

**Univerzita Pardubice**  
**Fakulta ekonomicko-správní**  
**Ústav systémového inženýrství a informatiky**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

## **Realizace metody AHP v prostředí tabulkového kalkulátoru**

**Autor: Jaroslav Shejbal**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.**

2006

Prohlašuji:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 22. 8. 2006

Jaroslav Shejbal

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Pavlu Petrovi, Ph.D. za metodické vedení a poskytnutí užitečných rad. Také bych chtěl poděkovat své rodině za podporu ve studiu.

---

**Obsah**

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Vymezení problému a cíl práce.....</b>	<b>9</b>
2.1	Systémové vymezení práce .....	9
2.2	Cíl práce .....	9
<b>3</b>	<b>Vícekritériální rozhodování .....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Metody vícekritériálního rozhodování.....</b>	<b>11</b>
4.1	Bodovací metoda.....	11
4.2	Fullerova metoda.....	11
4.3	Saatyho metoda .....	13
<b>5</b>	<b>AHP – Analyticko Hierarchický Proces.....</b>	<b>14</b>
	Saatyho metoda .....	15
	Index konzistence CI.....	16
<b>6</b>	<b>Metody výpočtu .....</b>	<b>17</b>
6.1	Saatyho postup .....	17
6.2	Geometrický průměr .....	17
6.3	Aritmetický průměr .....	18
6.4	Řádkové součty upravené saatyho matice.....	18
6.5	Převrácené součty sloupců saatyho matice .....	18
6.6	Řádkové součty saatyho matice .....	19
<b>7</b>	<b>Porovnání metod výpočtů.....</b>	<b>20</b>
7.1	Saatyho postup .....	20
7.2	Geometrický průměr .....	20
7.3	Aritmetický průměr .....	21
7.4	Řádkové součty upravené saatyho matice.....	21
7.5	Převrácené součty sloupců saatyho matice .....	21
7.6	Řádkové součty saatyho matice .....	21

---

<b>8</b>	<b>Návrh metody AHP v prostředí tabulkového kalkulátoru</b>	<b>23</b>
8.1	Výběr metody výpočtu a tabulkového kalkulátoru .....	23
8.2	Návrh.....	23
8.3	Popis.....	23
<b>9</b>	<b>Komerční programy a srovnání.....</b>	<b>25</b>
9.1	Expert Choice.....	25
9.2	Criterion Decision Plus .....	26
<b>10</b>	<b>Řešení příkladu a porovnání s profesionálními produkty ..</b>	<b>27</b>
<b>11</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>29</b>
11.1	Splnění cílů a zhodnocení výsledků bakalářské práce .....	29
<b>12</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>31</b>
<b>13</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>32</b>
13.1	Výpočty v MS Excel k porovnání metod výpočtu rozhodovací matice.	32
13.2	Technický popis použitých příkazů v MS Excelu.....	33
13.3	Přiložené soubory k bakalářské práci.....	35

---

## Seznam tabulek a obrázků

Tabulka 1 Trojúhelníková matice (Fullerova metoda).....	12
Tabulka 2 Ohodnocení kritérií dle Saatyho.....	15
Tabulka 3 Saatyho matice .....	15
Tabulka 4 Saatyho matice - příklad porovnání metod .....	20
Tabulka 5 Výpočet saatyho postupem .....	20
Tabulka 6 Výpočet geometrickým průměrem.....	20
Tabulka 7 Výpočet aritmetickým průměrem .....	21
Tabulka 8 Výpočet řádkovým součtem upravené matice .....	21
Tabulka 9 Výpočet převráceným součtem sloupců.....	21
Tabulka 10 Výpočet řádkovým součtem.....	21
Tabulka 11 Srovnání výsledků metod výpočtu rozhodovací matice.....	22
Tabulka 12 Výsledky příkladu pro porovnání programů .....	27
Obrázek I Hierarchie rozhodování v AHP .....	14
Obrázek II Princip konzistence matice.....	16
Obrázek III Program Criterium Decision Plus.....	26
Obrázek IV Vyhodnocení příkladu v aplikaci MS Excel.....	28
Obrázek V Vyhodnocení příkladu v programu Expert Choice .....	28
Obrázek VI Vyhodnocení příkladu v programu Criterium Decision Plus .....	28

## Resumé

Ve své bakalářské práci se budu věnovat problematice rozhodovacích metod. Zabývat se budu jednotlivými metodami řešení problematiky rozhodování se zaměřením na metodu AHP. Cílem této práce bude vytvořit praktický model systému pro podporu rozhodování metodou AHP v tabulkovém kalkulátoru. Součástí práce bude praktický příklad řešený ve vytvořeném modelu a porovnání s komerčními produkty.

In my bachelor's work I will deal with problems of decision making methods. I will mostly focus on individual decision making problems and especially on the method AHP. The goal of this work will be making up a practical model of the supporting system of the method AHP in table calculator.

The part of this work will be a practical example solved in the made up model in comparison with commercial products.

## 1 Úvod

V dnešní době sílícího rozvoje obchodu, průmyslu, nových technologií a správního systému je jedním ze základních úkolů managementu rozhodování. Správné a rychlé rozhodování je základem úspěchu v jakémkoli oboru na jakékoli úrovni. Ať se již rozhoduje o strategickém plánu rozvoje nadnárodní společnosti, nebo o přijetí nového zaměstnance, vždy bude mít toto rozhodnutí vliv na budoucnost a úspěch rozhodovatele.

Problematika rozhodování v dnešní době nabývá stále více na významu a i do budoucna bude mít nezastupitelné místo ve fungování společnosti. Proto jsem se rozhodl svoji bakalářskou práci věnovat právě tomuto tématu.

V reálném světě jsme často postaveni před problém, ve kterém se musíme rozhodnout mezi několika alternativami řešení problému na základě jejich vlastností, kterých je obecně více. Každou alternativu můžeme posuzovat podle řady kritérií. Naším úkolem je vybrat tu alternativu, která je z hlediska kritérií nejlepší.

Úkoly, které se snaží vyřešit tento problém jsou úkoly vícekriteriálního výběru. Řešením úloh vícekriteriálního výběru se zabývají různé metody pro podporu rozhodování. Jednou z těchto metod, které se budu věnovat ve své bakalářské práci, je metoda AHP.

## **2 Vymezení problému a cíl práce**

### **2.1 Systémové vymezení práce**

Celá bakalářská práce je zaměřena na problematiku vícekriteriálního rozhodování, tedy definování pojmů, vysvětlení principů a postupů v různých metodách vícekriteriálního rozhodování.

