supermatice je pomocí vektoru vah klastrů, získaného například párovým srovnáním klastrů proti sobě, odvozena vážená supermatice. Program pak nabízí několik způsobů, jak získat limitní supermatici a z ní finální vektor priorit. Výše popsané teorii odpovídá standardně zvolený typ výpočtu, tedy umocňování dostatečně velkým číslem (volba Calculus).

Konečně vektory vah uzlů v jednotlivých klastrech právě prohlížené sítě lze vyvolat příkazem **Priorities** (preference). Pokud je navíc někde v modelu klastr nazvaný anglicky Alternatives (varianty), funguje i příkaz **Synthesize** (generuj), který vyvolá zprávu o finálním vektoru vah variant v celém modelu (obr. 2.10).

Váhy jsou uvedeny třemi způsoby odpovídajícími různé interpretaci. Je na uživateli, která podoba nejlépe vyhovuje jeho dalším záměrům. Sloupeček **Ideals** (idealní varianta) bere variantu s největší váhou jako ideál a ostatní udává jako její podíly. Vhodný způsob, pokud chceme porovnávat výsledky variant mezi sebou. **Normals** (normalizované varianty) udává váhy normalizované tak, aby se jejich součet rovnal jedné. Standardní způsob, na který jsme zvyklí z metody AHP. Konečně sloupeček **Raw** (hrubé hodnoty) je vektor přímo odečtený z limitní supermatice. Ty jsou vhodné, jde-li jen o mezikrok delšího výpočtu.



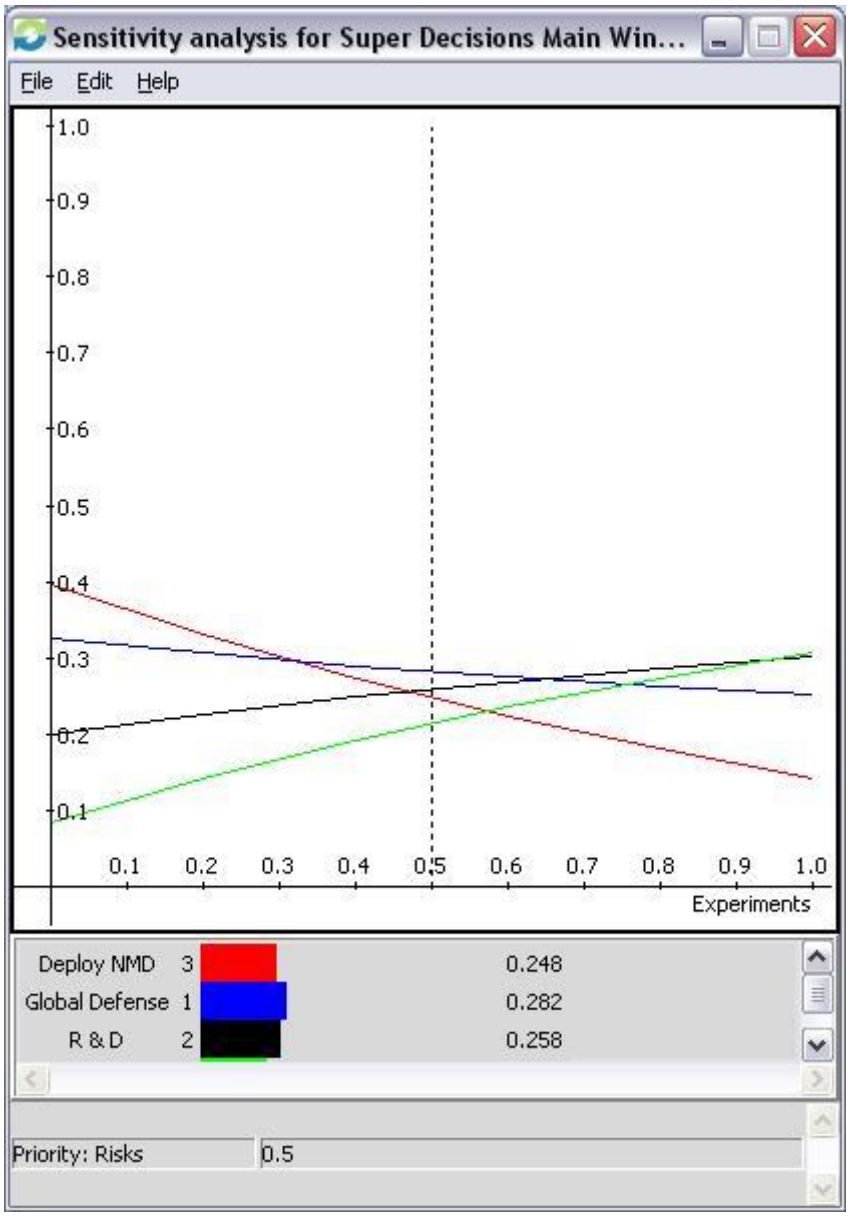
Obr. 2.10 – Finální vektor vah variant modelu

2.2.6 Analýza citlivosti

Posledním důležitým krokem modelování je provést analýzu citlivosti. Super Decisions umožňuje vykreslovat citlivostní graf pro každou síť v modelu. Uživatel si volí jednu nebo více nezávislých proměnných a intervaly, v kterých se tyto proměnné můžou pohybovat. Nezávislými proměnnými mohou být výsledné váhy prvků, váhy klastrů, váhy prvků v rámci klastrů a dokonce i jednotlivá párová srovnání. Program pak dosazuje všechny možné kombinace zvolených proměnných na zadaných intervalech a do grafu vykresluje výsledné váhy variant (v modelu musí být klastr pojmenovaný Alternatives).

Typickým použitím je zkoumání citlivosti variant v jednotlivých podsítích modelu BOCR v závislosti na kritériích nižší úrovně a celková analýza pro různé váhy sítí B, O, C a R. Na obrázku 2.11 je na ose *x* jako závislá proměnná normalizovaná váha variant a na ose *y* jako nezávislá proměnná měnící se váha rizik projektu (R).

Graf lze interpretovat tak, že pokud je na rizika projektu kladen malý důraz (< 0,3), vítězí varianta značená červenou barvou, při váze rizik kolem 0,5 převládá modrá varianta a při kladení extrémního důrazu na rizika projektu si dobře vedou zelená a černá varianta.



Obr. 2.11 – Citlivostní analýza v závislosti na rizicích projektu

2.2.7 Závěrečné shrnutí

Pokud bych měl shrnout svoje zkušenosti s programem Super Decisions, jedná se o efektivní nástroj k řešení úloh metody ANP. Drobné problémy, na které jsem při používání narazil, se dají omluvit nekomerčností programu a tím, že program je zatím ve vývojové fázi.

Moje výhrady k programu:

- Dokázal bych si představit jednodušší ovládání u zadávání párových srovnání, omezit počet oken, která uživatel musí proklikat.
- Nebylo by na škodu, zvlášť pokud má program sloužit i jako učební pomůcka, uvést přímo v nápovědě nebo dokumentaci vzorce použité pro výpočet. Třeba výpočet konzistence není pro uživatele příliš srozumitelný.

- Program občas ohlásí chybu při manipulaci s hlavním oknem, nikdy se mi ale nestalo, že bych přišel o neuloženou práci.
- Mělo by být možné určit klastr variant i jiným způsobem, než názvem obsahujícím anglické slovo Alternatives.
- Moje poslední výhrada je ke zpracování analýzy citlivosti, jejíž ovládání je poměrně komplikované, nepříliš funkční a mohlo by být lépe vysvětleno v nápovědě.

Seznam svých výhrad a komentářů k programu jsem odeslal jako zpětnou vazby autorům z Creative Decisions Foundation.

3 Aplikace a analýza výsledků

Pro aplikační část své práce jsem si jako téma vybral predikci hospodářského vývoje v České republice. Konkrétním odhadovaným ukazatelem je hrubý domácí produkt. Horizonty predikce jsem stanovil dva, jeden krátký, vývoj HDP v reálných (stálých) cenách v roce 2011, pro kontrolu chování modelu a otestování jeho přesnosti. Schopnosti dlouhodobější predikce metodou ANP pak prověřuje model s šestiletým horizontem, tedy vývoj HDP v reálných cenách do roku 2016.

