



## APLIKÁCIA METÓD VIACKRITERIÁLNEHO ROZHODOVANIA V KRÍZOVOM RIADENÍ

Jaromír Máca<sup>1</sup>, Bohuš Leitner<sup>2</sup>

### SUMMARY:

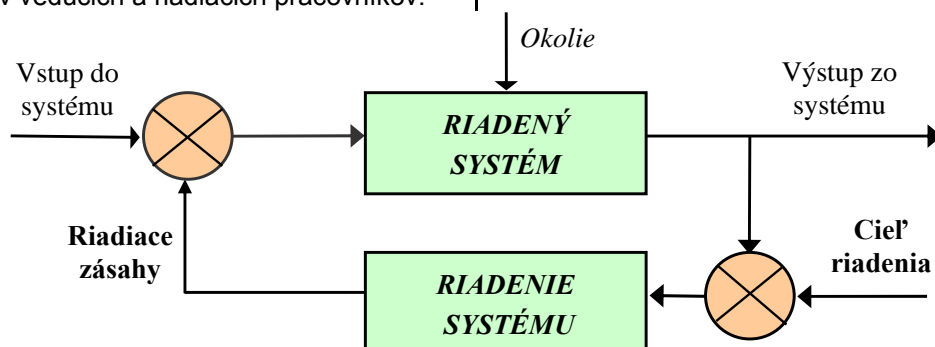
Paper is dealing with the characterization and position of decision making in a general controlled system and with a clarifying of principles of multicriterial decision making essential methods. A special attention is paid namely to the Analytic Hierarchy Process and to the realization of its accurate and approximate formulation because this method is regarded as the best worked out procedure of a multicriterial decision making.

### 1. ÚVOD

Zo všeobecnej definície riadenia je zrejmé, že pojem riadenie možno zjednodušene chápať ako každé cieľavedomé pôsobenie riadiaceho člena (subjektu, systému) na riadený objekt (sústavu). Z toho implicitne vyplýva, že pri riadení vždy definujeme cieľ riadenia („cieľavedomé“) a v riadenom systéme rozlišujeme riadený objekt a riadiaci subjekt.

Ak sa od všeobecných abstraktných systémov presunieme k organizáciám, ktorých sa môže týkať prechod na krízové riadenie, je možné konštatovať, že prakticky vždy ide o systémy zložité (spoločenské, ekonomické, výrobné, administratívne, vojenské a pod.) zložené z kolektívov ľudí, techniky a materiálnych prostriedkov, z ktorých funkciu riadiaceho subjektu na seba preberá tzv. „ľudský činiteľ“, tzn. kolektív vedúcich a riadiacich pracovníkov.

Ako bolo publikované napr. v [1], prechod na riadenie v krízových situáciách spravidla znamená **zmenu cieľa riadenia** (napr. pre výrobný podnik - za normálnych podmienok riadený s cieľom realizovať maximálny zisk pri minimálnych vstupných nákladoch - znamená prechod na krízový stav (napr. prevádzková havária) zmenu cieľov riadenia na minimálne straty na životoch a ohrozenie zdravia, minimálne materiálne straty, čo najrýchlejšie obnovenie výroby apod. Je zrejmé, že pri riadení takýchto systémov je definovaný jediný cieľ riadenia iba výnimočne, zatiaľ čo v reálnej praxi rozhodovanie musí určitým spôsobom vyhovovať viacerým kritériám, či už v normálnom alebo v krízovom stave. Vhodným nástrojom pre optimálne rozhodovanie v takýchto prípadoch sú metódy tzv. **viackriteriálneho rozhodovania**.



