

# MULTIKRITERIÁLNÍ HODNOCENÍ

AKCE „Analýza variant přestavby železničního uzlu Brno“

*Konečné znění*



25. 07. 2007

# MULTIKRITERIÁLNÍ HODNOCENÍ DVOU VARIANT PŘESUNU OSOBNÍHO NÁDRAŽÍ V ŽELEZNIČNÍM UZLU BRNO

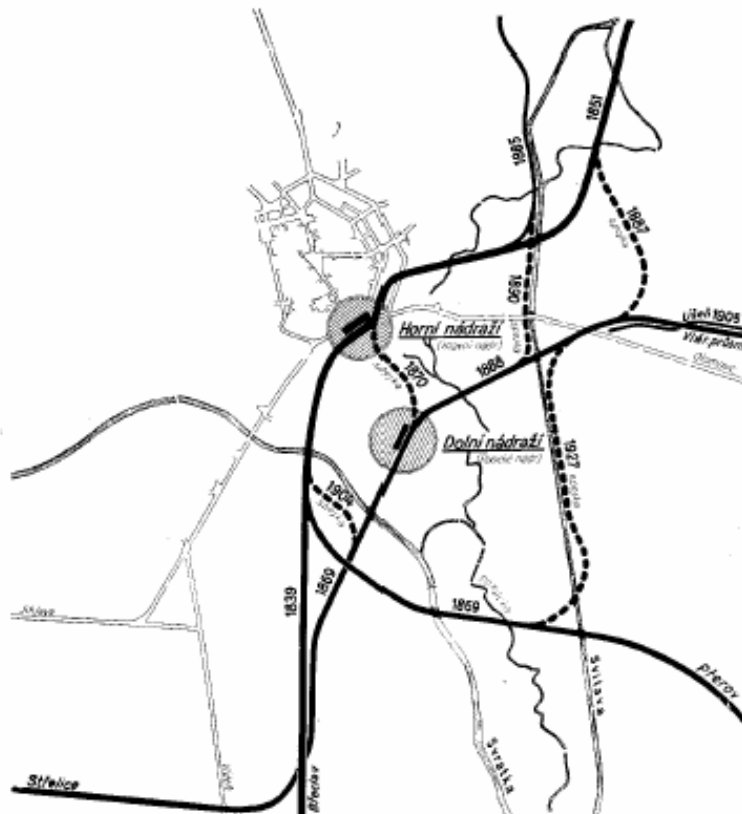
## OBSAH:

	STRANA
TITULNÍ LIST	1
OBSAH	2
1 EXPOZICE PROBLEMATIKY	4
2 ZADÁNÍ PRO ROZHODOVACÍ ANALÝZU	5
3 TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY	10
4 MULTIKRITERIÁLNÍ VYHODNOCENÍ POSUZOVANÝCH VARIANT	24
4.1 MODEL PRO ROVNOCENNÝ VÝZNAM KRITÉRIÍ	24
4.2 STANOVENÍ RELATIVNÍHO VÝZNAMU (VÁHY) KRITÉRIÍ	33
4.3 MODEL PRO DIFERENCOVANÝ VÝZNAM KRITÉRIÍ (STANDARDNÍ ŘEŠENÍ)	38
4.4 TESTY CITLIVOSTI	42
4.5 TEST SHODY - GRAFICKÝ PRAVDĚPODOBNOSTNÍ MODEL GENIE	44
5 HODNOCENÍ PODLE POLITICKÉ REPREZENTACE MĚSTA BRNA	49
6 NEJISTOTY A RIZIKA	56
7 SOUHRN A ZÁVĚRY MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZY	58
LITERATURA	61





Hlavní nádraží



Vítězný návrh nového nádraží

# 1 EXPOZICE PROBLEMATIKY

Obsahem podkladové studie je formalizované posouzení dvou variant pro PŘESUN OSOBNÍHO NÁDRAŽÍ V ŽELEZNIČNÍM UZLU BRNO. Studie je zpracována na základě objednávky CITYPLAN spol. s r.o. Praha a uzavřené smlouvy o dílo č. 07-2054-20.

Rozhodovací multikriteriální analýza je provedena pro dva zadavatelem definované scénáře (varianty)  $V_A$  a  $V_B$  a třicet robustních kritérií. Zadávací dokumentace byla připravena a řešiteli předána komplexně s tím, že geneze vstupních údajů, jejich výklad a zdůvodnění netvoří předmět této podkladové studie.

Řešení bylo provedeno standardním způsobem pomocí maticové tabulky interakcí. Analýza se opírá o axiomatickou teorii kardinálního užitku MUT (*Multiattribute Utility Theory*) a aplikuje metodu TUKP (*Totálního ukazatele kvality prostředí*). Řešení obsahuje a porovnává výsledky dvou modelů, tj. modelu pro rovnocenný význam kritérií (tzv. nevážený výstup) a pro diferencovaný význam kritérií (standardní řešení). Výsledky jsou kriticky porovnány.

Obdržené výsledky byly kontrolovány pomocí *Grafického pravděpodobnostního modelu GENIE* (University of Pittsburgh, Pennsylvania, USA), viz test shody.

Dokončení rozhodovacího procesu musí být korigováno širšími celospolečenskými souvislostmi, které nejsou (nemohou být) obsahem formalizované analýzy.

25. července 2007

prof. Ing. Josef Říha, DrSc.

Kontakt:

prof. Ing. Josef Říha, DrSc.  
emeritní profesor ČVUT v Praze  
19014 PRAHA 9 – KLÁNOVICE, SMIŘICKÁ 339  
Tel., zázn., fax: 281960045  
Mobil: 721780992  
e-mail: riha.joe@volny.cz

## 2 ZADÁNÍ PRO ROZHODOVACÍ MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZU

Pro vyhodnocení a určení preferencí byl zadán soubor dvou variant, viz **box (i)**, a soubor třiceti kritérií, viz **box (ii)**.

### Box (i) ZADANÝ SOUBOR SCÉNÁŘŮ (VARIANT $V_i$ )

INDEX	VARIANTA / CHARAKTERISTIKA
$V_A$	<p><b>Varianta „A“</b></p> <p>Nádraží v odsunuté poloze - novostavba</p> <p><b>Charakteristika:</b> Modernizace železničního provozu na území města v souladu s platným Územním plánem města Brna (SUDOP, ArchDesign)</p> <p>Brněnské nádraží bude přeloženo do prostoru bývalého nákladového nádraží a zde se nově vybuduje. Nové místo leží asi 700 m od okraje historického jádra města. Novostavba umožní libovolné rozšíření podle požadovaných kapacit bez restrikcí v nabídce ploch. Přeložením nádraží se uvolní plocha asi 90 ha pro rozšíření městského centra. To je maximální možné otevření plošných potenciálů pro rozvoj vnitřního města, aniž by se měnila či ovlivňovala existující zástavba.</p>
$V_B$	<p><b>Varianta „B“</b></p> <p>Přestavba a rozšíření stávajícího nádraží - rekonstrukce</p> <p><b>Charakteristika:</b> Modernizace železničního provozu na území města Brna s osobním nádražím podél ulice Nádražní (občanská koalice Nádraží v centru)</p> <p>Nádraží se ponechá na jeho současném místě přímo u městského jádra a rozšíří se. Stará nádražní budova a současné koleje se zmodernizují a zůstanou dále v provozu. Zvýšená poloha zůstane zachována v současné podobě, spodní části stavby se upraví, aby byly kvůli zmenšení bariéry propustné a otevřené. Tato varianta je výhodná pro chodce kvůli blízkosti městského centra, vykazuje však značné zásahy v rámci přestavby.</p>