V úvodu popíšu některé vlastnosti české ekonomiky a uvedu popisná makroekonomická data, ze kterých model vychází. Zmiňuji také další významné faktory, které byly při tvorbě modelu brány v úvahu. Hlavní náplní je popis modelu, párových srovnání a analýza výsledků. Na závěr kapitoly jsou výsledky metody srovnány s různými zveřejněnými prognózami získanými konvenčními metodami.

3.1 Úvod do situace

Na konci osmdesátých let 20. století vyrazila Česká republika na dlouhou cestu transformace z ekonomiky centrálně řízené na ekonomiku tržní. Po několika vlnách privatizace a sanaci bank v 90. letech zažívala ČR na začátku 21. století díky vytrvalému přílivu zahraničního kapitálu období strmého ekonomického růstu a prosperity. Globální ekonomická krize v roce 2008 toto období razantně ukončila a zdůraznila nevyhnutelnost zásadních systémových reforem.

V současnosti můžeme sledovat snahy o reformu zdravotnictví a penzijního systému, v nejbližších letech bude ale třeba hovořit také o reformě státní správy, soudnictví či radikálních změnách v koncepci školství. Současný trend vývoje státního dluhu je dlouhodobě neudržitelný. Jak se s těmito problémy česká společnost vyrovná, bude mít zásadní vliv na hospodářskou prosperitu v následujících letech.

Malá otevřená česká ekonomika je po celou svoji moderní historii závislá na vývoji v okolních zemích. Kolem 80 % obratu zahraničního obchodu obstarávají země Evropské unie, na prvním místě s Německem[33]. Je proto zřejmé, že situace v Německu a obecně Eurozóně bude kritická pro výkon českého průmyslu a celé ekonomiky. Nejistá budoucnost společné měny Eura vzhledem k současným problémům některých členských států dostát svým závazkům také značně komplikuje odhad dlouhodobé měnové a rozpočtové politiky v ČR.

Přestože vláda ČR i centrální banka zatím stále vyhlašují za cíl přibližování se k Maastrichtským kritériím[34], nutným pro vstup do Eurozóny, ke kterému se ČR zavázala při

[33] Český statistický úřad http – Dlouhodobý vývoj zahraničního obchodu České republiky [15]
[34] Zavedení eura v České republice [33]

vstupu do Evropské unie v roce 2004, shoda o tomto rozhodnutí nepanuje ani mezi odborníky ani mezi veřejností. V současnosti není stanoveno žádné pevné datum, s nejvyšší pravděpodobností to ale nebude v příštích pěti letech[35].

V tabulce 3.1 je přehled několika makroekonomických ukazatelů, k jejichž vývoji bylo při vytváření modelu přihlíženo.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Růst HDP (%)	1,9	3,6	4,5	6,3	6,8	6,1	2,5	-4,1	2,3
Inflace (%)	1,8	0,1	2,8	1,9	2,5	2,8	6,3	1,0	1,5
Nezaměstnanost (%)	7,3	7,8	8,3	7,9	7,1	5,3	4,4	6,7	7,3
Kč/EUR	30,8	31,8	31,9	29,8	28,3	27,8	24,9	26,4	25,3
Státní dluh/HDP (%)	16,1	19,1	21,1	23,2	24,9	25,2	27,1	32,5	36,6

Tab. 3.1 – Vybrané české makroekonomické ukazatele od roku 2002[36]

Tabulka 3.2 dokumentuje snahu centrální banky regulovat českou ekonomiku. Na konci roku 2007 a v roce 2008 se ekonomika přehřívala a prudce rostla inflace, centrální banka reagovala zvyšováním sazeb. Od nástupu ekonomické krize naopak vytrvale sazby snižuje ve snaze zlevnit bankovní úvěry, podpořit investice firem a spotřebu domácností a posílit tak zpomalující hospodářský růst.

Datum	2-týdenní repo sazba (%)	Diskontní sazba (%)	Lombardní sazba (%)
30. 11. 2007	3,50	2,50	4,50
8. 2. 2008	3,75	2,75	4,75
8. 8. 2008	3,50	2,50	4,50
7. 11. 2008	2,75	1,75	3,75
18. 12. 2008	2,25	1,25	3,25
6. 2. 2009	1,75	0,75	2,75
11. 5. 2009	1,50	0,50	2,50
7. 8. 2009	1,25	0,25	2,25
17. 12. 2009	1,00	0,25	2,00
7. 5. 2010	0,75	0,25	1,75

Tab. 3.2 – Posledních deset změn sazeb vyhlašovaných ČNB[37]

[35] E15 – komentář premiéra k přijetí Eura [23]
[36] Český statistický úřad – Makroekonomické údaje [17]

Politický systém České republiky je zastupitelská parlamentní demokracie. Hlavní část výkonné moci leží v rukách vlády ČR, sestavované podle složení dolní komory Parlamentu ČR, Poslanecké sněmovny. Volby do Poslanecké sněmovny se řádně konají jednou za čtyři roky. Výraznou většinu hlasů ve volbách tradičně získávají strany středové, se střídajícími se mírnými odchylkami doleva nebo doprava na politickém spektru[38].

Poměrný volební systém sice zajišťuje zastoupení větší části voličstva v Poslanecké sněmovně, jeho slabinou je ale častý vznik menšinových vlád nebo slabých koalic, neschopných prosadit zásadní reformy. Po řádných volbách v květnu 2010 se podařilo sestavit poměrně silnou koalici s podporou 118 poslanců z celkových 200, která ve svém programu vyhlásila záměr reformy prosadit. Zatím ale koalice naráží na vnitřní rozpory a je otázkou, jestli vůbec přežije celé volební období. Vzhledem k rekordně nízké důvěře obyvatelstva ve své volené zástupce[39] se v posledních letech uvažuje o zavedení více prvků přímé demokracie.

V neposlední řadě je třeba také brát v úvahu vlivy prostředí mimo přímou kontrolu člověka. Docházející zásoby ropy tlačí na zvyšování cen pohonných hmot a tím i veškeré dopravy, což v dnešním globalizovaném světě znamená zdražování veškerého zboží. Při současné úrovni znalostí se nezdá pravděpodobné, že by byl v dohledné době nalezen efektivní zdroj energie nezávislý na fosilních palivech. Navíc může dojít k vojenským konfliktům o kontrolu nad významnými nalezišti.

Rozšiřování pouští, extrémní počasí, změna mořských proudů nebo stoupání hladiny moře jsou příklady efektů postupné změny klimatu, které připravují miliony lidí o potravu, pitnou vodu a obydlí a vytvářejí tak silné turbulence na trhu s potravinami. To všechno jsou faktory, které je třeba uvažovat při sestavování kvalitativní předpovědi vývoje ekonomiky v globalizovaném světě.

3.2 Popis modelu

S výše popsanými skutečnostmi na paměti je možné přistoupit k samotnému sestavování predikčního modelu.

3.2.1 Struktura modelu

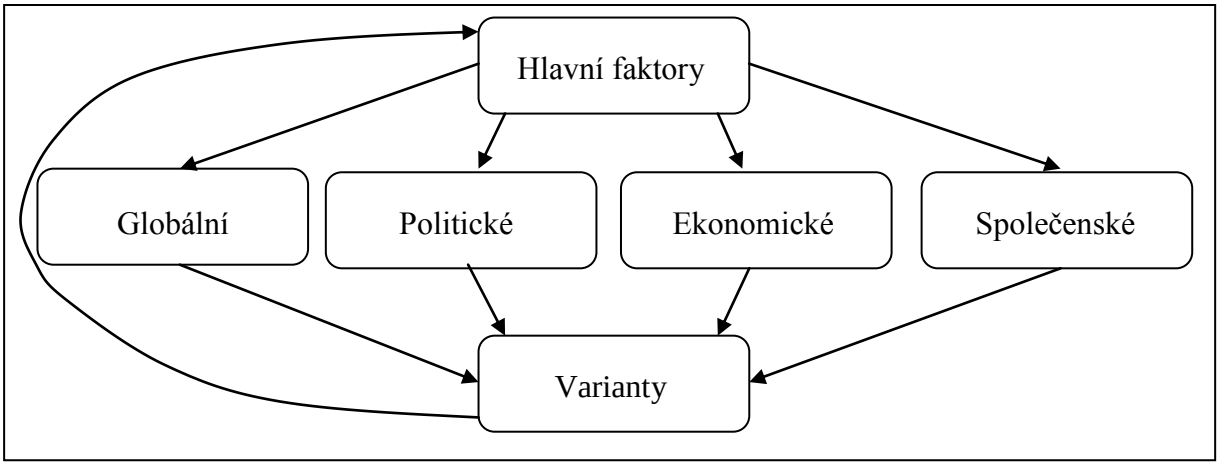
Po vyzkoušení několika přístupů k modelování jsem se rozhodl, že nejlepším kompromisem mezi množstvím vyžadovaných párových srovnání a přesností bude struktura vycházející z holarchie. Závislost hlavních faktorů modelu na variantách uzavírá cyklus nepřímých vlivů v celém modelu. To odpovídá pojetí ekonomiky jako celistvého ekosystému, kde všechno souvisí se vším. Přidávání dalších vazeb mezi prvky modelu s přímým vlivem

[37] Česká národní banka – Měnově politické nástroje, historie sazeb a vysvětlivky [13]
[38] Český statistický úřad – Volby [20]
[39] Středisko empirických výzkumů – Důvěra v Poslaneckou sněmovnu [32]

nepřinášelo podle mých zkušeností mnoho nových informací a značně komplikovalo interpretaci srovnání.