Podrobnější zaměření je směřováno na metodu AHP, na její různé způsoby řešení výpočtů a zhodnocení jejich náročnosti a přesnosti.

### **2.2 Cíl práce**

Hlavním cílem práce je vytvořit aplikaci pro podporu rozhodování metodou AHP v tabulkovém kalkulátoru, ověřit jeho funkčnost na praktickém příkladu a porovnat jej s komerčním profesionálním produktem.

Cílem není nahradit komerční produkty, ani vytvořit profesionální systém, ale dokázat že obdobných výsledků lze dosáhnout i v tabulkovém kalkulátoru jakým je třeba Microsoft Excel a předvést na něm princip metody.

### 3 Vícekriteriální rozhodování

Výsledkem procesu hodnocení variant vzhledem ke zvolenému souboru kritérií je **stanovení preferenčního uspořádání variant**, tj. pořadí jejich celkové výhodnosti, kdy na prvním místě tohoto pořadí je celkově nejvýhodnější, tj. optimální varianta.

Celý proces rozhodování má dvě části. První je **určení vah jednotlivých kritérií hodnocení**, které vyjadřují číselně význam těchto kritérií (resp. důležitost sledovaných cílů). Čím je kritérium významnější, tím je jeho váha vyšší. Pro dosažení srovnatelnosti vah kritérií se tyto váhy zpravidla normují tak, aby jejich součet byl roven jedné. **Normování** se provádí tak, že se stanoví součet vah všech kritérií a váhy jednotlivých kritérií se dělí jejich součtem.

Druhou částí je stanovení nebo porovnání užítka jednotlivých variant neboli **dílčí ohodnocení variant**. Jestliže se jedná o kritérium výnosového (maximalistického) typu, pak s rostoucí hodnotou kritéria užitek stoupá (čím výkonnější stroj, tím větší užitek). V případě kritéria nákladového (minimalistického) typu je to naopak, s rostoucí hodnotou kritéria užitek klesá (čím vyšší nákupní cena, tím menší užitek). Užitek se vyjadřuje reálným číslem a každá rozhodovací metoda používá jiný princip tohoto určení.

O konečné výhodnosti varianty rozhodne součet užítka dané varianty. Jednotlivé užítky je však nutno před samotným sečtením upravit dle preferencí kritérií, (tedy užítky vynásobit váhami daných kritérií). Varianta s nejvyšším číslem je pak optimální variantou.

[3]

---

## 4 Metody vícekritériálního rozhodování

V této kapitole jsou uvedeny základní metody vícekritériálního rozhodování. U každé metody je uveden její princip, zhodnocení náročnosti výpočtu a vhodnost použití.

### 4.1 Bodovací metoda

Postup stanovení vah kritérií touto metodou spočívá v tom, že rozhodovatel přiřadí každému kritériu určitý počet bodů ze zvolené stupnice v souladu s tím, jak hodnotí význam každého kritéria. Jako bodová stupnice slouží pro tyto účely některá stupnice s nižší rozlišovací schopností (např.: 1,2,3,4,5) či s vyšší rozlišovací schopností (např.: 1,2,3,4,5,6,7,8,9). Čím považuje rozhodovatel kritérium za významnější, tím větší počet bodů přiřadí.

Normování se provádí tak, že se stanoví součet všech přidělených bodů všem kritériím. Váha konkrétního kritéria se pak vypočítá jako podíl počtu bodů kritéria ku součtu všech bodů.

Dílčí ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím určuje přímo hodnotitel a to zpravidla přiřazením bodů ze zvolené bodové stupnice. Zde se nejčastěji užívá stupnice desetibodové nebo jemnější stobodové, přičemž nejnižší hodnocení 1 bod odpovídá nejhorším a nejvyšší ohodnocení 10, resp. 100 bodů nejlepším hodnotám kritérií.

Aby bylo dosaženo výsledného rozhodnutí dle preferencí kritérií je nutno každé dílčí ohodnocení vynásobit váhou daného kritéria. U jednotlivých variant sečteme takto vynásobená dílčí ohodnocení. Varianta s nejvyšší hodnotou součtu je pak optimální.

[3]

Bodovací metoda je jednou z nejjednodušších a nejpřehlednějších. K jejímu vyhodnocení postačí základní vědomosti bez nutnosti složitých výpočtů.

### 4.2 Fullerova metoda

V této metodě srovnávání se pro každé kritérium zjišťuje počet jeho preferencí vzhledem ke všem ostatním kritériím souboru.

Určování preferencí probíhá na základě trojúhelníkové matice uvedené v tabulce 1. Rozhodovatel u každé dvojice kritérií vyhodnocuje, zda preferuje kritérium uvedené v řádku před kritériem uvedeným ve sloupci. Jestliže ano, zapíše do příslušného políčka jedničku, v opačném případě nulu. Pro každé kritérium se nyní stanoví počet jeho preferencí  $f_i$ , který je

---

roven součtu jednotek v řádku uvažovaného kritéria zvětšeného o počet nul ve sloupci tohoto kritéria.

Počty preferencí jednotlivých kritérií se normují na váhy podle vztahu

$$v_i = f_i / \sum_n f_i \quad (4.1)$$

kde  $v_i$  je normovaná váha  $i$ -tého kritéria,  $f_i$  je počet preferencí  $i$ -tého kritéria,  $\sum_n f_i$  je součet počtů preferencí všech kritérií

Tabulka 1 Trojúhelníková matice (Fullerova metoda)

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	...	K <sub>n</sub>	Počet preferencí
K <sub>1</sub>		1	0	...	1	
K <sub>2</sub>			0	...	1	
K <sub>3</sub>				...	1	
...					0	
K <sub>n</sub>						

Dílčí ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím se určuje na stejném principu jako určování preferencí kritérií.

U každého kritéria je nutno vytvořit vlastní trojúhelníkovou matici, kde v řádcích a sloupcích budou jednotlivé varianty. Při upřednostnění varianty v řádku před variantou ve sloupci zapíšeme jedničku, v opačném případě nulu. Toto vyhodnocení provádíme na základě hodnot jednotlivých variant, např. hodnotíme-li varianty podle kritéria ceny, pak pokud je v řádku varianta levnější než varianta ve sloupci, zapíšeme jedničku, pokud je varianta v řádku dražší než varianta ve sloupci zapíšeme nulu. Součtem jedniček v řádku a nul ve sloupci dané varianty dostaneme její preferenci  $h_i^j$  (dílčí ohodnocení  $j$ -té varianty vzhledem k  $i$ -tému kritériu).