**Box (ii) REFERENČNÍ SOUBOR KRITÉRIÍ (PARAMETRŮ  $P_j$ ) PRO VYHODNOCENÍ SCÉNÁŘŮ**

<b>HLEDISKO - KRITERIUM</b>	
<b>Index</b>	<b>Název – popis</b>
<b>A. PODMÍNKY PRO ŽELEZNIČNÍ PROVOZ</b>	
A1	Naplnění technických i provozních požadavků na modernizaci průjezdu železničním uzlem Brno ve vztahu k evropským železničním koridorům se zohledněním zapojení dalších tratí.
A2	Splnění technických požadavků regionální i dálkové osobní dopravy na moderním osobním nádraží a průjezdu nákladní dopravy.
A3	Propustnost uzlu v cílovém stavu i v jednotlivých etapách výstavby.
A4	Možnosti výhledového zapojení vysokorychlostních tratí
A5	Možnosti výhledového zapojení kolejového diametru jako součásti regionálního systému veřejné dopravy
A6	Provozní omezení v průběhu výstavby včetně požadavků na náhradní dopravu
<b>B. KVALITA SYSTÉMU VEŘEJNÉ DOPRAVY A JEHO NÁVAZNOST NA SÍŤ PRO INDIVIDUÁLNÍ DOPRAVU</b>	
B1	Kvalita dopravní nabídky v rámci přestupního uzlu u hlavního osobního nádraží mj. z hlediska kapacity a směrovosti.
B2	Kvalita navrženého řešení z hlediska celkových cestovních dob (při dálkových, příměstských i vnitroměstských cestách) se zohledněním rozvoje IDS a zřízením dalších přestupních uzlů
B3	Parametry docházkových a přestupních vzdáleností včetně překonávání výškových úrovní
B4	Míra komfortu a rozsahu prostor a ploch pro cestující veřejnost (uspořádání zastávek, nástupišť)
B5	Vliv na přepravní proudy IDS
B6	Vazba na autobusovou dopravu
B7	Dopravní spojení k letišti
B8	Dostupnost a kapacita parkovacích míst
B9	Vliv jednotlivých etap výstavby na funkčnost systému a provozní podmínky veřejné i individuální dopravy
<b>C. MOŽNOSTI URBANIZACE JIŽNÍ ČÁSTI MĚSTA A CELOMĚSTSKÉ SOUVISLOSTI</b>	
C1	Rozvojový potenciál
C2	Potenciál komerčního využití samotné nádražní budovy (mj. hodnocení požadavků na dopravní obsluhu)
C3	Výsledná bilance nezbytného zaboru ploch železničními stavbami na území města
C4	Významnost bariérového efektu
C5	Rozsah demolic a závažnost zásahů do památkově chráněných a kulturně cenných objektů
C6	Kvalita navazujícího řešení silniční sítě
C7	Možnosti navazující infrastruktury pro cyklodopravu
C8	Optimální dopravní zatížení ulice Nádražní
C9	Zatížení obyvatel hlukem (zhodnocení dle hlukové studie na základě počtu zasažených obyvatel v jednotlivých pásmech) systému a provozní podmínky veřejné i individuální dopravy
C10	Vlastnické vztahy v území a nakládání se stávajícími objekty včetně případných náhrad
<b>D. FINANČNÍ UDRŽITELNOST A PŘÍLEŽITOSTI PRO ZAPOJENÍ EVROPSKÝCH FONDŮ A VEŘEJNÝCH ROZPOČTŮ</b>	
D1	Očekávané náklady (investice, nezbytné majetkové změny, budoucí provozní

	náklady navrženého systému i vyvolané náklady v průběhu výstavby) celkově i v jednotlivých etapách
D2	Očekávané přínosy (výnosy pozemků, provozní příjmy atd.) celkově i v jednotlivých etapách
D3	Efektivita investice
D4	Možnosti strukturovaného financování se zapojením zdrojů jednotlivých partnerů
D5	Náklady (včetně vyvolaných investic) z rozpočtu města a jejich vliv na rozpočtový výhled, dluhovou bilanci, rating

V rámci čtyř hledisek (kategorií) hodnocení je uvažován diferencovaný počet kritérií v rozsahu 5 až 10 parametrů. Celkem je posuzováno 30 kritérií.

\*\*\*

Vstupy pro řešení byly zjištěny standardním způsobem pomocí jednoduché maticové tabulky interakcí, viz maticová tabulka vstupních údajů **box (iii)**. V souladu s pracovním výstupem pro soubor „Indikátorových listů“ byla hodnota incidence a potenciálního impaktu definována pomocí zvolené verbálně-numerické stupnice, viz **box (iv)**.

**Box (iii) MATICOVÁ TABULKA VSTUPNÍCH ÚDAJŮ PRO POSUZOVANÉ VARIANTY  $V_i$**

<b>MATICOVÁ TABULKA VSTUPNÍCH ÚDAJŮ</b>			
KRITÉRIUM $P_j$	PROGRAM – VARIANTA $V_i$		
	$V_A$ (odsunutá-novostavba)	$V_B$ (přisunutá-rekonstrukce)	RB – referenční bod (současný stav)
<b>A. PODMÍNKY PRO ŽELEZNIČNÍ PROVOZ</b>			
A1	9,00	6,80	4,60
A2	8,20	8,00	2,80
A3	6,00	8,40	4,60
A4	7,00	7,20	2,00
A5	6,00	6,00	6,00
A6	8,60	6,40	9,00
<b>B. KVALITA SYSTÉMU VEŘEJNÉ DOPRAVY A JEHO NÁVAZNOST NA SÍŤ PRO INDIVIDUÁLNÍ DOPRAVU</b>			
B1	4,60	7,80	8,20
B2	4,60	7,80	8,20
B3	4,60	5,80	6,40
B4	4,60	6,50	7,00
B5	6,80	7,00	6,40
B6	5,80	5,50	4,60
B7	6,40	7,00	4,60
B8	8,20	6,00	2,80
B9	6,00	5,50	10,00
<b>C. MOŽNOSTI URBANIZACE JIŽNÍ ČÁSTI MĚSTA A CELOMĚSTSKÉ SOUVISLOSTI</b>			
C1	7,25	7,75	xxx
C2	7,98	8,53	4,20
C3	7,88	7,13	xxx
C4	6,83	6,68	2,50
C5	6,64	6,86	xxx

C6	5,02	5,48	2,50
C7	6,27	5,73	1,50
C8	7,20	6,30	2,80
C9	6,98	6,53	3,00
C10	7,38	7,63	xxx
<b>D. FINANČNÍ UDRŽITELNOST A PŘÍLEŽITOSTI PRO ZAPOJENÍ EVROPSKÝCH FONDŮ A VEŘEJNÝCH ROZPOČTŮ</b>			
D1	4,00	5,00	xxx
D2	8,20	6,40	2,80
D3	2,00	2,80	xxx
D4	6,20	4,00	9,00
D5	3,00	8,20	10,00

### Box (iv) REFERENČNÍ VERBÁLNĚ NUMERICKÁ STUPNICE

#### Poznámky:

- ➔ Jde o přímou závislost transformace ve prospěch funkce užitku a bezpečnosti podle zásady „**čím vyšší ➔ tím lepší!**“
- ➔ Dva i více SCÉNÁŘŮ (variant) mohou obdržet stejný počet bodů (známku).