Další možností je přidání jemnějšího členění faktorů na subfaktory, to ale vede k neúnosnému růstu počtu nutných párových srovnání a tím nároků na expertní soudy. Navržený model je díky svojí obecnosti značně flexibilní a je možné ho bez zásadních úprav použít i pro predikce v jiných ekonomikách nebo časových intervalech.

Použitý model má tři úrovně (obr. 3.3) a celkem šest klastrů. Nakonec jsem se rozhodl nepoužít členění přímo na prvky agregátní poptávky a nabídky a místo toho jsem faktory dělil tematicky, tak aby přibližně odpovídaly čtyřsektorovému dělení ekonomiky a tím i výdajové metodě zjišťování HDP.



Obr. 3.3 – Obecné schéma modelu (holarchie)

V následujících odstavcích se věnuji představování prvků modelu a jejich smyslu. Vytváření modelu jsem konzultoval s několika odborníky zabývajícími se makroekonomií, důraz jsem přitom kladl na to, aby žádný důležitý faktor nezůstal opomenutý a zároveň model nebyl příliš rozsáhlý.

3.2.2 Klastr hlavních faktorů

Faktory ovlivňující hospodářský vývoj jsem rozdělil do čtyř tematických skupin. **Globální faktory** sdružují všechny vlivy přicházející do ekonomiky z vnějšku, ze zahraničí. V modelu čtyřsektorové ekonomiky[40] odpovídají zahraničnímu sektoru (model se ale neomezuje jen na kalkulaci čistého exportu). **Politické faktory** zhruba odpovídají veřejnému sektoru. Zahrnují jak přímé vlivy pomocí daní a transferů, tak nepřímé vlivy dalších kroků veřejné správy.

Ekonomické faktory obsahují všechny soukromé ekonomické činitele v rámci státu, poměrně přesně tak kopírují sektor firem z modelu čtyřsektorové ekonomiky. Poslední skupinou jsou **Společenské faktory**, které se soustředí na obyvatelstvo, což zhruba odpovídá

[40] Holman, R. – *Ekonomie*, [5, str. 436]

sektoru domácností. Tyto čtyři skupiny jsou sjednoceny do klastru nazvaného jednoduše **Hlavní faktory**, přičemž jednotlivé prvky jsou vazbou propojeny pouze s prvky ze svého odpovídajícího klastru.

3.2.3 Globální faktory

Klastr globálních faktorů obsahuje následující čtyři prvky: světová stabilita, zahraniční obchod, ceny surovin a technologický pokrok. **Světová stabilita** je poměrně rozsáhlý pojem zahrnující přímé vlivy světových ekonomických, politických i vojenských událostí na vývoj v České republice. Z hlediska relevantního období bude mít pravděpodobně největší vliv směřování Evropské unie a společné evropské měny.

Zahraniční obchod sleduje úroveň českého vývozu a dovozu a situaci v důležitých partnerských ekonomikách. **Ceny surovin** jsou bezesporu jedním z klíčových faktorů v krátkodobé budoucnosti nejen České republiky, ale celého světa. Patří sem zejména cena ropy, která se dnes přímo nebo nepřímo promítá do ceny všech výrobků a služeb. V poslední době ale světovou ekonomiku významně ovlivňují i ceny potravin, pitné vody a dalších strategických komodit.

Posledním faktorem z tohoto klastru je **technologický pokrok**. Tento prvek zahrnuje kromě objevů skutečně ovlivňujících produktivitu práce nebo cenu surovin i další externí vlivy, které nepovažuji za natolik významné, aby měly vlastní prvek v modelu. Příkladem jsou klimatické změny, které sice českou ekonomiku ovlivňují například formou častějších povodní, ale v horizontu jednoho až šesti let by neměly hrát výraznou roli.

3.2.4 Politické faktory

Obsah prvních dvou prvků klastru politické faktory je podle názvu celkem zřejmý. **Fiskální politika** popisuje dopady fiskální politiky vlády, tedy nastavení daní, cel a transferů. Je ovlivňována především složením Poslanecké sněmovny ČR, určeným ve volbách. **Monetární politika** by měla být méně závislá na politické reprezentaci a náladách ve společnosti, je určována vedením České národní banky. V současnosti je hlavním deklarovaným cílem České národní banky cílování inflace[41], k čemuž využívá především vyhlašování základních úrokových sazeb.

Další legislativa pak obsahuje všechna ostatní důležitá politická rozhodnutí. Patří sem novelizace obchodního a občanského zákoníku, boj proti korupci, probíhající reformy, posun doby odchodu do důchodu nebo snaha reformovat státní správu.

3.2.5 Ekonomické faktory

Soukromé ekonomické subjekty, které vytváří převážnou většinu přidané hodnoty v České republice a jsou tak hlavním faktorem přímo ovlivňujícím výši HDP, jsem rozdělil podle pole působnosti. **Primární sektor** obsahuje těžbu nerostných surovin a zemědělství.

[41] Česká národní banka – Měnová politika [13]

V ČR jsou v primárním sektoru zaměstnána jen necelá čtyři procenta pracujících[42], důležitý je hlavně jeho strategický význam.

Sekundární sektor zahrnuje průmyslové podniky vyrábějící na území Česka a přispívající tak k úrovni HDP, ať už svou produkci prodávají na domácím trhu nebo v zahraničí. **Terciární sektor** neboli sektor služeb by měl ve vyspělých ekonomikách zaměstnávat největší část obyvatelstva, služby totiž obvykle vytváří nejvíce přidané hodnoty. V ČR v posledních dvaceti letech probíhal rozkvět sektoru služeb, úroveň zaměstnanosti ale ještě nedosahuje úrovně v nejvyspělejších státech.

3.2.6 Sociální faktory

Produktivita práce představuje celou řadu faktorů shrnutých do jednoho prvku modelu. Na výslednou produktivitu pracujících má vliv především úroveň jejich vzdělání, vybavenost technikou a její kvalita, průměrná pracovní doba v ekonomice nebo psychologické faktory jako motivace a pracovní morálka. Produktivita práce částečně souvisí s druhým prvkem v tomto klastru, **spokojeností ve společnosti**. Ta je dána hlavně úrovní nezaměstnanosti v práceschopné populaci, důležitou roli hraje i rovnoměrnost distribuce bohatství ve společnosti, vývoj životní úrovně a garance zajištění očekávaných základních lidských práv a potřeb.

Posledním prvkem je **demografický vývoj** zaznamenávající pohyby v práceschopné populaci. Vliv na ní má do jisté míry úmrtnost a porodnost ale v našich podmínkách především migrace. Nelze zanedbat ani vývoj zvyklostí ve společnosti a změny legislativy.