Celkové ohodnocení  $H^j$  se pak vypočítá jako součet násobku dílčích ohodnocení a vah kritérií podle vzorce :

$$H^j = \sum v_i \cdot h_i^j \quad (4.2)$$

Optimální variantou se stává varianta s nejvyšším celkovým hodnocením.

Tato metoda používá párové srovnávání variant. Výhodou je, že každá varianta je porovnávána s každou. Nevýhodou je však to, že kritéria variant jsou srovnávány na základě lepší/horší a nelze zohlednit míru preferencí jedné varianty před druhou.

### 4.3 Saatyho metoda

U této metody se opět srovnávají preferenční vztahy dvojic kritérií uspořádaných v Saatyho tabulce. Na rozdíl od Fullerovy metody se však kromě samotné preference kritérií určuje také velikost této preference, tedy nejen jestli je jedna varianta lepší než druhá, ale určuje se i o kolik je lepší.

Princip Saatyho metody bude podrobně popsán v následující kapitole AHP. V zásadě lze však říci, že je podobně jako Fullerova metoda založen na párovém porovnání variant.

Saatyho metoda je ze všech uvedených metod nejsložitější, ale lze zde zohlednit míru výhodnosti kritérií, což může výsledek zpřesnit.

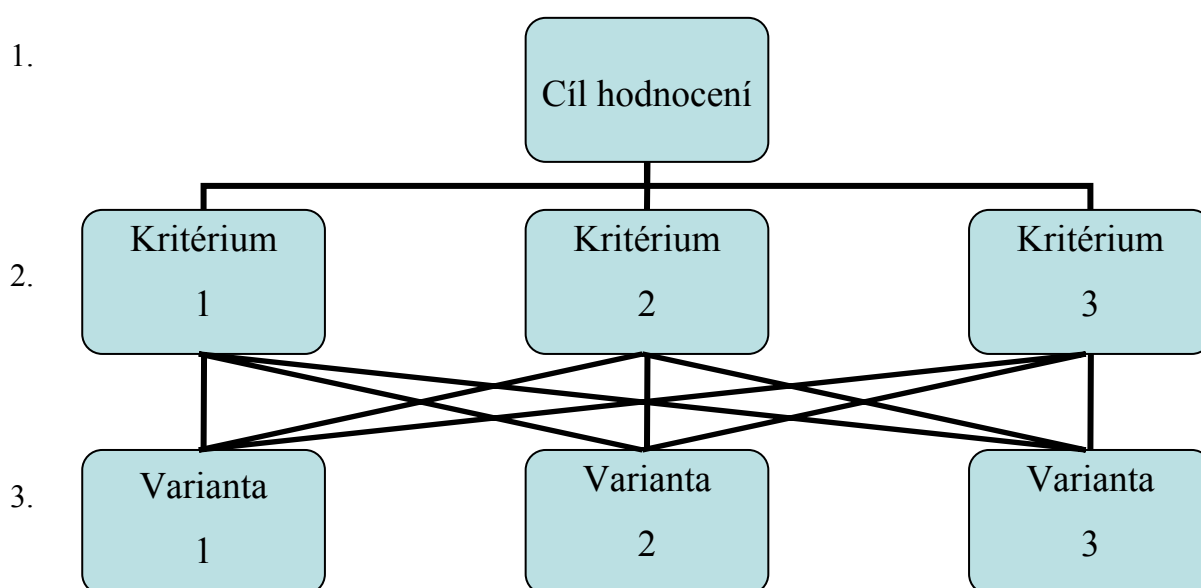
## 5 AHP – Analyticko Hierarchický Proces

Analytické hierarchické procesy (Analytic Hierarchy Process - AHP) a matematická teorie byla poprvé vyvinuta v roce 1970 na universitě Wharton School of the University v Pensylvánii v USA doktorem Thomasem L. Saatym. AHP je komplexní metodologie vyvinutá k podpoře rozhodování při výběru z alternativ na základě empirických i konkrétních kritérií pro rozhodování.

[CALS servis [cit. 2006-05-20]<[www.cals.cz/sluzby3.htm](http://www.cals.cz/sluzby3.htm)>]

Základním rysem metody AHP je znázornění celého rozhodovacího problému jako určitou hierarchickou strukturu. Pod pojmem hierarchická struktura si můžeme představit stromové zobrazení o několika úrovních, představující jednotlivé části rozhodování, přičemž každá z nich zahrnuje několik prvků. Nejvyšší úroveň hierarchie obsahuje vždy pouze jeden prvek, kterým je cíl vyhodnocování.

Typickým příkladem AHP je tříúrovňová hierarchie, znázorněná na následujícím obrázku.



1. úroveň – cíl hodnocení – uspořádání variant
2. úroveň – kritéria vyhodnocování – ohodnocení důležitosti kritérií
3. úroveň – posuzované varianty – ohodnocení důležitosti variant

**Obrázek I Hierarchie rozhodování v AHP**

[2]

**Saatyho metoda**

Saatyho metoda využívá párového porovnání jednotlivých kritérií. Samotné porovnání kritérií určuje velikost preference, která se vyjadřuje určitým počtem bodů ze zvolené stupnice. (Saaty doporučuje devítibodovou stupnici).

V této metodě se určuje nejen jestli je jedno kritérium lepší než druhé, ale určuje se i o kolik je lepší, což rozhodovateli umožňuje daleko přesněji vyjádřit preference k jednotlivým kritériím a zpřesnit tak výsledek konečného rozhodnutí.

**Tabulka 2 Ohodnocení kritérií dle Saatyho**

Počet bodů	Významnost
1	Kritéria jsou stejně významná
3	První kritérium je slabě významnější než druhé
5	První kritérium je dosti významnější než druhé
7	První kritérium je prokazatelně významnější než druhé
9	První kritérium je absolutně významnější než druhé

*Hodnoty 2,4,6,8 lze využít k jemnějšímu rozlišení preferencí*

[1] [3]

Opět se tedy porovnává kritérium v řádku s kritériem ve sloupci a to tak, že je-li kritérium v řádku významnější než kritérium ve sloupci pak se zapíše odpovídající hodnota významnosti podle tabulky 2, je-li naopak významnější kritérium ve sloupci před kritériem v řádku zapíše se převrácená hodnota významnosti (např. 1/3).