Obr. 1 Základná schéma riadenia

<sup>1</sup> Jaromír Máca, prof., Ing., CSc., Fakulta špeciálneho inžinierstva, Katedra technických vied a informatiky, Žilinská univerzita v Žiline, ul. 1 mája 32, 010 26 Žilina, e-mail: Jaromir.Maca@fsi.uniza.sk

<sup>2</sup> Bohuš Leitner, doc., Ing. PhD., Fakulta špeciálneho inžinierstva, Katedra technických vied a informatiky, Žilinská univerzita v Žiline, ul. 1 mája 32, 010 26 Žilina, e-mail: Bohus.Leitner@fsi.uniza.sk

## 2. VIACKRITERIÁLNE ROZHODOVANIE

Je známych niekoľko metód viackriteriálneho rozhodovania. Od najjednoduchších – metóda rozhodovacej matice (DMM), metóda párového porovnania (FDMM) až po metódy prácnejšie, ale objektívnejšie, ako napr. viacúrovňová analytická metóda (AHP), ktorá však už k svojmu využitiu vyžaduje výpočtovú techniku so špecifickým programovým vybavením.

Spoločným znakom všetkých takýchto metód je, že posudzujú viac variantov možného riešenia podľa rôznych stanovených kritérií. Pri riešení sa vždy v prvom poradí určí váha jednotlivých kritérií (ohodnotenie ich dôležitosť z hľadiska určeného cieľa) a následne sa kvantitatívne hodnotí, ako jednotlivé varianty riešenia zvoleným kritériám vyhovujú [2]. Jednotlivé metódy sa pritom líšia hlavne v spôsobe kvantifikácie pri oboch hodnoteniach.

### 2.1 Metóda rozhodovacej matice (DMM – Decision Matrix Method)

Je najjednoduchšou metódou viackriteriálneho rozhodovania (multikriteriálnej optimalizácie). Jeden z jej variantov spočíva v hodnotení váhy (dôležitosť) jednotlivých kritérií bodovou stupnicou od „1“ po „10“ tak, že stupeň 1 je priradený najmenšej dôležitosť a stupeň 10 najväčšej. Rovnakou stupnicou sa hodnotí aj to, ako jednotlivé varianty riešenia vyhovujú zvoleným kritériám tzn. od „1- nevyhovuje“ až po „10 - vyhovuje ideálne“. Za výsledné, tzv. agregované kritérium sa volí **najväčší vážený súčet** tzn. súčet súčinov hodnotenia miery splnenia kritérií a ich váhy.

**Príklad:** sú hodnotené tri varianty riešenia evakuácie podniku a jeho najbližšieho okolia podľa zvolených kritérií v tvare :

- K1 - Ochrana života a zdravia osôb,**
- K2 - Čas evakuácie,**
- K3 - Náklady na riešenie situácie**
- K4 - Potreba materiálnych prostriedkov.**

Získané výsledky sú zhrnuté v Tab.1.

Kritérium	Váha	Hodnotenie variantov		
		Var.1	Var.2	Var.3
K1	10	9	6	5
K2	7	8	9	6
K3	6	7	8	9
K4	8	6	7	8
<b>Váž. súčet</b>		<b>236</b>	<b>227</b>	<b>210</b>
<b>Poradie</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Tab. 1 Rozhodovacia matica pre DMM

Pri tomto prístupe sú sporné dva aspekty. Po prvé vysoký podiel subjektivity v hodnotení, ako jednotlivé varianty riešenia vyhovujú zvoleným kritériám a po druhé aj subjektívne určenie váhy jednotlivých kritérií.

### 2.2 Metóda párového porovnania (FDMM - Forced Decision Matrix Method)

Metóda čiastočne eliminuje vyššie uvedené nevýhody tak, že či už váhy kritérií alebo aj hodnotenie splnenia kritérií sa určujú tzv. párovým porovnaním.

Prakticky to znamená, že pri porovnaní dvoch kritérií alebo variantov je významnejšie kritérium alebo lepšie riešenie hodnotené „1“ a menej významné kritérium alebo horšie riešenie hodnotou „0“. V prípade rovnakej dôležitosť kritérií alebo kvality riešenia sa použije hodnota „1/2“ resp. „0,5“. Uvedený postup bude ilustrovaný na rovnakom príklade a získané výsledky sú zhrnuté v Tab.2.