3.2.7 Klastr variant

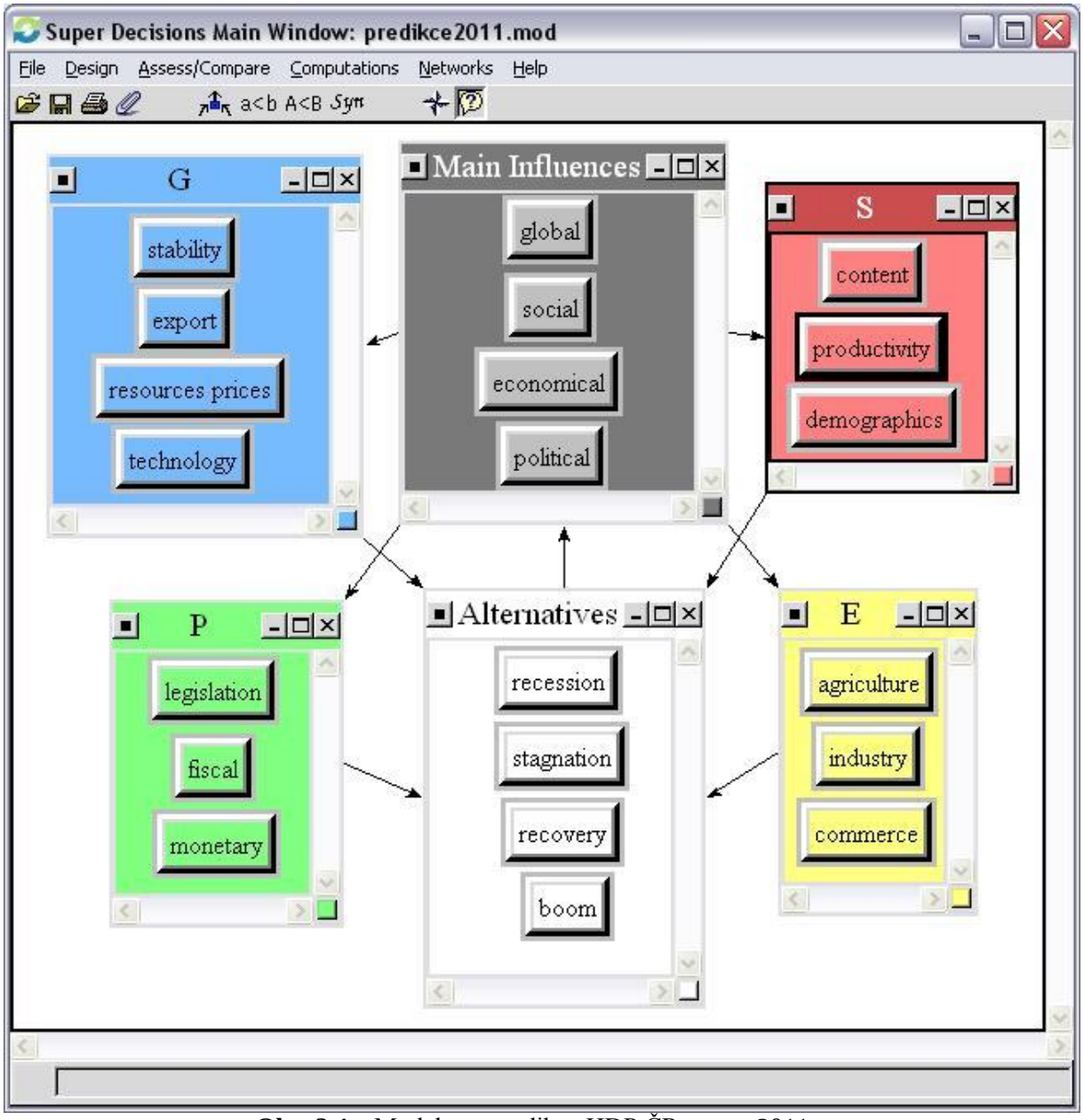
Všechny prvky z klastrů střední úrovně (globální, politické, ekonomické a sociální faktory) jsou vazbami propojeny s prvky klastru variant.

Při úvahách nad možnými scénáři pro české hospodářství jsem narazil na problém, jak tyto scénáře převést na několik jednoznačně definovaných variant, tak jak to požaduje použitá metoda. Nakonec jsem se rozhodl rozdělit budoucí vývoj HDP do čtyř intervalů a zanedbat extrémní hodnoty. První interval od −4 % do −1 % poklesu HDP jsem označil **recese**, interval od −1 % do 2 % **stagnace**, interval od 2 % do 5 % nazývám **mírný růst HDP** a interval od 5 % do 8 % růstu HDP **konjunktura**. Intervalové hodnoty predikce jsou dostačující, protože ani samotné měření HDP nedává přesné výsledky, obsahuje řadu aproximací a různými metodikami lze získat značně odlišné výsledky i při stejných výchozích datech.

Extrémní výsledky mimo dané intervaly, přestože je nemůžu úplně vyloučit, jsou velmi málo pravděpodobné a model by zbytečně komplikovaly. Jediným rozdílem mezi modelem predikce pro rok 2011 a pro roky 2011 až 2016 je právě v klastru variant. Ve víceletém modelu je predikován roční průměrný růst HDP v daném období. Při dlouhodobější prognóze

[42] Český statistický úřad – Zaměstnanost a nezaměstnanost v ČR [21]

v řádu desítek let by již ale musely být zahrnuty i extrémnější hodnoty. Celý model v programu Super Decisions je na obrázku 3.4.



Obr. 3.4 – Model pro predikce HDP ČR v roce 2011

3.3 Párová srovnání

V momentě, kdy je hotová finální podoba modelu a definovány všechny prvky a vazby mezi nimi, je možné přistoupit k fázi párového srovnávání a získávání expertních úsudků. Oba modely se skládají z 21 matic párových srovnání, celkem je třeba v každém srovnat 117 párů prvků, reciproké hodnoty jsou dopočítány automaticky.

3.3.1 Interpretace

Párová srovnání požadovaná modelem je třeba interpretovat podle vztahů mezi prvky modelu tak, aby experti dokázali vztahy správně posoudit a model přinášel smysluplné výsledky. Mnou navržené interpretace se liší podle úrovní modelu.

Na první úrovni jsou to vztahy mezi faktory a hlavními faktory: „Kolikrát větší vliv má faktor A než faktor B na odpovídající hlavní faktor X?“ Konkrétním příkladem je třeba srovnání vlivu fiskální a monetární politiky vlády, respektive centrální banky, v rámci politických faktorů. Střední úroveň tvoří vztah mezi faktory a variantami vývoje: „Vzhledem k faktoru A, kolikrát pravděpodobnější je varianta vývoje J než varianta K?“ Tedy konkrétně například srovnání pravděpodobnosti varianty mírného růstu HDP a stagnace podle prováděné fiskální politiky.

Konečně poslední úrovní a na interpretaci nejnáročnějším srovnáním je vztah mezi variantami a hlavními faktory: “Kolikrát větší roli by musel sehrát hlavní faktor X než hlavní faktor Y při variantě vývoje J?” Například srovnání důležitosti globálních a společenských vlivů v případě varianty recese. Vzhledem k tomu, že model neobsahuje žádný jednotící cílový prvek, je třeba vztahovat veškerá párová srovnání k zamýšlenému cíli, tedy buď k predikci vývoje HDP pro rok 2011, nebo v horizontu pěti let.

3.3.2 Expertní úsudky

V zásadě platí, že metoda ANP dává tak dobré výsledky, jak dobrá jsou k dispozici párová srovnání. I sebelépe sestavený a propracovaný model naplněný nesmyslnými, nekonzistentními nebo prostě nekvalitními úsudky nebude dávat dobré výsledky. Snažil jsem se proto do tvorby modelu i do vytváření párových srovnání zapojit osoby znalejší problematiky, než jsem já. Narazil jsem při tom ale na řadu problémů.

Metoda párových srovnání se může zdát na první pohled celkem intuitivní. Ale situace, kdy je třeba porovnat dva abstraktní komplikované pojmy a jejich vliv na jiný abstraktní pojem vyžaduje, jak se ukázalo, jisté zkušenosti a cit pro používání metody. Značná část získaných dat totiž trpěla nekonzistencí, nebyla kompletní nebo zcela postrádala výpovědní hodnotu. Navíc porozumění modelu a vytvoření všech párových srovnání je poměrně časově náročně, takže oslovení odborné veřejnosti pomocí anonymních dotazníků, o kterém jsem také uvažoval, nepřipadá v úvahu.

Zkoušel jsem tedy oslovit různé odborníky přímo pomocí elektronické pošty, efektivnější se ale nakonec ukázalo, pokud expert vytvářel párová srovnání přímo v mojí přítomnosti a mohl se mnou jako s řešitelem vlastnosti metody konzultovat. Úplně nejlépe se mi pak osvědčilo skupinové hodnocení výsledků, kdy jednotlivá párová srovnání jsou produktem konsensu ve tříčlenné expertní skupině.