#### **POČET BODŮ: 10 - velmi dobrý**

*Obecně velmi příznivý dopad – nepříznivý vliv, míra přijímaného rizika a nespolehlivost je minimalizována*

- podmínky pro železniční provoz jsou velmi dobré
- kvalita systému veřejné dopravy a jeho návaznost na síť pro individuální dopravu je velmi dobrá
- možnosti urbanizace jižní části města a celoměstské souvislosti jsou velmi dobré
- finanční udržitelnost a příležitosti pro zapojení evropských fondů a veřejných rozpočtů jsou velmi dobré

#### **POČET BODŮ: 8,2 - dobrý**

- podmínky pro železniční provoz jsou dobré
- kvalita systému veřejné dopravy a jeho návaznost na síť pro individuální dopravu je dobrá
- možnosti urbanizace jižní části města a celoměstské souvislosti jsou dobré
- finanční udržitelnost a příležitosti pro zapojení evropských fondů a veřejných rozpočtů jsou dobré

#### **POČET BODŮ: 6,4 - uspokojivý**

- podmínky pro železniční provoz jsou uspokojivé
- kvalita systému veřejné dopravy a jeho návaznost na síť pro individuální dopravu je uspokojivá
- možnosti urbanizace jižní části města a celoměstské souvislosti jsou uspokojivé
- finanční udržitelnost a příležitosti pro zapojení evropských fondů a veřejných rozpočtů jsou uspokojivé

#### **POČET BODŮ: 5,5 - průměrný**

- podmínky pro železniční provoz jsou průměrné
- kvalita systému veřejné dopravy a jeho návaznost na síť pro individuální dopravu je průměrná



- možnosti urbanizace jižní části města a celoměstské souvislosti jsou průměrné
- finanční udržitelnost a příležitosti pro zapojení evropských fondů a veřejných rozpočtů jsou průměrné

**POČET BODŮ: 4,6 - dostatečný**

- podmínky pro železniční provoz jsou dostatečné
- kvalita systému veřejné dopravy a jeho návaznost na síť pro individuální dopravu je dostatečná
- možnosti urbanizace jižní části města a celoměstské souvislosti jsou dostatečné
- finanční udržitelnost a příležitosti pro zapojení evropských fondů a veřejných rozpočtů jsou dostatečné

**POČET BODŮ: 2,8 - s vadami**

- podmínky pro železniční provoz mají vady
- kvalita systému veřejné dopravy a jeho návaznost na síť pro individuální dopravu má vady
- možnosti urbanizace jižní části města a celoměstské souvislosti vykazují vady
- finanční udržitelnost a příležitosti pro zapojení evropských fondů a veřejných rozpočtů má vady

**POČET BODŮ: 1 - nedostatečný**

*Obecně velmi nepříznivý dopad – příznivý vliv se nevyskytuje, bezpečnost a spolehlivost nelze prokázat*

- podmínky pro železniční provoz jsou nedostatečné
- kvalita systému veřejné dopravy a jeho návaznost na síť pro individuální dopravu je nedostatečná
- možnosti urbanizace jižní části města a celoměstské souvislosti jsou nedostatečné
- finanční udržitelnost a příležitosti pro zapojení evropských fondů a veřejných rozpočtů jsou nedostatečné

Poznámka:

Verbálně numerická stupnice přebírá formát známkování z předcházejícího hodnocení, provedeného firmou *Drees & Sommer GmbH Stuttgart* s tím, že doplňuje škálu na systémově přijatelnější lichý počet a zavádí „průměr“ v numerické hodnotě „5,5“; viz původní neupravená stupnice:

Známka	Slovní hodnocení
10	Velmi dobrý
8,2	Dobry
6,4	Uspokojivý
4,6	Dostatečný
2,8	S vadami
1	Nedostatečný

Řešitelský tým přijal uzanci pracovat s touto stupnicí ve spojitém formátu, nikoliv diskrétně. Vhodné hodnoty byly interpolovány a určeny na základě expertního posouzení.



### 3 TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY

V případě zadání záměru ve více variantách řeší zpracovatel dokumentace standardní úkol *multikriteriální rozhodovací analýzy* s cílem určit nejvýhodnější variantu pro zadaný soubor kritérií. Po metodické stránce může být tato úloha řešena libovolně při různé míře uplatnění subjektivního faktoru. Z hlediska požadavku dosáhnout co největší míry objektivizace podkladů pro rozhodovací proces však musí být vliv subjektu (jednotlivce) co nejvíce omezen. Tento cíl lze dosáhnout aplikací axiomatické teorie kardinálního užítku MUT s využitím vhodné formalizované metodiky, která umožní stanovit a vyjádřit číselné hodnoty *souhrnné funkce užítku*  $U$ . Souhrnná funkce užítku je určována jako mnoha rozměrný vektor v závislosti na počtu použitých kritérií (resp. ukazatelů kritérií, parametrů, indikátorů, charakteristik aj.), a tomu odpovídajícímu počtu dílčích transformačních funkcí užítku.

Základní koncepci metody *TOTÁLNÍHO UKAZATELE KVALITY PROSTŘEDÍ* (TUKP) uvedl J. Říha v roce 1981 jako průmyslový vzor PV<sub>Z</sub> č.11694-81. Teoretický základ metody TUKP tvoří koncepce analýzy dovedené až do stadia rozhodnutí. Podle autora teorie hodnotové analýzy L. D. Milese z r. 1961, cit P. C. Fishburn, je pro daný případ provedena modifikace pro stanovení *užitné hodnoty* (use value) a hodnoty *osobní oblíby* (esteem value), především zařazením vhodných kritérií do vytvářených individuálních katalogů.

Aktuální reference o aplikaci této metody v praxi jsou uvedeny v seznamu literatury [6], [7], [8], [9].

Nechť je:

$V_i$  - varianta řešení pro  $i = 1, 2, \dots, m$ , kde  $m$  je celkový počet předem vypracovaných odlišných posuzovaných variant;

$P_y$  - podstatný parametr, který lze použít jako kritérium pro kvalitativní posouzení, když  $y = 1, 2, \dots, z$ , kde  $z$  je celkový počet vybraných kritérií;

$P_j^{(y)}$  - ukazatel kritéria jako hodnota analyticky zjištěného popř. odhadnutého parametru pro  $j = 1, 2, \dots, n(y)$ , kde  $n$  je celkový počet ukazatelů v objektivních či subjektivních jednotkách, jako  $j$ -tý dílčí důsledek varianty  $V_j$ , nebo pro zjednodušení zkráceně  $P_j$ ;

$P$  - celkový důsledek  $V_i$ , pro který je  $P = [P_1 \dots P_n]$ ;

$w_j$  - váhový či kvantitativní multiplikátor, tj. relativní význam vyšetřovaného  $P_j^{(y)}$  v rámci celého souboru  $j = 1, 2, \dots, n(y)$ ;

$U_j$  - dílčí funkce užítku jako kvalitativní multiplikátor mající charakter transformační funkce (vyhodnocovací křivky)  $f_j(P_j^{(y)})$ , nabývající hodnoty v intervalu  $0 \leq U_j \leq 1$ ;

$U_i$  - celková funkce užítku.

Současně se předpokládá, že pro daný počet variant  $V_i$  a pro množinu indexů  $j$  lze stanovit všechny hodnoty  $P_j^{(y)}$  a  $U_j$ , pro které platí vztah

$$U_j = f_j(P_j^{(y)}), \quad (1)$$

ktej vyjadřuje matematickou formu dílčí funkce užítku. Celková funkce užítku  $U$  je závislá na celkovém důsledku  $P$  a pro její konstrukci slouží množina dílčích funkcí užítku  $U_j$ .

Předpokládá se dodržení podmínek preferenční a užítkové nezávislosti ukazatelů kritérií  $f_j(P_j^{(y)})$ . Dále je arbitrérně stanovena podmínka, že pro celý soubor posuzovaných variant  $V_j$  je

$$w_j = \text{konstanta}. \quad (2)$$

Hodnota souhrnné funkce pro určitou variantu je dána hodnotou mnoha rozměrného vektoru  $U_i$  podle schéma na **obr. 1** a vztahu

$$U_i = \sum_{j=1}^n U_j w_j^{(N)}. \quad (3)$$

Uvedený tvar funkce lze použít pouze v tom případě, že pro množinu  $w_j$  platí

$$0 \leq w_j^{(N)} \leq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

a současně

$$\sum_{j=1}^n w_j^{(N)} = 1. \quad (5)$$

Rovnice (5) definuje aditivní model, který lze použít pro řešení výhradně za předpokladu platnosti uvedených podmínek. V opačném případě je nutno použít multiplikativní model. Výraz  $w_j^{(N)}$  vyjadřuje tzv. *váhu normalizovanou*.

Za předpokladu, že ukazatelé kritérií  $P_1, P_2, \dots, P_{n(y)}$  neprokazují vzájemnou užitkovou závislost, lze multiplikativní model vyjádřit vztahem

$$\begin{aligned} U_i = & \sum_{j=1}^n U_j w_j + K \sum_{j=1}^n \sum_{j^+>j} U_j U_{j^+} + w_j w_{j^+} + \\ & + K^2 \sum_{j=1}^n \sum_{j^+>j} \sum_{j^{++}>j^+} U_j U_{j^+} U_{j^{++}} + w_j w_{j^+} w_{j^{++}} + \\ & + \dots + \\ & + K^{n-1} U_1 U_2 \dots U_n \dots w_1 w_2 \dots w_n, \end{aligned} \quad (6)$$

kde  $j^{++} > j^+ > j$ .