#### a) Párové porovnanie kritérií

Krit.	1	2	3	4	Σ	Váha
1	-	1	1	1	3	0,5
2	0	-	1	0	1	0,167
3	0	0	-	0	0	0
4	0	1	1	-	2	0,333

#### b) Porovnanie variantov riešenia podľa jednotlivých kritérií

Podľa K1	1	2	3	Σ	Váha
1	-	1	1	2	0,667
2	0	-	1	1	0,333
3	0	0	-	0	0

Podľa K2	1	2	3	Σ	Váha
1	-	0	1	1	0,333
2	1	-	1	2	0,667
3	0	0	-	0	0

Podľa K3	1	2	3	Σ	Váha
1	-	0	0	0	0
2	1	-	0	1	0,333
3	1	1	-	2	0,667

Podľa K4	1	2	3	Σ	Váha
1	-	0	0	0	0
2	1	-	0	1	0,333
3	1	1	-	2	0,667

c) Výsledné hodnotenie

Kritérium	Váha	Hodnotenie variantov		
		Var.1	Var.2	Var.3
K1	0,5	0,667	0,333	0
K2	0,167	0,333	0,667	0
K3	0	0	0,333	0,667
K4	0,333	0	0,333	0,667
<b>Váž. súčet</b>		<b>0,3911</b>	<b>0,3878</b>	<b>0,2211</b>
<b>Poradie</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Tab. 2 Rozhodovacie matice pre FDMM

Z vyššie uvedených výsledkov, rozhodovacích matíc a postupov riešenia je zrejmé, že výsledné váhy i hodnotenia dostaneme tak, že súčty ich ohodnotení „normujeme“, tzn. požadujeme, aby ich súčet bol rovný jednej.

Uvedená metóda má oproti DMM výhodu v tom, že váhu kritérií stanovuje už exaktnejšie, ale na druhej strane nevýhodu, že dostávame veľké rozdiely v hodnotení jednotlivých variantov alebo kritérií i vtedy, keď sa líšia iba málo. Napríklad z hodnotenia dodávateľov 1 a 3, podľa kritéria K4 - potreba materiálnych prostriedkov, ktoré bolo v prvej metóde 6 a 8 sme dostali hodnoty 0 a 0,667, ktoré sa líšia veľmi významne. Navyše, pri určení váhy kritéria alebo hodnotenia alternatívy rovnom nule, príslušné hodnoty (veľičiny) nemajú na celkové hodnotenie žiadny vplyv.

### 2.3. Analytická viacúrovňová metóda (AHP - Analytic Hierarchy Process)

Je z uvedených metód najkvalitnejšia, pretože do určitej miery odstraňuje nedostatky predchádzajúcich metód a súčasne využíva ich všetky prednosti a výhody [1,3]. Metóda je založená taktiež na párovom porovnávaní stupňa významnosti jednotlivých kritérií a miery toho, ako hodnotené varianty riešenia tieto kritériá spĺňajú. Stupnica hodnotenia je však podstatne komplexnejšia.

Hodnotenie je v oboch prípadoch tzn. pri párovom porovnávaní kritérií i párovom porovnávaní variantov, založené na expertnom odhade, pri ktorom odborníci v danom odbore porovnávajú vzájomné vplyvy dvoch faktorov. Vzájomné vplyvy hodnotia na základe stupnice [rovnaký, slabý, stredný, silný, veľmi silný] pričom slovnému hodnoteniu odpovedajú číselné hodnoty, ako je zrejmé z Obr.2.

V prípade podľa Obr.2., keď sú v hodnotiacom formulári vyznačené 2 možnosti (silná a veľmi silná prevaha vplyvu faktora B nad faktorom A), sa ako výsledné hodnotenie v riadku

faktora B a stĺpci odpovedajúcemu porovnaniu s faktorom A objaví hodnota 8. Naopak v riadku faktora A a stĺpci odpovedajúcemu porovnaniu s faktorom B sa uvedie prevrátená hodnota tzn. hodnota 1/8.