Součástí příloh práce je jednak dotazník, který jsem při oslovování expertů použil, získaná párová srovnání v excelovém souboru a samozřejmě také všechny modely v programu Super Decisions. V modelu predikce pro rok 2011, kde mám k dispozici více

názorů, jsem zkusil pro agregaci použít Saatym doporučovanou metodu geometrického průměru:

$$s_{ij} = \left(\prod_{i=1}^{n} a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}},$$

kde a_{ij} jsou párová srovnání n expertů a s_{ij} již hodnoty zanesené do Saatyho matice. Pro porovnání uvádím výsledky modelu při použití srovnání získaných při skupinovém hodnocení. Pro predikci do roku 2016 jsem se omezil na data ze skupinového hodnocení.

V rámci párových srovnání je nepochybně největší prostor pro zlepšení modelu. Čím více názorů expertů a čím větší jejich odbornost, tím věrohodnější a přesnější výsledky dobře vytvořený model přinese. Hlavně u dlouhodobějších předpovědí ale hrozí při agregaci mnoha divergentních názorů, že se soudy navzájem vykrátí a výsledkem budou samé průměrné hodnoty. Forma skupinového konsensu by měla toto nebezpečí odvrátit, její nevýhodou zase může být nežádoucí dominance určitých názorů ve skupině.

3.4 Výpočetní fáze

Po vyhodnocení všech párových srovnání je možné sestavit pro jednotlivé modely nevážené supermatice. Nebudu je zde pro jejich velkých rozsah a špatnou přehlednost uvádět, supermatice pro všechny tři použité sestavy párových srovnání jsou k nahlédnutí v přiloženém excelovém souboru.

Vzhledem ke struktuře holarchie (každý blok supermatice je závislý jen na jednom jiném bloku) jsou vážené supermatice modelů totožné s neváženými. Umocněním na dostatečně velké číslo a v tomto případě získáním průměrů periodicky se opakujících hodnot je určena limitní supermatice. V tabulce 3.5 jsou vždy v lichých sloupcích hodnoty z jednoho sloupce limitní supermatice daného modelu (všechny sloupce limitních supermatic jsou stejné) a v sudých sloupcích (NH) jsou stejné hodnoty znormované tak, aby v rámci jednoho klastru dávaly prvky součet jedna.

Prvek	P2011 gp	NH	P2011 sh	NH	P2016 sh	NH
Konjunktura	0,051	0,152	0,046	0,137	0,037	0,111
Mírný růst	0,147	0,442	0,131	0,394	0,112	0,335
Stagnace	0,077	0,232	0,098	0,295	0,111	0,333
Recese	0,058	0,174	0,058	0,175	0,074	0,222
Primární sektor	0,011	0,061	0,010	0,062	0,008	0,062
Sekundární s.	0,102	0,586	0,102	0,653	0,035	0,285
Terciární s.	0,062	0,353	0,045	0,285	0,081	0,653
Zahraniční obchod	0,020	0,646	0,013	0,570	0,005	0,053
Ceny surovin	0,005	0,157	0,003	0,119	0,055	0,551
Světová stabilita	0,005	0,145	0,006	0,269	0,024	0,243
Technologický p.	0,002	0,052	0,001	0,042	0,015	0,152
Fiskální politika	0,051	0,701	0,042	0,558	0,011	0,172
Monetární p.	0,014	0,193	0,024	0,320	0,006	0,102
Další legislativa	0,008	0,106	0,009	0,122	0,046	0,726
Spokojenost	0,039	0,705	0,063	0,793	0,008	0,172
Demografický v.	0,005	0,084	0,006	0,076	0,005	0,102
Produktivita práce	0,012	0,211	0,010	0,131	0,034	0,726
Globální faktory	0,032	0,095	0,023	0,069	0,100	0,300
Ekonomické f.	0,174	0,523	0,157	0,470	0,124	0,372
Politické f.	0,072	0,216	0,075	0,224	0,063	0,189
Společenské f.	0,055	0,166	0,079	0,237	0,046	0,139

Tab. 3.5 – Limitní vektory vah prvků v predikčních modelech[43]

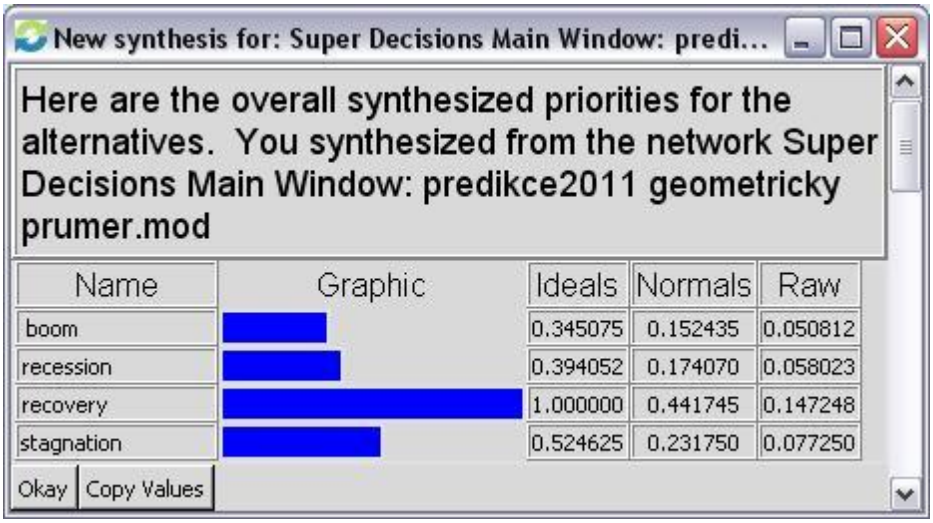
3.5 Interpretace a srovnání výsledků

Hodnoty z tabulky 3.5 jsou již finálními vektory vah pro jednotlivé klastry a dále se budu zabývat jejich zkoumáním a interpretací.

[43] P# – jméno modelu, gp – data získaná geometrickým průměrem, sh – data získaná skupinovým hodnocením, NH – normované hodnoty.

3.5.1 Výsledky modelování

Na obrázku 3.6 je výstup z programu Super Decisions pro model predikce vývoje HDP v roce 2011 s použitím dat získaných geometrickými průměry. (Konjunktura = boom, mírný růst HDP = recovery, stagnace = stagnation, recese = recession.)



Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
boom		0.345075	0.152435	0.050812
recession		0.394052	0.174070	0.058023
recovery		1.000000	0.441745	0.147248
stagnation		0.524625	0.231750	0.077250

Obr. 3.6 – Výsledky predikce pro rok 2011

Forma výsledků nejvhodnější pro interpretaci je na obrázku 3.6 ve sloupci *Normals*, tedy vektor znormovaný tak, aby součet jeho prvků byl jedna. Výsledný vektor vah variant se dá interpretovat tak, že podle modelu nastane se 44,2% pravděpodobností varianta mírného růstu HDP, tedy že český hrubý domácí produkt v roce 2011 vzroste v reálných cenách o 2 až 5 %. Druhá nejpravděpodobnější varianta je podle modelu stagnace s pravděpodobností 23,2 %. Méně pravděpodobné jsou varianty konjunktury a recese.