Jestliže se obě strany rovnice vynásobí konstantou  $K$  a připočte se 1, je pro rovnici (6) ekvivalentní vztah

$$1 + K U_i = \prod_{j=1}^n (1 + K U_j w_j). \quad (7)$$

Funkce  $U_j$  nabývá hodnoty v intervalu  $< 0; 1 >$  a konstanta  $K$  je řešením rovnice

$$1 + K = \prod_{j=1}^n (1 + K w_j). \quad (8)$$

Podmínka užitkové nezávislosti parametrů  $P_j^{(y)}$  je splněna pouze tehdy, platí-li  $-1 < K < 0$  pro případ  $\sum w_j > 1$  a  $K > 0$  pro případ  $\sum w_j < 1$ . Numerické řešení, tj. nalezení reálného kořene  $K^*$  v intervalu  $(-1, 0)$  nebo  $(0, +\infty)$  iterační metodou, je založeno na následujících poznátcích:

a) Pro  $\sum w_j > 1$

Zvolíme  $K = K^*$  jako výchozí nultou iteraci a když platí nerovnost

$$1 + K^* > \prod_{j=1}^n (1 + K^* w_j),$$

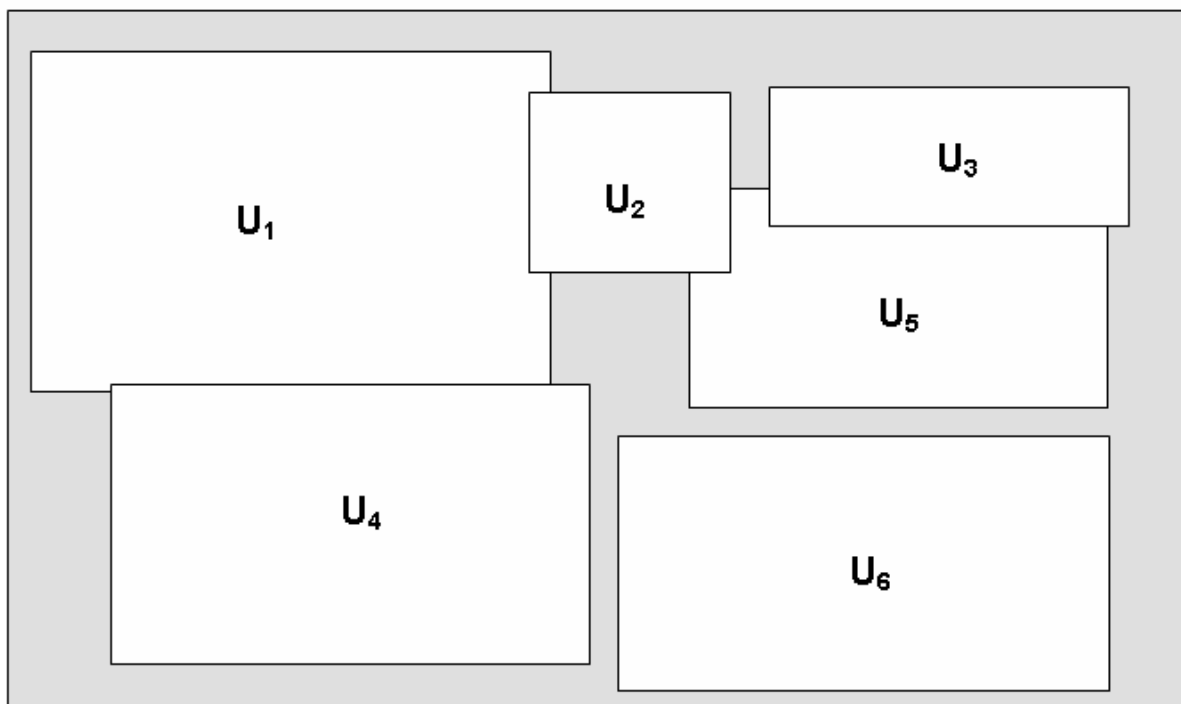
potom hledaný kořen je  $K^o < K^*$  a naopak pro

$$1 + K^* < \prod_{j=1}^n (1 + K^* w_j)$$

je  $K^o > K^*$ .

### OBRÁZEK 1

SCHÉMA KVANTIFIKACE SOUHRNNÉ FUNKCE UŽITKU  $U$  POMOCÍ DÍLČÍCH FUNKCÍ  $U_j$



b) Pro  $\sum w_j < 1$

Obdobně pro zvolené  $K = K^*$  a pro nerovnost

$$1 + K^* < \prod_{j=1}^n (1 + K^* w_j),$$

potom hledaný kořen je  $K^o < K^*$  a naopak pro

$$1 + K^* > \prod_{j=1}^n (1 + K^* w_j)$$

je  $K^o > K^*$ .

Pracovní postup pro přesný výpočet hodnoty  $K$  je uveden v odborné literatuře, viz R. L. Keeney a H. Raiffa (1976). V případě, že  $K = 0$ , přechází rovnice (6) na rovnici (3) a multiplikativní model se transformuje na aditivní. Protože určení konstanty  $K$  metodou postupné iterace je při velkém počtu  $P_j^{(y)}$  pracovně náročné, doporučuje se dodržet podmínky definované rovnicemi (4) a (5) a omezit se na používání výhodného aditivního tvaru podle rovnice (3). V těchto případech je však třeba důsledně parametr  $w_j$  kvantifikovat metodou normované stupnice. Metoda se opírá o katalog individuálně vybraných ukazatelů kritérií  $P_j^{(y)}$ . Současně je třeba mít na zřeteli, že mezi jednotlivými kritérii mohou existovat čtyři zásadně odlišné druhy interakcí.

Zvláštní pozornost zasluhuje stanovení limitních hodnot  $\lim P_j^{(y)}$  pro vybraná  $j$ , která

- nelze vyvážit jinou vlastností (kvalitou);
- zabezpečují minimální standard kvality systému a tím jeho obecně přijatelnou celospolečenskou funkci. V mechanismu aplikace metody je třeba zabezpečit zablokování dalšího postupu hodnocení v tom okamžiku, kdy dojde k nepřijatelnému překročení (podkročení) limitních hodnot.

Výsledná hierarchizace souboru  $V_i$  (ranking) je určena sestupným pořadím podle vyčíslených numerických hodnot vektoru  $U_i$  podle zásady

„čím vyšší  $\rightarrow$  tím lepší!“

Jinými slovy celospolečensky maximální preferenci získává takové řešení (scénář, varianta), pro které vektor  $U_i$  nabývá nejvyšší hodnoty.

Potenciální vlastnosti jednotlivých variant  $V_i$  pro  $i = 1, 2, \dots, m$  lze posoudit z hlediska časového faktoru, tj.  $P_j^{(y)}$  po dobu stavební realizace a v období trvalého provozu stavebního a technologického souboru. Připouští se aditivní vztah

$$P_j^{(y)} = P_j^{(y)} \text{VÝSTAVBA} + P_j^{(y)} \text{PROVOZ}, \quad (9)$$

což se použije jako vstup do výchozí rovnice.

Při aplikaci formalizované metody se využívá plná šíře znalostí a pomocných nástrojů z oblasti systémového inženýrství, multikriteriální analýzy, rizikové analýzy, citlivostní analýzy, zvládnutí nejistoty, prediktivních metod, teorie rozhodování apod. Běžně se předpokládá znalost a aplikace různých metod pro určování relativní důležitosti kritérií vč. expertních systémů, organizování a vyhodnocení ankety respondentů. S výhodou se uplatňuje modifikovaná metoda DELFY. Plné využití výhod teorie MUT předpokládá definování hypotetických a reálných variant záměru, umožňující zavedení referenční úrovně pro proces rozhodování. Náročnější a originální (původní) část metody tvoří generování kvalitativních multiplikátorů (vyhodnocovacích křivek), pro které jsou popsány tři různé pracovní způsoby.