Faktor A					Faktor B				
9	7	5	3	1	3	5	7	9	
							X	X	
<i>Veľmi silný</i>	<i>Silný</i>	<i>Stredný</i>	<i>Slabý</i>	<i>Rovnaký</i>	<i>Slabý</i>	<i>Stredný</i>	<i>Silný</i>	<i>Veľmi silný</i>	

Obr. 2 Formulár k posudzovaniu dvoch faktorov

Odlišnosť oproti tabuľkám v prostom párovom porovnaní je v tom, že do rozhodovacej matice sa zaraďuje i vzájomné porovnanie rovnakých premenných s ohodnotením 1 (rovnaký vplyv).

Ďalší postup určenia váh kritérií a porovnania variantov riešení je oproti predchádzajúcim metódam komplikovanejší, pretože je potrebné pre každú maticu určiť normovaný vlastný vektor, odpovedajúci najväčšej reálnej vlastnej hodnote (vlastnému číslu) matice. Jeho zložky potom (podobne ako u metódy párového porovnania) určujú váhy kritérií a hodnotenie variantov riešenia podľa jednotlivých kritérií.

Výsledné ohodnotenie variantov získame ako vážený súčet určených hodnotení násobených váhami kritérií. Pre ilustráciu sú v Tab.3 uvedené výsledky pre modelový príklad.

#### a) Párové porovnanie kritérií

Kritérium	1	2	3	4
1	1	5	7	3
2	1/5	1	3	1/5
3	1/7	1/3	1	1/4
4	1/3	5	4	1

Vlastné číslo  $\lambda_{\max}=4,245$

Normalizovaný vlastný vektor  $a_k = \begin{bmatrix} 0,550 \\ 0,105 \\ 0,057 \\ 0,288 \end{bmatrix}$

#### b) Porovnanie variantov podľa kritérií

Podľa K1	1	2	3
1	1	5	7
2	1/5	1	3
3	1/7	1/3	1

Vlastné číslo  $\lambda_{\max}=3,065$

Normalizovaný vlastný vektor  $a_1 = \begin{bmatrix} 0,731 \\ 0,188 \\ 0,081 \end{bmatrix}$

Podľa K2	1	2	3
1	1	1/3	4
2	3	1	5
3	1/4	1/5	1

Vlastné číslo  $\lambda_{\max}=3,086$

$$\text{Normalizovaný vlastný vektor } a_2 = \begin{bmatrix} 0,280 \\ 0,627 \\ 0,093 \end{bmatrix}$$

Podľa K3	1	2	3
1	1	1/3	1/5
2	3	1	1/3
3	5	3	1

Vlastné číslo  $\lambda_{\max}=3,039$

$$\text{Normalizovaný vlastný vektor } a_3 = \begin{bmatrix} 0,105 \\ 0,258 \\ 0,637 \end{bmatrix}$$

Podľa K4	1	2	3
1	1	1/3	1/4
2	3	1	1/2
3	4	2	1

Vlastné číslo  $\lambda_{\max}=3,0183$

$$\text{Normalizovaný vlastný vektor } a_4 = \begin{bmatrix} 0,122 \\ 0,320 \\ 0,558 \end{bmatrix}$$

c ) *Výsledné hodnotenie*

Kritérium	Váha	Hodnotenie variantov		
		Var.1	Var.2	Var.3
K1	0,550	0,731	0,188	0,081
K2	0,105	0,280	0,627	0,093
K3	0,057	0,105	0,258	0,637
K4	0,288	0,122	0,320	0,558
<b>Váž. súčet</b>		0,437	0,276	0,251
<b>Poradie</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Tab. 3 Rozhodovacie matice a určené normalizované vektory pre AHP

Metóda AHP je v súčasnosti považovaná za najsofistikovanejšiu metodiku rozhodovacej analýzy. Existujú aj presné kritériá hodnotenia vierohodnosti jednotlivých rozhodovacích matíc podľa tzv. **indexu konzistencie matíc**. Navyše je metóda, ako už vyplýva z jej názvu, vhodná najmä pre viac úrovňové (hierarchické) rozhodovanie, tzn. každé zvolené kritérium môže byť ďalej rozdelené na sub-kritériá a tieto prípadne na sub-sub-kritériá, podľa ktorých sa porovnávajú všetky varianty riešenia.