Možnou interpretací výsledků modelu je také výpočet očekávané střední hodnoty vývoje HDP, kde jako váhy p_i figurují pravděpodobnosti variant vývoje a za x_i dosadím středy intervalů vývoje (konjunktura 6,5 %; mírný růst 3,5 %; stagnace 0,5 %; recese −2,5 %).

$$EV = \sum_{i=1}^{4} p_i x_i \,.$$

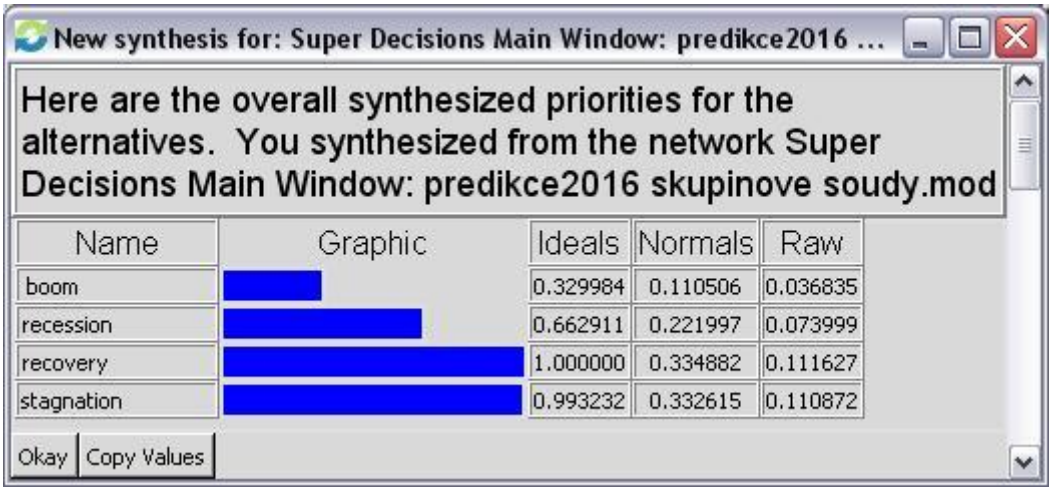
Takto vypočítaná očekávána střední hodnota vyšla 2,218 %. Pro srovnání střední hodnota při předpokladu rovnoměrně rozdělených pravděpodobností možných scénářů jsou 2 %. Na obrázku 3.7 je model vývoje HDP v roce 2011 při použití dat ze skupinového hodnocení.

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
boom		0.347480	0.136833	0.045611
recession		0.443538	0.174660	0.058220
recovery		1.000000	0.393788	0.131263
stagnation		0.748423	0.294719	0.098240

Obr. 3.7 – Výsledky predikce pro rok 2011 (skupinové hodnocení)

Varianta mírného růstu je pořád nejvíce pravděpodobná, ale výrazně si polepšila varianta stagnace. Očekávaná střední hodnota v tomto případě vychází jen 1,978 %.

Výsledky prognózy vývoje HDP do roku 2016 jsou na obrázku 3.8.



Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
boom		0.329984	0.110506	0.036835
recession		0.662911	0.221997	0.073999
recovery		1.000000	0.334882	0.111627
stagnation		0.993232	0.332615	0.110872

Obr. 3.8 - Výsledky predikce pro rok 2016 (skupinové hodnocení)

Jak je vidět, v tomto případě dosahuje varianta stagnace 99,3 % hodnoty varianty mírného růstu (sloupec *Ideals*). Třetí nejpravděpodobnější variantou vývoje je podle výsledků modelu dlouhodobá recese s průměrným ročním poklesem reálného HDP o 1 až 4 %. Očekávaná střední hodnota tohoto modelu je průměrný přírůstek 1,502 % HDP ročně.

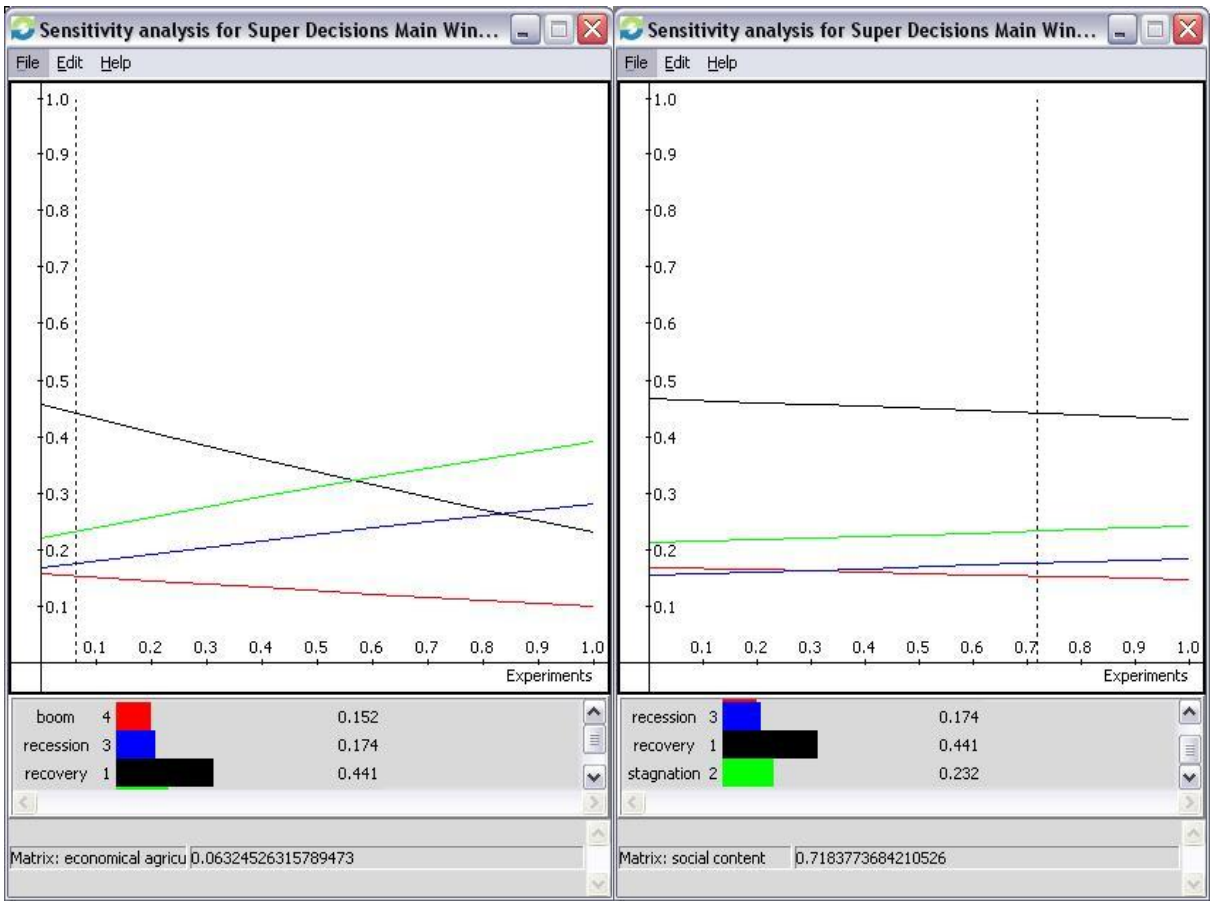
3.5.2 Analýza citlivosti

Vzhledem k provázanosti modelu, kde každý prvek přímo nebo nepřímo ovlivňuje všechny ostatní, je relativně obtížné provádět analýzu citlivosti. Pro zkoumání důležitosti jednotlivých faktorů a jejich role v modelu je třeba se zaměřit na limitní supermatici modelu, nebo její shrnutí v tabulce 3.5. Pokud například v modelu predikce pro rok 2011 s použitím geometrických průměrů hrají mezi hlavními faktory modelu klíčovou roli *ekonomické faktory* (52,3 % vlivu) a podle expertů mezi ekonomickými faktory s 58,5 % dominuje *sekundární sektor*, je jasné, že výsledné váhy variant budou značně ovlivněny právě modelem předpovídaným vývojem v průmyslu.

Na obrázku 3.9 jsou zachyceny závislosti vah variant na důležitosti prvku *primární sektor* v rámci ekonomických faktorů (levá část), respektive důležitosti *spokojenosti ve společnosti* v rámci společenských faktorů (pravá část).

Svislá přerušovaná čára značí skutečnou váhu výše zmíněných prvků v odpovídajících klastrech v modelu predikce pro rok 2011 s použitím geometrických průměrů. Je vidět, že v případě že by experti v rámci párových srovnání přiřadili primárnímu sektoru výrazně vyšší váhu (posun po ose *x*), varianta mírného růstu (černá křivka) ztrácí svoje dominantní postavení a posilují varianty stagnace (zelená křivka) a recese (modrá křivka). To se dá interpretovat tak, že model pokládá vliv primárního sektoru, tedy hlavně zemědělství a těžby nerostných surovin, na celou ekonomiku za negativní.

Při analýze grafu v pravé části obrázku 3.9 je vidět, že váhy variant jsou poměrně stabilní vzhledem k důležitosti prvku *spokojenost ve společnosti*. Obecně je ale jeho vliv také se stoupající prioritou negativní (posiluje nepříznivé varianty vývoje).