Zhodnocení formalizované metody posuzování bylo vyčerpávajícím způsobem provedeno na jiném místě. V podstatě se ztotožňuje se základními vlastnostmi teorie užítku MUT, tzn. že tento formalizovaný postup prokazuje schopnost být

- praktický, tj. ve vztahu k relevantním problémům a schopnosti implementace v různých podmínkách,
- přesný, tj. zobrazit komplexnost a objektivnost všech impaktů,
- opakovatelný, tj. schopnost aplikace různými investory pro stejný subjekt s ekvivalentními výsledky,
- proveditelný, tj. svými nároky přijatelný pro zadavatele (investora) z hlediska času a výpočetní techniky,
- komplexní, tj. pochopitelný pro subjekty s různým základním vzděláním a názory (včetně laické veřejnosti).

Na základě praktických zkušeností s aplikacemi metody na reálných projektech bylo podrobně prokázáno, že tato metoda

- a) je komplexní v možnosti pokrytí všech důležitých hledisek;
- b) umožňuje systematické generování žádaných odpovědí;
- c) je interdisciplinární (pluridisciplinární) z hlediska možností použít experty z různých oborů;
- d) umožňuje zahrnout do rozhodovacího procesu velký počet kritérií a ukazatelů;
- e) explicitně vyjadřuje kategorii náhradní hodnoty (trade-offs) a vztahy mezi jednotlivými kritérii;
- f) umožňuje respektovat neurčitost, čímž překonává většinu ostatních známých metodik;
- g) je adaptabilní, protože umožňuje okamžitou možnost generování jednorozměrných funkcí užítka dalšími metodami ze vstupních dat a zařazení jejich různého počtu;

Při aplikaci je třeba uvážit, že algoritmus neumožňuje výběr nejlepší varianty z nekonečné množiny, ale pouze z omezeného počtu přesně definovaných variant.

Zřejmou výhodou graficko-analytické metody TUKP je její pohotovost a adaptabilita při současném respektování objektivních ukazatelů kvality (normativů) jednotlivých parametrů (záměru), kde posouzení je standardizováno na podkladě domácích norem, uzancí a dosaženého konsensu např. v celostátním týmu expertů. Z tohoto důvodu následně různí zpracovatelé stejného problému jsou nuceni postupovat podle pevné osnovy a obdržený výsledek nemůže být podstatně deformován vlastním subjektivním přístupem, tj. cítěním jednotlivce (formalizované metodologie).

Mimo základního cíle, tj. stanovení preference různých záměrů (srovnatelných variant), lze metodu aplikovat pro řadu dalších modifikovaných úloh, včetně opakovaných testů citlivosti pro různé sestavy kritérií.

Metoda TUP byla od doby svého vzniku použita mnohonásobně pro významné celostátní a krajské úkoly, jak dokládá stručný soupis literatury a dostupné prameny na internetu.

První krok aplikace metody TUKP tvoří sestavení *tabulky vstupních údajů*, tj. pro posuzovaný záměr (soubor posuzovaných variant  $V_i$ ) se číselně kvantifikují hodnoty ukazatelů kritérií  $P_j$ . Tím se vytvoří *katalog kritérií a ukazatelů*, který se někdy označuje jako *referenční katalog*. V případech, kdy je použita verbálně-numerická stupnice (relativní jednotky [RJ]), je kvantifikace prováděna pomocí standardní pěti-stupňové verbálně numerické stupnice, která je závazně definována v tabulce. Výsledkem prvního kroku řešení je tzv. *maticová tabulka vstupních údajů* pro množinu  $V_i$  a parametry  $P_j$ .

#### URČOVÁNÍ KVALITATIVNÍCH MULTIPLIKÁTORŮ (VYHODNOCOVACÍCH FUNKCÍ A KŘIVEK)

Praktická aplikace předcházejících poznatků spočívá v substituci veličin  $x_j \rightarrow P_j$  a  $f_j(x_j) \rightarrow U_j$ . Funkce  $U_j$  plní v modelu úlohu kvalitativního multiplikátoru. V grafickém zobrazení je tato funkce známa jako vyhodnocovací křivka (rating curve). Protože míra užítka je relativní, lze ke stanovenému počátku stupnice  $U_j$  přiřadit libovolnou hodnotu ukazatele  $P_j$ . Je možné normovat dílčí funkce užítka vztahy

$$\left. \begin{array}{l} U_j = f_j(P_j^0) = 0 \\ U_j = f_j(P_j^+) = 1 \end{array} \right\} (j = 1, 2, \dots, m), \quad (10)$$

takže oborem kvalitativních multiplikátorů potom je interval  $< 0; 1 >$  a jejich definičním oborem pro případ pozitivní závislosti  $< P_j^o; P_j^+ >$ ; pro případ negativní závislosti  $< P_j^+; P_j^o >$ . Ve většině případů lze vystačit s jednoduchými typy transformačních funkcí včetně transformace lineární. Pro vlastní postup sestrojení dílčí (jednorozměrné) funkce užítku se postupuje v pěti pracovních krocích, tj.

- a) období předběžné přípravy vlastní geneze a konstrukce transformační závislosti;
- b) identifikace vhodných kvalitativních ukazatelů (indikátorů, parametrů);
- c) vymezení okrajových hodnot;
- d) výběr funkce užítku;
- e) kontrola správnosti zavedených předpokladů.

*První krok* spočívá v racionálním navázání kontaktu mezi členy řešitelského týmu, zejména mezi analytikem a rozhodujícím subjektem. Je účelné alespoň částečně sjednotit názory na konkrétní problém, otevřeně a nezaopatě si vzájemně objasnit svá stanoviska. Důvěru rozhodujícího subjektu získává analytik poskytnutím podrobné informace o svých přístupech k sestrojení funkce užítku.

*Druhý krok* řešení spočívá v objasnění základní kvalitativní závislosti  $U_j$  na  $P_j$ . Zejména je důležité rozhodnout, zda jde o monotónní či nemonotónní (např. esovitou) funkci. Současně je třeba ověřit chování rozhodujícího subjektu, tzn. zda projevuje sklon nebo averzi k riziku, nebo zda preferuje optimistickou či pesimistickou transformaci.

*Třetí a čtvrtý krok* představuje vlastní konstrukci  $U_j = f_j(P_j)$ ; generování funkce je možné realizovat přibližnou grafickou metodou určením hodnoty užítku pro několik konkrétních bodů. Pomocí zadaných pravděpodobností - nejčastěji pro  $p = 1 - p = 0,5$  - a na podkladě konfrontace názorů analytika a posuzovatele, je možné dospět ke zdůvodněné volbě transformační funkce. Jde o iterativní proces, kde se cestou dotazů a odpovědí analytik postupně přiblíží k hledané hodnotě jistotního ekvivalentu  $\beta$  pro několik dílčích intervalů  $< \beta^*; \beta^{**} >$  v celém oboru platnosti předpokládané funkce užítku; podrobněji viz [1], [2], [5]. Tvar dílčí funkce užítku se uváží následně z průběhu křivky (popř. z lomené čáry), proložené zjištěnými body.

V počátečním období testování formalizované metody TUKP byla autorem ověřena možnost širší volby a způsob dedukce transformačních funkcí dílčího užítku. V závislosti na charakteru úlohy, tj. zda se jedná o převažující problematiku ekologickou, anebo ryze technicko-ekonomickou (např. posouzení výhradně technických a ekonomických parametrů posuzovaného záměru), lze *postupovat zásadně podle tří odlišných postupů*. Jsou to:

- Uplatnění reálné transformační funkce v souladu s předpokládanou užitností (absolutně chápanými vlastnostmi) posuzovaného parametru.
- Aplikace monotónní transformační funkce podle zavedené klasifikace.
- Konstrukce transformační funkce ze zadaných porovnávaných hodnot, tj. z matice vstupních údajů pro celý soubor posuzovaných variant a dané kritérium.