## 2.4. Približná AHP metóda

Metóda AHP je v súčasnosti považovaná za najkomplexnejší a najviac využívaný postup viackriteriálneho rozhodovania (optimalizácie). Bola okrem iného využitá v ČR pri rozhodovaní o ponukách pri nákupe bojových lietadiel. Ponuky boli hodnotené podľa vyše 270 kritérií. Metóda AHP, okrem jej vyššie uvedených predností (hlavne ponúka korektné podklady pre optimálne rozhodovanie), má však aj dosť významnú nevýhodu – vyžaduje relatívne náročné výpočty, ktoré nemožno realizovať bez využitia výpočtovej techniky.

Napríklad, určenie normovaného vlastného vektora hodnotiacej matice prislúchajúceho jej v absolútnej hodnote najväčšiemu reálnemu vlastnému číslu si vyžaduje:

- určenie koeficientov charakteristického polynómu matice,
- jeho riešenie, výsledkom ktorého sú vlastné čísla matice,
- riešenie sústavy lineárnych algebraických rovníc pre určenie zložiek vlastného vektora pre určené vlastné číslo matice.

Pri bežnom rozhodovaní v každodennej praxi však nemá každý k dispozícii programy na získanie uvedených parametrov, respektíve programový balík určený k tomuto účelu. Boli preto hľadané postupy, ktoré by poskytli hodnoty aspoň blízke sa hodnotám presným.

Jednu z navrhovaných približných metód našla pri riešení svojej dizertačnej práce Danišková [4]. Presný zdroj sa nám však vo vyše 11 000 odkazoch z vyhľadávачa Google nepodarilo nájsť. Údaje pochádza z University of Texas. Metóda je neuveriteľne jednoduchá. Zložky vlastného vektora hodnotiacej matice **H** o rozmeroch (n x n) možno určiť ako n-tú odmocninu zo súčinov prvkov v každom riadku

$$a_i = \sqrt[n]{h_{i1} \times h_{i2} \times \dots \times h_{in}}$$

Normovaný vlastný vektor, či už pre určenie váhy kritérií alebo pre hodnotenie variantov podľa jednotlivých kritérií, sa potom získa štandardným postupom. Pre porovnanie kvality výstupov budú uvedené niektoré výsledky z aplikácie približnej metódy na hodnotiace matice rovnaké ako v podkapitole 2.3. Pre váhy kritérií to bude vektor

$$a_{kN} = \begin{bmatrix} 0,559 \\ 0,103 \\ 0,058 \\ 0,281 \end{bmatrix}$$

a pre hodnotenie variantov podľa jednotlivých kritérií sú to vektory

$$\mathbf{a}_{1N} = \begin{bmatrix} 0,731 \\ 0,188 \\ 0,081 \end{bmatrix}, \mathbf{a}_{2N} = \begin{bmatrix} 0,280 \\ 0,627 \\ 0,094 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{a}_{3N} = \begin{bmatrix} 0,105 \\ 0,258 \\ 0,637 \end{bmatrix}, \mathbf{a}_{4N} = \begin{bmatrix} 0,122 \\ 0,320 \\ 0,558 \end{bmatrix}.$$

Na prvý pohľad je zrejmé, že najmä pre hodnotiace matice s rozmerom (3 x 3) je zhoda približných hodnôt s presnými veľmi dobrá. Zhoda sa žiaľ zhoršuje a rastúcimi rozmermi hodnotiacich matíc. Tak napr. pre hodnotiacu maticu  $\mathbf{H}$  o rozmeroch (5 x 5)

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1/2 & 4 & 2 \\ 1/5 & 1 & 6 & 7 & 1/3 \\ 2 & 1/6 & 1 & 1/5 & 3 \\ 1/4 & 1/7 & 5 & 1 & 2 \\ 1/2 & 3 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

je určené vlastné číslo matice  $\lambda_{\max} = 8,5744$  a presné hodnoty normovaného vlastného vektora  $\mathbf{a}_{kN}$  a hodnoty približné  $\mathbf{a}_{kN \text{ pribl}}$  sú

$$\mathbf{a}_{kN} = \begin{bmatrix} 0,341 \\ 0,230 \\ 0,136 \\ 0,152 \\ 0,142 \end{bmatrix}, \mathbf{a}_{kN \text{ pribl}} = \begin{bmatrix} 0,326 \\ 0,220 \\ 0,130 \\ 0,187 \\ 0,136 \end{bmatrix}.$$

Je vidieť, že sa zhoda hodnôt už zhoršila. Táto skutočnosť je ešte výraznejšia pri hodnotiacej matici  $\mathbf{H}$  o rozmeroch (8 x 8).