Obr. 3.9 – Analýza citlivost v programu Super Decisions

Podobně bychom mohli prozkoumat vliv všech vazeb v modelu na výsledné váhy variant.

3.5.3 Srovnání výsledků

Nejlepším způsobem, jak zhodnotit kvalitu modelu a poskytnutých předpovědí, je uvedení do kontextu s predikcemi publikovanými předními českými a zahraničními odbornými institucemi na základě rozsáhlých kvantitativních modelů.

V průběhu vytváření práce zveřejnil Český statistický úřad údaje o vývoji HDP za první čtvrtletí roku 2011. Tato informace naznačuje, jaký bude přibližně vývoj v průběhu celého roku. Podle čísel zveřejněných 9. června 2011 vzrostl reálný hrubý domácí produkt během prvního čtvrtletí meziročně o 2,8 %[44]. Při zahrnutí vlivu rozdílného počtu pracovních dní pak o 2,5 %.

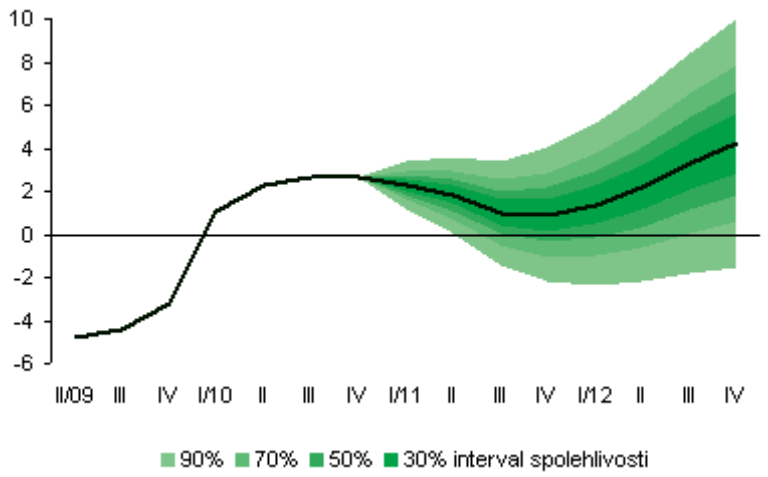
Hlavní tuzemskou institucí, která má na starosti sestavování makroekonomických predikcí je Ministerstvo financí. Tyto propočty pak hrají důležitou roli při sestavování

[44] Český statistický úřad – Rychlá informace [19]

státního rozpočtu a volbě hospodářské politiky. MF samozřejmě bere na vědomí i predikce vydávané dalšími významnými bankovními, vědeckými a státními institucemi. Devatenáct nejdůležitějších je sdruženo v takzvaném Kolokviu.

Ve své poslední makroekonomické predikci zveřejněné 22. dubna 2011[45] Ministerstvo financí předpovídá růst reálného HDP v roce 2011 o 1,9 %. V roce 2012 pak očekává zrychlení růstu na 2,3 %. V minulé predikci z ledna 2011 přitom MF ještě očekávalo letos růst o 2,2 %.

Česká národní banka ve své aktuální prognóze z 5. května 2011[46] předpovídá pro rok 2011 růst reálného HDP o 1,5 % a pro rok 2012 pak růst o 2,8 %. Tato prognóza (obr. 3.10) je zajímavá tím, že obsahuje i různé intervaly spolehlivosti pro daná období. Jak je vidět z obrázku, interval ve kterém se bude podle ČNB ve čtvrtém čtvrtletí roku 2012 s 90% pravděpodobností pohybovat vývoj HDP je značně široký (−1,5 % až + 10 %, se středem v hodnotě 4,2 %).



Obr. 3.10 – Prognóza vývoje HDP včetně intervalů spolehlivosti

Zástupce zahraničních institucí, Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) pravidelně publikuje ekonomický výhled svých členských států. Ve své prognóze z 25. května 2011 České republice předpovídá v roce 2011 růst reálného HDP o 2,4 % a pro rok 2012 pak 3,5 %[47].

Mezinárodní měnový fond (IMF) ve své zprávě o světovém ekonomickém výhledu z dubna 2011[48] uvádí mírně skeptičtější předpověď, růst o 1,7 % v roce 2011 a 2,9 % v roce 2012. Server Gecodia.com informuje o dlouhodobější prognóze IMF[49] až do roku 2015, která Česku slibuje rovnoměrný růst reálného HDP o 3 % ročně. Všechny uvedené předpovědi jsou pro přehlednost shrnuty v tabulce 3.11.

[45] Ministerstvo financí – Makroekonomická predikce 2011 [28]
[46] Česká národní banka – Aktuální prognóza ČNB [14]
[47] Organization for Economic Co-operation and Development – Economic Forecast Summary [31]
[48] International Monetary Fund – World Economic Outlook [27]
[49] Gecodia.com – Economic Outlook Czech Republic [26]

Autor	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**
Česká národní banka	1,5 %	2,8 %				
Ministerstvo financí	1,9 %	2,3 %	3,3 %	4,0 %		
Mezinárodní měnový fond	1,7 %	2,9 %	2,9 %	3,0 %	3,1 %	
OECD	2,4 %	3,5 %				
Model 2011 geometrické průměry	2,2 %					
Model 2011 skupinové hodnocení	2,0 %					
Model 2016 skupinové hodnocení	průměrně 1,5 % ročně					

Tab. 3.11 – Porovnání závěrů práce s aktuálními prognózami významných institucí

Jak je vidět z tabulky, i prognózy s relativně krátkým horizontem (*de facto* 3 čtvrtletí) mají značný rozptyl. Výsledky mnou sestavených modelů přitom patří k těm optimistickým pro letošní rok. Naopak v delším horizontu se obě dostupné prognózy shodují v předpovědi zlepšení kondice české ekonomiky a mírného růstu HDP kolem 3 až 3,5 % ročně. Skupina expertů tvořící párová srovnání pro můj model tento optimismus nesdílela a její očekávání se blíží spíše variantě stagnace.

3.5.4 Zhodnocení modelu

Co se týče práce na aplikaci metody ANP, mám rozporuplné dojmy a zkušenosti. Spokojený jsem s konstrukcí modelu. Domnívám se, že přes jeho relativní jednoduchost se podařilo zachytit všechny relevantní faktory. Zklamala mě naopak náročnost zapojení expertů neznalých metody do vytváření úsudků. Díky předchozím zkušenostem s metodou AHP jsem podcenil obtížnost interpretace jednotlivých soudů a nutnost zapojení řešitele do tohoto procesu.

Velký prostor pro rozvíjení modelu je v oblasti párových srovnání. Debatováním nad jednotlivými rozhodnutími a získáváním dalších názorů by se dalo strávit neomezené množství času. Otázkou zůstává, jestli a jak rychle by při přidávání dalších názorů expertů do zprůměrovaných párových srovnání výsledek konvergoval ke stabilní hodnotě.

Rozšiřování modelu přidáváním dalších klastrů a prvků a komentuji už při popisování vzniku modelu. Kvůli rostoucím nárokům na množství párových srovnání to nepovažuji za dobrou cestu k dosažení lepších výsledků modelu. Zajímavou příležitostí pro další zkoumání metody by bylo experimentování se strukturou modelu, například srovnání výsledků s modelem s více přímými vlivy a zpětnou vazbou mezi prvky, při zachování podobných expertní soudů.

Výsledky modelu podle mě dokazují, že se pomocí metody ANP dají úspěšně srovnávat i značně abstraktní pojmy, aniž by model ztrácel na smysluplnosti. Hlavně u modelu s delším časovým horizontem samozřejmě vzniká obrovský prostor pro chyby. Experti musí v duchu extrapolovat těžko předvídatelné jevy jako vývoj politické situace, a pak teprve uvažovat nad následky těchto potenciálních scénářů. Samotná metoda navíc nenabízí žádné intervaly spolehlivosti pro výsledky. Nedá se ale říci, že by kvantitativní modely byly výrazně úspěšnější.

Rozsáhlý kvantitativní model, jako používá Česká národní banka, dává při prognóze na osm čtvrtletí dopředu devadesáti procentní interval spolehlivosti široký víc než deset procent reálného HDP. Je otázkou, jestli se o dlouhodobé makroekonomické předpovědi v dnešním rychle se měnícím globalizovaném světu má vůbec smysl pokoušet.