Pro úplnost se připomíná, že v rámci konkrétní úlohy lze všechny uvedené pracovní postupy kombinovat.

První pracovní postup - *odvození reálných transformačních funkcí* - spočívá v uplatnění katalogu nejvyššího vypovídacího typu, kde jednorozměrné funkce dílčího užítku jsou předem definovány a ve svém tvaru, průběhu a okrajovými hodnotami zdůvodněny. Řešení konstrukce reálných funkcí dílčího užítku v tomto případě vychází z poznání, že hodnoty funkce  $U_j$  jsou objektivním ukazatelem kvality určité vlastnosti jen tehdy, když jsou vztaženy k celostátním normám jakosti, aktuálně k normám evropským a celosvětovým, včetně

Směrnice EU a přijatým mezinárodními uzácním. Ve výjimečných případech lze přihlídnout k odborné literatuře, předpisům a doporučením, které klasifikují kvalitu či nekvalitu (vlastnost) posuzovaného parametru.

Druhý pracovní postup - *odvození standardních transformačních funkcí* - využívá teoretické poznatky z oblasti rozhodování a teorie her s tím, že nabízí uplatnění souboru transformačních funkcí ve smyslu zavedené *ekologické typologie* těchto funkcí, viz popis jejich vlastností v [1], [2], [5]. V rámci autorem navrženého postupu se předpokládá standardní hodnocení v pěti opakovaných přístupech, označených jako standardní hodnocení silně optimistické, optimistické, neutrální, pesimistické a silně pesimistické.

Pro *přímou závislost* transformace {+} je zvolen vztah

$$U = \left( \frac{P^o - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \right)^k, \quad (11a)$$

kde střední hodnota  $P^o$  je definována jako  $P^o = 0,5(P_{max} - P_{min})$ . Pro standardní ekologické hodnocení platí: I. silně optimistické  $k = 0,152$ ; II. optimistické  $k = 0,415$ ; III. neutrální  $k = 1$ ; IV. pesimistické  $k = 2$ ; V. silně pesimistické  $k = 3,322$ .

Pro *nepřímou závislost* transformace {-} je zvolen vztah

$$U = 1 - \left( \frac{P^o - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \right)^k, \quad (11b)$$

a obdobně pro standardní ekologické hodnocení platí: I. silně optimistické  $k = 3,322$ ; II. optimistické  $k = 2$ ; III. neutrální  $k = 1$ ; IV. pesimistické  $k = 0,415$ ; V. silně pesimistické  $k = 0,152$ .

Hodnoty exponentů byly pro přímou i nepřímou závislost odvozeny tak, aby pro střední hodnotu  $P^o$  a silně optimistické ekologické hodnocení nabývala hodnota  $U = 0,9$ , mírně optimistické  $U = 0,75$  a obdobně pro mírně pesimistické hodnocení  $U = 0,25$  a silně pesimistické hodnocení  $U = 0,1$ . Takto provedené transformace lze pokládat za standardní. Pro rozhodovací proces je významná komparace výsledků podle všech pěti způsobů hodnocení.

Pro obecné použití monotónních funkcí lze doporučit tři jejich typy, tj. *mocninové*

$$U = K_1 + K_2(K_3 + K_4 P)^{K(5)}, \quad (12)$$

kde posunutí počátku a změna měřítka je upravena transformací pomocí výrazu

$$P^* = K_3 + K_4 P. \quad (13)$$

Dále funkce *exponenciální*

$$U = K_1 + K_2 e^{-K(3)P}, \quad (14)$$

a konečně *polynom 3. stupně*

$$U = K_1 + K_2 P + K_3 P^2 + K_4 P^3. \quad (15)$$



Použití mocninového tvaru lze pokládat za pracovně nejjednodušší, což lze doložit standardními tvary pro přímou i nepřímou závislost. Určení součinitelů a exponentů je rychlé, přičemž tyto funkce v případě potřeby lze kombinovat do tvaru esovité křivky se styčným bodem uprostřed intervalu (inflexní bod - podmínka společné tečny). Esovitý tvar lze docílit v jednodušších případech pomocí goniometrických funkcí.

Funkce exponenciálního typu mají na rozdíl od mocninových funkcí rozdílnou strmost pro stejné vstupní podmínky, což lze výhodně použít pro zvýraznění rychlosti v počáteční nebo závěrečné fázi transformace. Pro oba typy funkcí se určuje parametr ze tří dvojic vstupních hodnot  $U = f(P)$ , nejčastěji z okrajových podmínek  $U = 0$ ,  $U = 1$  a pomocí jedné dvojice předem určené (zadané, zvolené) v rovině transformace. Výpočet parametrů pro rovnice exponenciálního typu ze vstupních dat je však pracovně zdlouhavější a vyžaduje její předchozí úpravu, viz citovaná literatura.

Pro rostoucí exponenciální funkci je obecný vztah pro *konvexní tvar* zdola

$$U = K_1 + K_2 (e^{-K(3)P} - 1), \quad (16)$$

a pro *konkávni tvar* zdola

$$U = K_1 + K_2 (1 - e^{-K(3)P}), \quad (17)$$

kde součinitel  $K_2$  vyjadřuje limitní hodnotu na svislé ose (rovnoběžka s vodorovnou osou).

Polynom 3. stupně lze použít pro případ, kdy se transformace má přiblížit lineární závislosti. Hodnoty součinitelů se určují ze čtyř vstupních podmínek, tzn. mimo dvou okrajových bodů se zvolí další dvě podmínky, např. souřadnice pro dvě dvojice bodů v rovině transformace, nebo požadavek nulové 1. derivace v krajním bodě apod. Zakřivení polynomu tak lze omezit na úzký obor transformace.

Třetí pracovní postup - *odvození komparativní transformační funkce* - se opírá výhradně o zadané vstupní údaje pro celý posuzovaný soubor variant. Z tohoto důvodu je zvláště vhodný pro ryze technicko-ekonomické problémy analýzy a rozhodování, kde není možné nebo nutné respektovat ekologická, hygienická a jiná podobná normativní omezení.



Pro vyřešení konkrétní úlohy musí být pro každý ukazatel realizován jednorozměrný transformační vztah k dosahované užitečnosti. Aby mohl být vymezen transformační prostor podle **obr. 2**, je třeba obecně řešit tyto otázky:

- zda jde o transformaci přímou (viz typ kritéria výnosového a zásadně pozitivních efektů), anebo
- zda jde o transformaci nepřímou (viz typ kritéria nákladového a zásadně negativních efektů, např. vlivem záboru území aj.),
- v jakém intervalu  $< \text{MIN}, \text{MAX} >$  se transformace uskuteční,
- v jakých jednotkách bude ukazatel kritéria měřen (vyjádřen),
- jaký tvar bude mít transformační funkce.

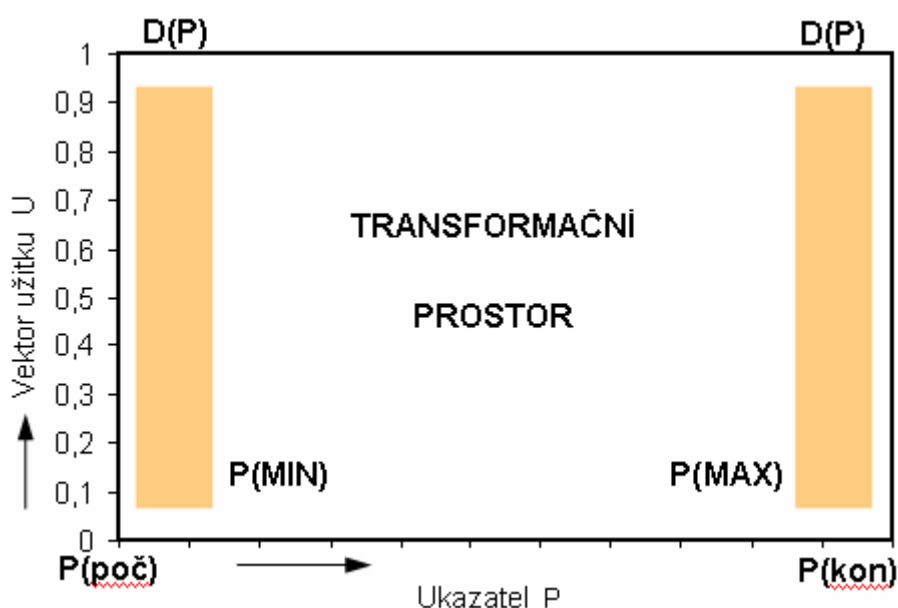
Vlastní řešení spočívá ve *čtyřech postupných krocích*.