**Tabulka 3 Saatyho matice**

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	...	$K_n$
$K_1$	1	2	6	...	5
$K_2$	1/2	1	3	...	3
$K_3$	1/6	1/3	1	...	7
...	...	...	...	1	...
$K_n$	1/5	1/3	1/7	...	1

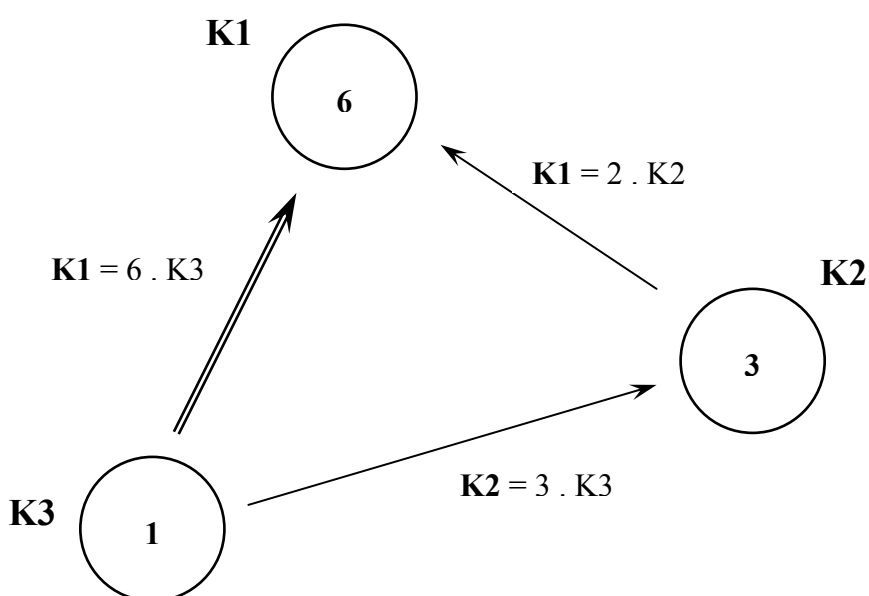
### Index konzistence CI

Před samotným výpočtem je nutno tabulku zkontrolovat, zda je dostatečně konzistentní, tedy zda nejsou „nesrovnalosti“ v zadání matice párových porovnání .

Konzistenci je možno vysvětlit na následujícím příkladu:

Je-li kritérium K2 třikrát významnější než kritérium K3 a K1 je dvakrát významnější než K2, mělo by platit, že K1 je šestkrát významnější než K3.

[4]



Obrázek II Princip konzistence matice

Index konzistence spočítáme podle vzorce:

$$CI = (\lambda_{\max} - k) / (k - 1) \quad (5.1)$$

$k$  je počet kritérií a  $\lambda_{\max}$  je největší vlastní číslo matice

Dle Saatyho je rozhodovací matice dostatečně konzistentní je-li  $CI < 0,1$

[2]

## 6 Metody výpočtu

### 6.1 Saatyho postup

Saatyho postup je založen na výpočtu vlastního vektoru matice dle vzorce:

$$S \cdot v = \lambda_{\max} \cdot v \quad (6.1)$$

kde  $S$  je rozhodovací matice,  $\lambda_{\max}$  je největší vlastní číslo matice a  $v$  vlastní vektor matice

[2]

Abychom dostali výsledné váhy v jednotlivých kritériích, je nutno hodnoty vlastního vektoru znormovat.

Tato metoda je definována jako výchozí metoda výpočtu AHP a je brána jako základ pro porovnání výpočtů ostatními metodami.

Tento způsob výpočtu je ze všech uvedených nejsložitější a právě pro jeho složitost je využíván pouze ve specializovaných programech na podporu rozhodování.

### 6.2 Geometrický průměr

Tento způsob řešení je založen na výpočtu geometrických průměrů jednotlivých řádků rozhodovací matice (vynásobení prvků jednotlivých řádků této matice a určení  $k$ -té odmocniny těchto součtů).

$$v_i' = \sqrt[k]{\prod s_{ij}} \quad (6.2)$$

$v_i'$  je nenormovaná váha  $i$ -tého kritéria,  $s_{ij}$  jsou prvky rozhodovací matice a  $k$  počet kritérií.

[2]

Normalizací těchto řádkových geometrických průměrů (jejich vydělením součtem těchto geometrických průměrů) získáme váhy kritérií.

Způsob výpočtem geometrických průměrů je v porovnání se saatyho postupem výrazně jednodušší a přitom dosahuje velmi podobných výsledků jako saatyho postup.

### 6.3 Aritmetický průměr

Jednou z jednodušších metod je výpočet aritmetických průměrů. Spočívá ve zprůměrnování jednotlivých řádků rozhodovací matice, které je nutno znormovat.

$$v_i' = \sum s_{ij} / k \quad (6.3)$$

I zde  $v_i'$  představuje nenormovanou váhu  $i$ -tého kritéria,  $s_{ij}$  jsou prvky rozhodovací matice a  $k$  počet kritérií.

Metoda aritmetického průměru je sice nejjednodušší metodou, bohužel také metodou méně přesnou.

[6]

### 6.4 Řádkové součty upravené saatyho matice

Tato metoda má dva kroky. V prvním kroku se provede úprava rozhodovací matice a to vydělením každého sloupce sloupcovým součtem. V druhém kroku se provede řádkový součet.

$$v_i' = \sum s_{ij} / T_j \quad (6.4)$$

$v_i'$  - nenormalizovaný vektor intenzit preferencí,  $s_{ij}$  – prvky rozhodovací matice,  
 $T_j$  – součet prvků  $j$ -tého sloupce

Výsledek je nutno znormovat. [2]

### 6.5 Převrácené součty sloupců saatyho matice

Vektor intenzit preferencí se spočte jako převrácené hodnoty sloupcových součtů matice.

$$v_j' = 1 / \sum s_{ij} \quad (6.5)$$

$v_j'$  - nenormalizovaný vektor intenzit preferencí,  $s_{ij}$  – prvky rozhodovací matice

Výsledky je nezbytné znormovat [2]

---

## 6.6 Řádkové součty saatyho matice

Tato metoda výpočtu spočívá v prostém součtu řádků rozhodovací matice.

$$v_i' = \sum s_{ij} \quad (6.6)$$

$v_i'$  - nenormalizovaný vektor intenzit preferencí

$s_{ij}$  - prvky rozhodovací matice

I zde je nezbytné výsledky znormovat.