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 & 4 & 1/6 & 8 & 1 & 1/5 \\ 1/2 & 1 & 5 & 1/9 & 7 & 3 & 1/7 & 2 \\ 3 & 1/5 & 1 & 3 & 1/8 & 5 & 1/3 & 3 \\ 1/4 & 9 & 1/7 & 1 & 4 & 4 & 1/2 & 5 \\ 6 & 1/7 & 8 & 1/4 & 1 & 1/6 & 1/3 & 7 \\ 1/8 & 1/3 & 1/5 & 1/4 & 6 & 1 & 1/6 & 1/8 \\ 1 & 7 & 3 & 2 & 3 & 6 & 1 & 1/4 \\ 5 & 1/2 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 8 & 4 & 1 \end{bmatrix}.$$

Vlastné číslo matice je  $\lambda_{\max} = 17,000$ . Presné hodnoty zložiek normovaného vlastného vektora  $\mathbf{a}_{kN}$  a hodnoty približné  $\mathbf{a}_{kN \text{ pribl}}$  sú

$$\mathbf{a}_{kN} = \begin{bmatrix} 0,108 \\ 0,130 \\ 0,101 \\ 0,172 \\ \mathbf{0,149} \\ 0,066 \\ 0,159 \\ 0,116 \end{bmatrix}, \mathbf{a}_{kN \text{ pribl}} = \begin{bmatrix} 0,109 \\ 0,122 \\ 0,116 \\ 0,174 \\ \mathbf{0,108} \\ 0,041 \\ 0,220 \\ 0,110 \end{bmatrix}.$$

$$\sum = 1,000 \quad \sum = 1,000$$

Z uvedeného je zrejmé, že presnosť určenia niektorých zložiek ďalej poklesla. To by však nebolo najvýznamnejšie. Oveľa dôležitejší je poznatok, že pri približnej metóde sa často mení aj poradie váh jednotlivých kritérií (príp. hodnotení). Napr. 5.zložka približne určeného vektora (hodnota 0,108) je až siedma v poradí podľa veľkosti, zatiaľ čo v presne určenom vektore je v poradí tretia (hodnota 0,149), čo môže mať za následok získanie nesprávnych podkladov pre konečné rozhodnutie.

### 3. ZÁVER

Príspevok obsahuje najmä krátke objasnenie princípov základných metód viackritériálneho rozhodovania. Zvláštna pozornosť je venovaná najmä viacúrovňovej analytickej metóde AHP a realizácii jej presnej a približnej formulácie, nakoľko je považovaná za najprepracovanejšiu metodiku multikritériálneho rozhodovania. Z vyššie uvedeného vyplýva, že približná metóda dáva dobré podklady iba pre rozhodovanie problémov s menšími rozmermi hodnotiacich matíc (max.4 x 4). Pre väčšie rozmery problémov je však potrebné pre objektívne a kvalifikované rozhodnutie použiť metódu presnú, aj napriek jej niektorým nedostatkom a väčšej výpočtovej náročnosti.

### LITERATÚRA

- [1] JAISWAL, N. K.: Military Operations Research. Kluwer Academic Publ., Boston/Dodrecht/London 1997.
- [2] MÁCA, J., LEITNER, B.: Operačná analýza pre bezpečnostný manažment. FŠI ŽU, Žilina 002.
- [3] SAATY, T.L.: How To Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. Interfaces, Vol.24, No.6, pp. 19-43, 1994
- [4] DANIŠKOVÁ, M.: Viackritériálna optimalizácia v krízovom riadení. Diz.práca, FŠI ŽU, Žilina 2007.

Recenzoval :