Celkově bych výsledky modelu metody ANP považoval za úspěch. Přesnost predikcí a použitých expertních úsudků samozřejmě prokáže až čas.

Závěr

Po důkladném seznámení s metodou Analytic Network Process v rámci psaní této práce mohu konstatovat, že metoda je funkčním nástrojem pro modelování komplexních vícekriteriálních problémů. Myslím, že může být úspěšně implementována v rozhodovacích procesech firem i státních orgánů. Sloužit může pro podporu expertních skupin nebo jako doplněk či alternativa ke kvantitativním modelům.

Aplikační část práce do jisté míry potvrdila možnosti metody ANP v oblasti makroekonomického prognózování, tedy oblasti, ve které se vícekriteriální rozhodování obvykle nepoužívá.

Cíle práce, tedy shrnutí teoretických východisek metody, popis softwarového produktu k jejímu řešení a sestavení aplikace metody v makroekonomické praxi byly splněny. Námětem pro další práci je jistě testování dalších z mnoha možných aplikací metody, makroekonomické prognózování je velmi specifické a omezené téma. Zlepšovat by se ale dala i samotná prognostická část mé práce, zajímavé možnosti slibuje například propojení metody ANP s kvantitativními postupy. Přes tyto nedostatky doufám, že tato práce poskytne případným zájemcům o metodu dostatek informací nebo poslouží aspoň jako úvod do studia podrobnější literatury.

Literatura

[1] DONEGAN, H. A.; DODD, F. J.; MCMASTER, T. B. M. A New Approach to AHP Decision-Making, *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistican)*, 1991 (1992), Vol. 41, No. 3, Special Issue: Conference on Applied Statistics in Ireland, pp. 295-302.

[2] DYER, J. S. Remarks on the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 1990, Vol. 36, No. 3, pp. 249-258.

[3] FIALA, P. Modely a metody rozhodování. Praha: Oeconomica, 2006, ISBN 80-245-0622-X.

[4] HARKER, P. T.; VARGAS, L. G. Reply to „Remarks on the Analytic Hierarchy Process“, *Management Science*, 1990, Vol. 36, No. 3, pp. 269-273.

[5] HOLMAN, R. Ekonomie. 4. aktualizované vydání. Praha: Beck, 2005, ISBN 80-7179-891-6.

[6] HUŠEK, R. Ekonometrická analýza. Praha: Oeconomica, 2007, ISBN 978-80-245-1300-3.

[7] SAATY, T. L. An Exposition on the AHP in Reply to the Paper „Remarks on the Analytic Hierarchy Process“, *Management Science*, 1990, Vol. 36, No. 3, pp. 259-268.

[8] SAATY, T. L. Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 1986, Vol. 32, No. 7, pp. 841 – 855.

[9] SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill, 1980, ISBN 0-07-054371-2.

[10] SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Techonological Application with Benefits, Opportunities, Costs and Risks. New York: Springer Science+Business Media, 2006, ISBN 0-387-33859-4.

Internetové zdroje

[11] ADAMS, J. L.; SAATY, R. Super Decisions Software Guide, 2003. Dostupné z: http://www.superdecisions.com/Tutorial2003.doc, [cit 26. 3. 2011].

[12] Creative Decisions Foundation. Dostupné z: http://www.creativedecisions.net/, [cit. 27. 6. 2011].

[13] Česká národní banka, Měnová politika ©2003-2011. Dostupné z: http://www.cnb.cz/cs/menova_politika/mp_nastroje/index.html, [cit. 10. 7. 2011].

[14] Česká národní banka, Aktuální prognóza ČNB. Dostupné z: http://www.cnb.cz/cs/menova_politika/prognoza/index.html, zveřejněno 5. 5. 2011, [cit. 15. 7. 2011].

[15] Český statistický úřad, Dlouhodobý vývoj zahraničního obchodu České republiky. Dostupné z: http://www.czso.cz/csu/2008edicniplan.nsf/p/60n02-08, zveřejněno 6. 10. 2008, [cit. 11. 7. 2011].

[16] Český statistický úřad, Hrubý domácí produkt. Dostupné z: http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/hruby_domaci_produkt_(hdp), aktualizováno: 25. 9. 2008, [cit. 13. 7. 2011].

[17] Český statistický úřad, Makroekonomické údaje. Dostupné z: http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/cr:_makroekonomicke_udaje/$File/29549722.xls, aktualizováno 1. 7. 2011, [cit. 11. 7. 2011].

[18] Český statistický úřad, Quaterly National Accounts Inventories. Dostupné z: http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/metodika_ctvrtletni_ucty/$File/09087474.pdf, publikováno: 28. 3. 2008, [cit. 13. 7. 2011].

[19] Český statistický úřad, Rychlá informace – Národní účty. Dostupné z: http://www.czso.cz/csu/csu.nsf/informace/chdp060911.doc, publikováno 9. 6. 2011, [cit. 15. 7. 2011].

[20] Český statistický úřad, Volby ©2011. Dostupné z: http://www.volby.cz/, [cit. 12. 7. 2011]

[21] Český statistický úřad, Zaměstnanost a nezaměstnanost v ČR podle výsledků výběrového šetření pracovních sil 1. čtvrtletí 2011 v ČR. Dostupné z: http://www.czso.cz/csu/2011edicniplan.nsf/publ/3101-11-q1_2011, zveřejněno 30. 6. 2011, [cit. 10. 7. 2011].

[22] Decision Lens ©2011. Dostupné z: http://www.decisionlens.com/, [cit. 27. 6. 2011].

[23] E15.cz Nečas: Na přijetí Eura není vhodná doba. Dostupné z: http://zpravy.e15.cz/burzy-a-trhy/meny/necas-na-prijeti-eura-neni-vhodna-doba-649824, publikováno 13. 6. 2011, [cit. 11. 7. 2011].

[24] Expert Choice Inc ©2009. Dostupné z: http://www.expertchoice.com/, [cit. 27. 6. 2011].

[25] Institute for Operation Research Management Science ©2011. Dostupné z: http://www.informs.org/, [cit. 27. 6. 2011].

[26] Gecodia.com, Economic Outlook Czech Republic. Dostupné z: http://www.gecodia.com/Economic-Outlook-Czech-Republic_a1826.html, publikováno 28. 4. 2011, [cit. 15. 7. 2011].

[27] International Monetary Fund, World Economic Outlook. Dostupné z: http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2011/01/index.htm, publikováno Duben 2011, [cit. 15. 7. 2011].

[28] Ministerstvo financí, Makroekonomická predikce 2011. Dostupné z: http://www.mfcr.cz/cps/rde/xchg/mfcr/xsl/makro_pre.html, publikováno 22. 4. 2011, [cit. 15. 7. 2011].

[29] Ministerstvo průmyslu a obchodu, Aktuální verze návrhu „Aktualizace Státní energetické koncepce“. Dostupné z: http://download.mpo.cz/get/26650/46323/556505/priloha001.pdf, publikováno Únor 2010, [cit. 20. 4. 2011].

[30] Operation Research/Management Science Today, Decision Analysis Software Survey. Lionheart Publishing, Inc. ©2010. Dostupné z: http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/das/das.html, [cit. 27. 6. 2011].

[31] Organization for Economic Co-operation and Development, Economic Forecast Summary. Dostupné z: http://www.oecd.org/document/63/0,3746,en_33873108_33873293_45269183_1_1_1_1,00.html, publikováno 26. 5. 2011, [cit. 15. 7. 2011].

[32] Středisko empirických výzkumů, Důvěra v Poslaneckou sněmovnu je na historickém minimu. Dostupné z: http://www.stem.cz/clanek/2236, publikováno 24. 6. 2011, [cit. 11. 7. 2011].

[33] Zavedení eura v České republice. Dostupné z: http://www.zavedenieura.cz/cps/rde/xchg/euro/xsl/dokumenty_plan_zavedeni_cr_185.html, schváleno 11. 4. 2007, [cit. 11. 7. 2011].

Obsah přiloženého CD

Výpočty z první kapitoly a párová srovnání a supermatice ze třetí kapitoly v souboru *Vypocty.xlsx*

Soubor použitý pro získání párových srovnaní *Parova srovnani.xlsx*

Program *Super Decions*

Všechny v práci použité modely ve formátu mod

Přehled makroekonomických údajů vydávaných Českým statistickým úřadem v souboru *Makroekonomicke udaje CSU.xls*