[2]

Stanovení dílčích ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím je analogické stanovení vah kritérií pouze s tím rozdílem, že srovnávanými objekty nejsou kritéria, ale varianty rozhodování. Pro každé kritérium je tedy třeba stanovit vlastní Saatyho matici.

Celkové ohodnocení variant  $H^j$  se pak stanoví dosazením do již známé rovnice (4.2) z Fullerovy metody  $H^j = \sum v_i \cdot h_i^j$

Varianta s nejvyšším celkovým ohodnocením je variantou optimální.

## 7 Porovnání metod výpočtů

Abych mohl porovnat spolehlivost jednotlivých metod výpočtu a rozhodnout se kterou metodu zvolit pro svůj projekt, provedl jsem výpočty jednoho konkrétního příkladu všemi metodami.

Příklad

Tabulka 4 Saatyho matice - příklad porovnání metod

	A	B	C	D
A	1	1/7	1/3	1/5
B	7	1	5	3
C	3	1/5	1	1/3
D	5	1/3	3	1

### 7.1 Saatyho postup

Výpočet dle vztahu (6.1)  $S \cdot v = \lambda_{\max} \cdot v$

Tabulka 5 Výpočet saatyho postupem

Varianta	A	B	C	D
Hodnota	0,05529	0,56501	0,11750	0,26220
Pořadí	4	1	3	2

### 7.2 Geometrický průměr

Výpočet dle vztahu (6.2)  $v_i = \sqrt[k]{\prod s_{ij}}$

Tabulka 6 Výpočet geometrickým průměrem

Varianta	A	B	C	D
Hodnota	0,05502	0,56381	0,11779	0,26338
Pořadí	4	1	3	2

### 7.3 Aritmetický průměr

$$\text{Výpočet dle vztahu (6.3) } v_i' = \sum s_{ij} / k$$

Tabulka 7 Výpočet aritmetickým průměrem

Varianta	A	B	C	D
Hodnota	0,05314	0,50725	0,14372	0,29589
Pořadí	4	1	3	2

### 7.4 Řádkové součty upravené saatyho matice

$$\text{Výpočet dle vztahu (6.4) } v_i' = \sum s_{ij} / T_j$$

Tabulka 8 Výpočet řádkovým součtem upravené matice

Varianta	A	B	C	D
Hodnota	0,05689	0,55789	0,12187	0,26335
Pořadí	4	1	3	2

### 7.5 Převrácené součty sloupců saatyho matice

$$\text{Výpočet dle vztahu (6.5) } v_j' = 1 / \sum s_{ij}$$

Tabulka 9 Výpočet převráceným součtem sloupců

Varianta	A	B	C	D
Hodnota	0,06333	0,60456	0,10857	0,22353
Pořadí	4	1	3	2

### 7.6 Řádkové součty saatyho matice

$$\text{Výpočet dle vztahu (6.6) } v_i' = \sum s_{ij}$$

Tabulka 10 Výpočet řádkovým součtem

Varianta	A	B	C	D
Hodnota	0,05314	0,50725	0,14372	0,29589
Pořadí	4	1	3	2

U všech metod výpočtu jsem došel ke stejnému pořadí, můžeme tedy konstatovat, že za podmínek dostatečné konzistence rozhodovací matice lze všemi metodami dojít ke stejnému pořadí variant.

Pro srovnání přesnosti výpočtu jsem sestavil následující tabulku s odchylkami od Saatyho metody.

**Tabulka 11 Srovnání výsledků metod výpočtu rozhodovací matice**

Metoda odchylka	Geometrická průměr	Aritmetický průměr	Řádkové součty upravené matice	Převrácené součty sloupců	Řádkové součty matice
Průměrná	0,00073	0,02996	0,00356	0,02380	0,02996
Maximální	0,00120	0,05776	0,00712	0,03955	0,05776

Z této tabulky vyplývá, že nejpřesnější metodou výpočtu v porovnání se Saatyho metodou je metoda geometrického průměru, naopak nejméně přesné jsou metody aritmetického průměru a řádkového součtu. Dlužno však podotknout, že tyto metody jsou výpočetně nejjednodušší a lze je provést bez větších matematických výpočtů.

## **8 Návrh metody AHP v prostředí tabulkového kalkulátoru**

### **8.1 Výběr metody výpočtu a tabulkového kalkulátoru**

Na základě předchozího srovnání jsem se rozhodl pro metodu geometrického průměru. Zdůvodněním je její velmi vysoká přesnost a transparentnost, kdy si každý může ověřit, jak metoda funguje a jakým způsobem bylo výsledku dosaženo.

Z tabulkových kalkulátorů jsem se přiklonil k softwaru Excel 2003 od firmy Microsoft. Excel je jedním z nejrozšířenějších programů svého druhu, který používá většina uživatelů PC a tudíž rozhodovací systém v něm vytvořený by měl být pochopitelný a ověřitelný pro většinu uživatelů, což je také cílem této práce.

### **8.2 Návrh**

Celý systém by měl sloužit jako model, na kterém by se dal demonstrovat princip hierarchického rozhodování a metoda jeho výpočtů. Aby toto bylo možné, musí být navržený systém přehledný a co nejjednodušší. To však ovlivňuje i rozsah systému. Aby byla zachována přehlednost, navrhl jsem rozhodovací systém pro maximálně deset variant a deset kritérií. Při saatyho navrženém bodování 1 až 9 se tento počet zdá být optimální a i dosažení konzistence rozhodovací matice by u většího rozsahu bylo značně složité.

### **8.3 Popis**

Navržený systém se skládá z několika částí, přičemž každá část je na samostatném listu.

#### **Nápověda**

Zde jsou informace o aplikaci a podrobný návod, jak s aplikací pracovat.

#### **Zadání**

Na tomto listě se zadává počet variant a kritérií. Je zde možno jednotlivé varianty a kritéria pojmenovat – tyto názvy se pak zobrazují u jednotlivých rozhodovacích matic.

#### **Váhy**

Po zadání počtu variant a kritérií lze přejít na list Váhy, kde se zadávají preference kritérií. Tímto krokem je přiřazena jednotlivým kritériím důležitost, s jakou se na ně při rozhodování bude brát zřetel.

Preference lze přiřazovat body od 1 do 9 (respektive 1/9 až 9).