V rámci *prvního kroku* je nejdříve posouzena závislost funkčního vztahu  $U_j = f_j(P_j)$ , podle členění jednak na *přímou závislost* (tj. zásada: „čím vyšší  $\Rightarrow$  tím lepší“), jednak pro *nepřímou závislost* (tj. zásada: „čím vyšší  $\Rightarrow$  tím horší“).

Druhý krok směřuje k přiřazení okrajových bodů stupnice (měřítka) pro jednotlivé ukazatele  $P_j$ . Na základě dříve provedených testů citlivosti bylo ověřeno, že přiřazení hodnot pro počátek i konec na x-ové ose souřadnic nemůže být libovolné. Je nutné zabránit vzniku nulových hodnot v průběhu transformace podle obecného vztahu  $U_j = f_j(P_j)$ , jinak by se částečně (nesoustavně) vynulo-valy některé hodnoty kvantitativních multiplikátorů. Tento případ nastává vždy, když je zvolen počátek stupnice pro přímou závislost  $P_{j\text{ poč}} = P_{j\text{ min}}$ , kde  $P_{j\text{ min}}$  je nejnižší hodnota  $P_j$  ze všech variant  $V_i$ .

## OBRÁZEK 2

VYMEZENÍ POČÁTEČNÍHO A KONCOVÉHO BODU MĚŘÍTKA  
TRANSFORMAČNÍHO PROSTORU



Obdobně totéž platí pro volbu  $P_{j\text{ kon}} = P_{j\text{ max}}$  u nepřímé závislosti, kde  $P_{j\text{ max}}$  je nejvyšší hodnota parametru  $P_j$  ze všech variant  $V_i$ . Z naznačeného důvodu autor metody doporučuje určovat počátek (konec) na x-ové ose standardně z desetiprocentní hodnoty rozdílu  $P_{j\text{ max}} - P_{j\text{ min}}$  nazvané jako *okrajová diference* transformačního prostoru  $D(P_j)$  a definované vztahem

$$D(P_j) = 0,10 ( P_{j\text{ max}} - P_{j\text{ min}} ) . \quad (18)$$

Pro počáteční bod stupnice platí

$$P_{j\text{ poč}} = P_{j\text{ min}} - D(P_j) , \quad (19)$$

a obdobně je určen koncový bod vztahem

$$P_{j\text{ kon}} = P_{j\text{ max}} + D(P_j) . \quad (20)$$

Transformace je prováděna v pravoúhlém souřadnicovém systému při substituci veličin  $x_j \Rightarrow P_j$  a  $f_j(x_j) = y_j \Rightarrow U_j$ . Transformační prostor je vymezen na x-ové ose pomocí

extrémních hodnot parametrů, tj.  $P_{j\max} - P_{j\min}$  a pomocí okrajové diference  $D(P_j)$ . Tam, kde stupnice může začít nulou, tj. případ kardinální poměrové stupnice s absolutní nulou, tedy za předpokladu, že stupnice bude v plném rozsahu využita, lze volit  $P_{j\text{poč}} = 0$ . Výsledkem druhého kroku je určení hodnot  $D(P_j)$ ,  $P_{j\text{poč}}$  a  $P_{j\text{kon}}$  pro všechny parametry.

*Třetí krok* spočívá v definování vlastního funkčního vztahu transformace. Vychází se ze zadaných vstupních (reálných hodnot ukazatelů  $P_j$  pro všechna  $V_i$  a vypočítané průměrné hodnotě  $P_j^\circ$  se přisoudí střední hodnota dílčí funkce užítku, tj.

$$U_j = f_j(P_j^\circ) = 0,5. \quad (21)$$

Výsledkem třetího kroku je určení třetího bodu transformační funkce. S využitím dříve stanovených okrajových bodů stupnice lze přistoupit k závěrečnému čtvrtému kroku, tj. definování dílčích transformačních funkcí.

*Čtvrtý krok* spočívá ve vhodné aproximaci transformačního vztahu podle dříve uvedených zásad, nejlépe pro mocninový typ funkce.

V rámci diskuze ke způsobu odvozování transformačních funkcí ze zadaných hodnot v matici interakcí je třeba upozornit, že je citlivé na počátečním seskupení, tj. způsobu rozložení příznivých nebo méně příznivých hodnot  $P_j$  pro posuzované varianty  $V_i$ , kde  $i = 1, 2, \dots, m$ . Lze konstatovat, že obecně

- převažující nepříznivé vstupní hodnoty vedou k celkově standardně optimistickému hodnocení;
- převažující příznivé hodnoty vedou k celkově standardně pesimistickému hodnocení.

Lze předpokládat, že při větší množině vstupních hodnot a při dostatečném počtu kritérií se oba přístupy optimistického a pesimistického hodnocení přiměřeně vystřídají a tím kompenzují.

Dále je třeba soustavně věnovat pozornost uvážlivé volbě (stanovení) počátku a konce stupnice pro každý dílčí ukazatel  $P_j$  a tím vymezení transformačního prostoru. Ignorance okrajové diference  $D(P_j)$  může vést k vyřazení i takových ukazatelů, kterým byla přisouzena vysoká relativní důležitost. Různou volbou okrajových podmínek je obecně možné dospět k rozdílné hierarchizaci posuzovaných variant!

## URČOVÁNÍ KVANTITATIVNÍCH MULTIPLIKÁTORŮ (VÁHY)

V souboru ukazatelů kritérií nemají všechny prvky množiny  $P_j$  stejný relativní význam ve vztahu ke konkrétnímu posuzovanému problému. Tento *relativní, vzájemně poměrný význam - důležitost* - se zjednodušeně označuje jako *váha kritéria*  $w_j$  (parameter weights). Tato váha poskytuje informaci o relativní společenské důležitosti (vlivu) jednotlivých ukazatelů kritérií v rámci dané množiny  $P_1, P_2 \dots P_n$ .

Existuje velký počet doporučovaných metod pro určení váhy kritérií (weighted outcomes) včetně důvodů pro dodržení *principu rovnocennosti kritérií* (unweighted outcomes). U každé existující metody se nepříznivě projevuje vliv subjektivního citění a různý postoj experta k řešenému problému. Z tohoto důvodu se uznávají přednosti metody párového hodnocení (The Paired Comparison Technique), kterou publikoval D. Fuller, zejména ve spojení s týmovou expertní metodou apod. Náročnější metodou párového hodnocení je metoda Saatyho, která vyžaduje navíc jako vstupní informaci od hodnotícího subjektu ještě kvantifikaci intenzity preference jednotlivých kritérií, nejlépe pomocí zvoleného deskriptoru. Kromě uvedených metod existuje i jiná skupina metod párového srovnávání parametrů (variant) založených na tzv. prazích citlivosti, viz metody AGREPREF, ELECTRA, APROXIMACE MLHAVÉ RELACE. Tyto metody obvykle nevedou k jednoznačnému

uspořádání pořadí variant pro rozhodovací proces, ale pouze k rozkladu souboru variant na několik indifferenčních tříd.

Vstupy do rozhodovacího procesu tvoří reálné varianty  $V_i$  a hledisko hodnocení, tj. deklarace cílů ve smyslu dodržení souhrnného kritéria. Současně je třeba konstatovat, že všem metodám je společné úsilí přetransformovat čistě kvalitativní uspořádání důležitosti parametrů na uspořádání kvantitativní. Současné poznání však dosud takovou transformaci v plné míře neumožňuje. Z tohoto důvodu ve všech případech výstupů jde výhradně o přibližně kvantitativní veličiny.