### **K1 až K10**

K1 až K10 představují rozhodovací matice, kde se vždy u jednoho konkrétního kritéria porovnávají všechny varianty. I zde je možno hodnotit body 1 až 9.

### **Vyhodnocení**

Poslední částí je vyhodnocení. Na tomto listu je přehled všech variant s výsledným pořadím, histogram znázorňující preference a výsledky všech rozhodovacích matic dle váhových preferencí.

## 9 Komerční programy a srovnání

V oblasti profesionálního softwaru na podporu rozhodování je několik programů zaměřených přímo na metodu AHP a mnoho dalších, které používají podobné metody. Existují i speciální programy, které mají sice jiné zaměření, ale jejich součástí je aplikace na podporu rozhodování.

V této práci bych se chtěl zaměřit pouze na programy, které jsou přímo určeny na podporu rozhodování a jejich základem je hierarchický proces.

Asi nejrozšířenějším programem v této oblasti je program Expert Choice založený přímo na metodě AHP. Druhým programem, kterému bych se chtěl v této práci věnovat je Criterium Decision Plus.

### 9.1 Expert Choice

Expert Choice je softwarový produkt americké firmy Expert Choice, Inc.



Jedná se o program zaměřený na vícekritériální rozhodování na jehož vzniku a vývoji se podílel zakladatel metody AHP doktor Thomas L. Saaty.

Tento program umožňuje rozhodování rozdělit do více hierarchických úrovní a podúrovní, čímž samotné rozhodování rozčleňuje do jednodušších částí. Toto rozdělení se provádí pomocí stromové struktury, která celou hierarchii zpřehledňuje.

Kritéria a varianty se sestavují do rozhodovacích matic. Preference se přidělují dle Saatyho devítibodové stupnice. Tyto preference lze přidělovat klasickým číselným způsobem, nebo pomocí slovního vyjádření. Vyhodnocení program nabízí v číselné i grafické podobě.

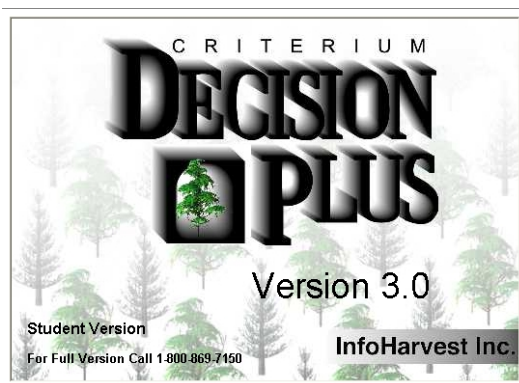
Tento program je vhodný při vyhodnocení nabídek v rámci výběrových řízení, při hodnocení jakéhokoliv nákupu zboží nebo služeb a při vyhodnocování potenciální úspěšnosti na trhu ve srovnání s konkurencí.

Program je v anglickém jazyce a jeho trial verzi lze stáhnout z internetových stránek výrobce <http://www.expertchoice.com/software/>. Trial verze je určena na vyzkoušení programu a jeho funkčnost je omezena na 15 dní a užití maximálně 8 alternativ a 9 kritérií.

[7]

## 9.2 Criterium Decision Plus

Tento program na podporu rozhodování vyvinula a nabízí firma InfoHarvest, Inc. Program je rovněž založen na rozdělení do více hierarchických úrovní, oproti předchozímu programu nabízí nejen párová porovnání s devítibodovou saatyho stupnicí, ale i přímé bodování s vlastní volitelnou stupnicí.



Obrázek III Program Criterium Decision Plus

Výsledky jsou rovněž zobrazovány jak v číselné, tak i v grafické podobě.

Criterium Decision Plus je rovněž v anglickém jazyce a lze si vyzkoušet jeho Student verzi, která je ke stažení na stránkách firmy [www.InfoHarvest.com](http://www.InfoHarvest.com). Student verze není nijak časově omezena, ale lze použít pouze 20 bloků (kritérií a variant).

## 10 Řešení příkladu a porovnání s profesionálními produkty

Cílem této kapitoly je srovnání výsledků příkladu v Excelu s oběma profesionálními programy.

Jelikož jsou všechny programy určeny pro podporu rozhodování a nejčastějším případem využití je rozhodování ve výběrovém řízení, rozhodl jsem se, že ke srovnání použiji právě příklad výběrového řízení na nákup nových výrobních strojů.

Pro dosažení dostatečně vypovídajících výsledků, jsem použil smyšlené hodnocení s pěti variantami a devíti kritérii. Aby byly výsledky srovnatelné, zadal jsem stejné preference u všech tří porovnávaných aplikací.

V této kapitole se budu věnovat pouze srovnání výsledků příkladu. Samotné preference a výpočty jsou v souborech porovnávaných programů, které jsou součástí této práce jako přílohy.

**Tabulka 12** Výsledky příkladu pro porovnání programů

	V1	V2	V3	V4	V5
AHP v MS Excel	0,149	0,264	0,204	0,110	0,273
Expert Choice	0,149	0,266	0,204	0,110	0,272
CriterionDecisionPlus	0,149	0,266	0,204	0,110	0,272

Na základě zkušebního příkladu lze konstatovat, že výsledné pořadí u vytvořené aplikace v MS Excelu a obou profesionálních programů je stejné. Hodnoty výsledných srovnání se liší pouze ve dvou případech a to maximálně o dvě tisíce. Výpočet v Excelu tedy můžeme považovat za velmi přesný.



## 11 Závěr

Rozhodovací procesy jsou jednou z nejdůležitějších činností nejen v práci managerů a podnikatelů, ale i v běžném životě nás všech. Podle toho byly vyvinuty nástroje na podporu rozhodování od prostých úvah „ to je lepší a to horší „ až po komplexní systémy vícekritériálního hodnocení s hierarchickou strukturou jakou je právě metoda AHP.

Tato metoda je tedy určena k podpoře rozhodování při strategickém plánování, pro rozhodování o velkých zakázkách, a vyhodnocování úspěšnosti podniku. Tomu také odpovídá náročnost této metody. Pro velké projekty je tedy nutné použít některé z profesionálních programů jakým je například Expert Choice, nebo Criterium Decision Plus, které dokáží porovnat mnoho variant a kritérií a umožňují celý proces rozdělit do rozsáhlých hierarchií. Schopnostem programu také odpovídá jejich cena, která se pohybuje kolem 900 \$.

Určitým kompromisem může být využití principů metody AHP k sestavení vlastního systému v tabulkovém procesoru. Ověření, zda je to možné a jsou-li dosažené výsledky shodné s komerčními programy bylo cílem této práce.

### 11.1 Splnění cílů a zhodnocení výsledků bakalářské práce

Hlavním cílem této práce bylo vytvořit aplikaci pro podporu rozhodování metodou AHP v tabulkovém kalkulátoru a ověřit jeho funkčnost na praktickém příkladu a porovnat tuto aplikaci s komerčním profesionálním produktem. Součástí práce též bylo vysvětlit principy rozhodování a porovnat metody výpočtů.

Všechny vytčené cíle byly splněny a lze konstatovat, že stejných výsledků rozhodování jako v profesionálních programech můžeme dosáhnout i v tabulkovém procesoru MS Excel. Aplikace v Excelu využívá jednodušší metody geometrického průměru, ale o to je celý proces průhlednější. Výsledné hodnoty jsou ve srovnání s oběma profesionálními programy velmi přesné. Nutno říci, že oba programy mají přehlednější zadávání hodnot preferencí, kdy lze využít i slovního vyjádření.

Budu-li hodnotit samotnou metodu AHP s ostatními metodami, musím konstatovat, že je určitě jednou z nejsložitějších a náročnější na výpočet a sestavování hodnocení, avšak nabízí výhodu párového porovnání jeden s jedním, což je u rozsáhlejších projektů nespornou výhodou, a neomezuje se jen na hodnocení lepší/horší, ale nabízí i míru preference. Jistou nevýhodou při použití saatyho metody může být subjektivní hodnocení body od jedné do devíti, kdy u kvantitativních kritérií by bylo výhodnější použít jiné metody, zohledňující

přímo rozsah v jednotkách porovnávaného souboru. Takovýto princip umožňuje z porovnávaných programů jen program Criterium Decision Plus.

Závěrem bych chtěl podotknout, že u všech výše uvedených metod je poměrně velké nebezpečí, že vstupní data pro hodnocení budou zadávána subjektivně, což může přímo vytvořit chtěný výsledek. Tomu lze částečně čelit tím, že hodnocení provádí více pracovníků. I tak je však nutno počítat s riziky neúspěchu a mít na zřeteli, že každý program je jen nástrojem pro zjednodušení, ale samotné rozhodnutí a zodpovědnost zůstává na člověku.

## 12 Literatura

- [1] ČERNÝ, Martin, GLÜCKAUFOVÁ, Dagmar. *Vícekriteriální rozhodování za neurčitosti*. 1. vyd. Praha : Academia, 1987. 148 s. ISBN 21-123-8.
- [2] FIALA, Petr, JABLONSKÝ, Josef, MAŇAS, Miroslav. *Vícekriteriální rozhodování*. 1. vyd. Praha : Vysoká škola ekonomická v Praze, 1994. 316 s. ISBN 80-7079-748-7.
- [3] FOTR, Jiří, DĚDINA, Jiří. *Manažerské rozhodování*. 1. vyd. Praha : Vysoká škola ekonomická v Praze, 1993. 170 s. ISBN 80-7079-939-0.
- [4] RAMÍK, Jaroslav. *Vícekriteriální rozhodování : Analytický hierarchický proces (AHP)*. 1. vyd. KARVINÁ : MORAVIAPRESS REPRO s.r.o., 1999. 216 s. ISBN 86-7248-047-2.
- [5] ČIHAR, Jiří. Vizualizace dat pomocí grafických prvků. *Excel Asistent Magazin PREMIUM* [online]. 2005, roč. 3, č. 2 [cit. 2005-09-03], s. 8-11. Dostupný z WWW: <[www.dataspectrum.cz](http://www.dataspectrum.cz)>. ISSN 1801-2361.
- [6] TRICK, Michael A.. *Analytic Hierarchy Process* [online]. 1996 , 23.11.1996 [cit. 2005-07-17]. Dostupný z WWW: <<http://mat.gsia.cmu.edu/mstc/multiple/node4.html>>.
- [7] *Expert Choice : otherwise you're just guessing* [online]. Expert Choice, Inc., 2005 [cit. 2006-03-03]. Angličtina. Dostupný z WWW: <[www.expertchoice.com](http://www.expertchoice.com)>.
- [8] *Expert Choice* [online]. CALS servis [cit. 2006-05-20]. Dostupný z WWW: <[www.cals.cz/sluzby3.htm](http://www.cals.cz/sluzby3.htm)>.

### Použité programy:

Microsoft Word 2003  
Microsoft Excel 2003  
Expert Choice verze 11  
Criterium Decision Plus verze 3.0  
Sanna – doplněk k MS Excel

## 13 Přílohy

### 13.1 Výpočty v MS Excel k porovnání metod výpočtu rozhodovací matice

Gometrický průměr				sum.	norm.	pořadí
1	1/7	1/3	1/5	0,312394	<b>0,05502</b>	4
7	1	5	3	3,201086	<b>0,56381</b>	1
3	1/5	1	1/3	0,66874	<b>0,11779</b>	3
5	1/3	3	1	1,495349	<b>0,26338</b>	2
				5,677569		
Aritmetický průměr						
1	1/7	1/3	1/5	0,419048	<b>0,05314</b>	4
7	1	5	3	4	<b>0,50725</b>	1
3	1/5	1	1/3	1,133333	<b>0,14372</b>	3
5	1/3	3	1	2,333333	<b>0,29589</b>	2
				7,885714		
Řádkové součty upravené saatyho matice						
1	1/7	1/3	1/5			
7	1	5	3			
3	1/5	1	1/3			
5	1/3	3	1			
<b>16</b>	<b>1,67619</b>	<b>9,333333</b>	<b>4,533333</b>			
1/16	15/176	1/28	3/68	0,227559	<b>0,05689</b>	4
7/16	105/176	15/28	45/68	2,23157	<b>0,55789</b>	1
3/16	21/176	3/28	5/68	0,48749	<b>0,12187</b>	3
5/16	35/176	9/28	15/68	1,05338	<b>0,26335</b>	2
				4		
Převrácené součty sloupců saatyho matice						
1	1/7	1/3	1/5			
7	1	5	3			
3	1/5	1	1/3			
5	1/3	3	1			
0,0625	0,596591	0,107143	0,220588	0,986822		
<b>0,06333</b>	<b>0,60456</b>	<b>0,10857</b>	<b>0,22353</b>			
4	1	3	2			
Řádkové součty saatyho matice						
1	1/7	1/3	1/5	1,67619	<b>0,05314</b>	4
7	1	5	3	16	<b>0,50725</b>	1
3	1/5	1	1/3	4,533333	<b>0,14372</b>	3
5	1/3	3	1	9,333333	<b>0,29589</b>	2
				31,54286		
Srovnání						
Saatyho metoda		0,05529	0,56501	0,11750	0,26220	
Gometrický průměr		0,05502	0,56381	0,11779	0,26338	
Aritmetický průměr		0,05314	0,50725	0,14372	0,29589	
Řádkové součty upravené saatyho matice		0,05689	0,55789	0,12187	0,26335	
Převrácené součty sloupců saatyho matice		0,06333	0,60456	0,10857	0,22353	
Řádkové součty saatyho matice		0,05314	0,50725	0,14372	0,29589	
Odchylky						
Gometrický průměr		0,00027	0,00120	0,00029	0,00118	Prum odch max odch
Aritmetický průměr		0,00215	0,05776	0,02622	0,03369	0,00073 0,00120
Řádkové součty upravené saatyho matice		0,00160	0,00712	0,00437	0,00115	0,02996 0,05776
Převrácené součty sloupců saatyho matice		0,00804	0,03955	0,00893	0,03867	0,00356 0,00712
Řádkové součty saatyho matice		0,00215	0,05776	0,02622	0,03369	0,02380 0,03955
						0,02996 0,05776

## 13.2 Technický popis použitých příkazů v MS Excelu

### Výpočet nenormované váhy i-tého kritéria (metodou geometrického průměru)

$$v_i' = \sqrt[k]{\prod s_{ij}}$$

Příkaz v excelu: **GEOMAN**

$v_i'$  - nenormovaná váha i-tého kritéria

$s_{ij}$  - prvky rozhodovací matice

k – počet kritérií

Příkaz GEOMAN vypočte geometrický průměr v zadaných buňkách. V našem případě v jednom řádku rozhodovací matice. Tento výpočet je aplikován na každý řádek rozhodovací matice (řádky představují jednotlivá kritéria respektive varianty). Tyto výpočty jsou ve sloupci D a jsou označeny  $v_i'$ .

Příklad:

GEOMAN(F8:O8) vypočte geometrický průměr v osmém řádku buněk F8 až O8

### Normování vah

$$v_i = v_i' / \sum v_i'$$

Příkaz v excelu: **SUMA**

$v_i'$  - nenormovaná váha i-tého kritéria

Normovaná váha je počítána jako podíl hodnoty geometrického průměru řádku ku součtu geometrických průměrů všech řádků rozhodovací matice. Pro součet geometrických průměrů je použit příkaz SUMA. Normované váhy jsou ve sloupci C označené jako  $v_i$ .

Příklad:

D8/SUMA(D8:D17) vydělí hodnotu v buňce D8 součtem buněk D8 až D17

### Lambda<sub>max</sub>

Odvození vzorce:

$$S \cdot v = \lambda_{\max} \cdot v \quad (S - \text{rozhodovací matice } \lambda_{\max} - \text{největší vlastní číslo matice } v - \text{vlastní vektor matice } s_{xx} - \text{prvky matice})$$

⇓

$$s_{11} \cdot v_1 + s_{21} \cdot v_2 + \dots + s_{n1} \cdot v_n = \lambda_{\max} \cdot v_1$$

⇓

$$\lambda_{\max} = (s_{11} \cdot v_1 + s_{21} \cdot v_2 + \dots + s_{n1} \cdot v_n) / v_1$$

$\lambda_{\max}$  je tedy počítána následujícím způsobem: hodnoty prvního řádku se vynásobí hodnotami výsledných vah a to tak, že první buňku z řádku vynásobíme vahou v prvním řádku + druhou buňku z řádku matice vynásobíme vahou z druhého řádku atd. Tento součet pak vydělíme vahou v prvním řádku.

	$v_i$	$v_i'$		V1	V2	V3	V4	V5
				K1	K2	K3	K4	K5
V1	0,064612	0,48	K1	1	1/8	2	1/2	1/5
V2	0,481739	3,57	K2	8	1	9	4	2
V3	0,037227	0,28	K3	1/2	1/9	1	1/5	1/7
V4	0,141289	1,05	K4	2	1/4	5	1	1/2
V5	0,275132	2,04	K5	5	1/2	7	2	1

Příklad:

$(B3 * E3 + B4 * F3 + B5 * G3 + B6 * H3 + B7 * I3) / B3$

### Koeficient konzistence CI

$$CI = (\lambda_{\max} - k) / (k - 1)$$

k – počet kritérií

$\lambda_{\max}$  – největší vlastní číslo matice

### Určení pořadí

Příkaz v Excelu: **RANK**

Tento příkaz přidělí vybrané buňce pořadí podle velikosti hodnot z definované oblasti buněk.

Příklad:

$RANK(E9;E9:E18)$  přidělí buňce E9 pořadí dle hodnot buněk E9 až E18

### Histogram

Příkaz v Excelu: **OPAKOVAT**("n"; hodnota) font: Wingdings

Tento příkaz v kombinaci s fontem Wingdings vytvoří řadu čtverečků, jejich počet se bude řídit danou hodnotou, což vytvoří grafické znázornění výsledku.

Příklad:

$OPAKOVAT("n";E5)$  vytvoří řadu čtverečků, jejich počet se bude řídit hodnotou v buňce E5

[5]

### Další použité příkazy a funkce

KDYŽ , SOUČIN , ŘÁDKY , Podmíněné formátování, Vložit propojení

### 13.3 Příložené soubory k bakalářské práci

AHP.xls	metoda AHP v MS Excel
Příklad Excel.xls	příklad v MS Excel pro porovnání programů
Příklad EC.ahp	příklad v programu Expert Choice
Příklad CDP.cdp	příklad v programu Criterium Decision Plus
Výpočty metod.xls	výpočty pro srovnání metod výpočtu rozhodovací matice

Název práce	Realizace metody AHP v prostředí tabulkového kalkulátoru
Autor práce	Jaroslav Shejbal
Studijní obor	Regionální a informační management
Rok obhajoby	2006
Vedoucí práce	doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.
Anotace	Popis, návrh, realizace a užití metody AHP
Klíčová slova	Rozhodovací procesy, rozhodovací metody, kritérium, varianta, normování, váha kritéria, dílčí ohodnocení varianty, celkové ohodnocení varianty, optimální varianta, AHP