Metody pro určování parametru  $w_j$  lze rozdělit v zásadě do dvou skupin, tj. na

- metody pro nezávislé stanovení vah, kdy hodnocení provádí jedinec nebo členové týmu nezávisle na sobě;
- metody pro závislé (ovlivněné) stanovení vah, kdy hodnocení provádí členové týmu při současném kontaktu mezi sebou (brainstorming, Delfská metoda).

V oblasti aplikace podpůrných systémů rozhodování DSS se doporučuje věnovat hlubší pozornost nejméně šesti metodám, tj. metodě

- pořadí;
- alokační;
- známkovací;
- párového hodnocení;
- duální;
- týmového expertního posouzení.

U prvních pěti metod lze pracovat individuálně nebo v kolektivu expertů.

Podrobný popis a charakteristika uvedených metod je podrobně uvedena v literatuře. V následujících poznámkách je připomenut koncept *brainstormingu* a historický význam *Saatyho hodnocení* pro určování váhy kritéria.

#### POZNÁMKA - CO JE TO BRAINSTORMING

V pragmatickém přehledu vývoje DSS se pozitivně zapsala existence a činnost národní výzkumné laboratoře NTL, která byla založena v rámci federálního projektu USA. Nejznámějším výstupem tohoto projektu se stal „brainstorming“. Za klíčový přínos NTL je považován integrovaný model a metoda pro řešení rozhodovacího procesu, spočívající v soustavě postupných kroků, tj.:

1. definování problému;
2. formulování kompletního cíle řešení;
3. generování kritérií;
4. generování variant;
5. ohodnocení variant jednotlivými kritérii;
6. porovnání skóre variant;
7. výběr nejlepších varianty vykazující nejvýhodnější skóre.

Autor metody A. F. Osborn odvodil název od dvou anglických slov, tj. *brain* = mozek a *storm* = bouře. Jiná synonyma (s výjimkou ruštiny, kde se překládá jako „mozgovoj atak“) se nevžila.

*Brainstorming* lze charakterizovat jako metodu skupinové diskuse s odročeným hodnocením; patří do skupiny odhadových metod. Je založen na formě volné diskuse v předem stanovené a řízené skupině expertů. Využívá se při nich intuitivní tvůrčí myšlení a zvláštní způsob přípravy a řízení týmu, který má vypracovat určité variantní řešení problému. Brainstorming se musí uskutečňovat ve zcela uvolněné atmosféře, kde předsedající není jednotlivým expertům nadřízený. Členové týmu musí své myšlenky formulovat krátce, diskusní vystoupení jednoho účastníka nemá překročit pět minut, aby nebyl narušen myšlenkový kontakt ostatních účastníků a neochabovalo jejich soustředění. Nové myšlenky a názory, vyslovené v diskusi, se nesmějí hned kritizovat, ale další diskutující musí na ně navazovat. Předseda týmu zasahuje do diskuse minimálně, jeho úkolem je ji usměrňovat.

Technika brainstormingu je založena na poznatku, že myšlení nepostupuje vždy logicky a systematicky, ale

rozvíjí se skoky při neustálé činnosti podvědomí. Cílem diskuse je rozvádět a transformovat předchozí myšlenky. Po uplynutí stanoveného času se diskuse uzavře a po jejím zhodnocení se ukončí první část. Předseda týmu s vybranými specialisty vyhodnotí diskusi, vytřídí jednotlivé návrhy a sestaví věcně příbuzné kategorie. Potom je možné přikročit k objektivní kritice jednotlivých návrhů a připravit druhou část diskuse ke konkrétnějším návrhům. Závěrečnou etapu brainstormingu představuje hodnocení a využití myšlenek. Brainstroming v oblasti rizikové analýzy představuje Metoda HAZOP (HAZard and OPerability Study). Metoda se používá v případech, kdy je nutné si vytvořit **počáteční názor**.



## POZNÁMKA - SAATYHO METODA

Dalším významným obohacením kategorie DSS byl vývoj *analytického hierarchického procesu* AHP, který autorizoval Thomas Saaty (1977; 1990). Metodu párového porovnávání kritérií obohatil o subjektivní měření vzájemné „vzdálenosti“ kritérií. Bez ohledu na určité výhrady se tento koncept stal zásadním přístupem pro hodnocení parametru relativní důležitosti, tj. váhy kritéria.

Saatyho metodu lze rozdělit do dvou kroků. První krok je analogický metodě párového srovnávání, kdy se zjišťují preferenční vztahy dvojic kritérií uspořádaných v tabulce. Zde se však kromě směru preference dvojic kritérií určuje také velikost této preference, která se vyjadřuje určitým počtem bodů ze zvolené bodové stupnice. Ta se určuje na základě bodovací stupnice, která obsahuje **deskriptory**. Saaty přiděluje počet bodů jednotlivým kritériím následovně:

- 1 (kritéria jsou svým významem **rovnocenná**),
- 3 (první kritérium je **slabě** významnější než druhé),
- 5 (první kritérium je **dosti** významnější než druhé),
- 7 (první kritérium je **evidentně** významnější než druhé),
- 9 (první kritérium je **absolutně** významnější než druhé).

Výčíslením se obdrží pravá horní trojúhelníková část matice velikostí preferencí (Saatyho matice relativních důležitostí).



V předložené studii byla pro řešení upřednostněna *metoda dvouúrovňové alokace* tj. kombinace alokace jednak pro základní 4 hlediska (kategorie), jednak individuálně v rámci každého hlediska. Tím byla zajištěna možnost hodnocení významnosti vzájemně porovnatelných kritérií.

Zároveň byla uplatněna týmová expertní anketa a brainstorming společného týmu zadavatele a řešitele. Normované váhy byly vypočítány podle rovnice (25).

Metoda dvouúrovňové alokace spočívá ve dvou krocích řešení, tj. v generování dvousložkové váhy nejdříve metodou alokace (1. krok) pro vymezené hlavní skupiny kritérií  $w[KAT]_j$  (viz tzv. kategorie či hledisko) a následně ve skórování významu kritérií (ukazatelů kritérií) jinou běžnou metodou, v daném případě opět metodou alokace (2. krok).

Základním předpokladem pro použití tohoto formalizovaného postupu však je předem definovaná soustava hledisek (kategorií), kde není možná pozdější změna v zařazení kritérií – přemístění – do jiné skupiny, a práce s týmem odborníků (ve smyslu využití týmové expertní metody, popř. uskutečnění ankety).

Výsledná normovaná váha kritéria je definovaná vztahem

$$w[KAT]_j^{(N)} = \frac{w [KAT]^{(N)}}{\sum_j w [KAT]_j} w [KAT]_j, \quad (22)$$

kde  $w [KAT]_j^{(N)}$  je normovaná váha kategorie a  $w [KAT]_j$  je neupravená či surová váha (např. počet bodů) ukazatele kritéria  $j$ , v rámci uvažované kategorie (hlediska) KAT. V případě, kdy se standardně provádí alokace sumy jednoho sta bodů mezi všechny definované kategorie, je normovaná váha kategorie  $w [KAT]^{(N)}$  určena vztahem

$$w [KAT]^{(N)} = \frac{w [KAT]}{100} . \quad (23)$$

Při zhodnocení výhod této metody se konstatuje:

- Možnost explicitního stanovení relativní důležitosti kategorií (hledisek) navzájem mezi sebou.
- Vyloučení nežádoucího vlivu různého počtu kritérií (ukazatelů) v jednotlivých kategoriích tím, že o váhu kategorie se vždy dělí rovným dílem odpovídající množina ukazatelů kritérií.
- Snadněji lze respektovat požadavky systémové teorie pro multikriteriální analýzu komplexních soustav, tj. princip disjunkce pro kategorie (viz 1. krok řešení) a princip tranzitivity pro hodnocení ukazatelů kritérií (viz 2. krok řešení).
- Je dosaženo neobvykle vysoké míry objektivizace posuzovacího procesu následkem možného zapojení většího počtu týmů expertů, vzájemně nezávislých na plnění dílčích úkolů podle schématu:  
Tým I: Řídící výbor např. na meziministerské úrovni (Kompetence: Definování úlohy, stanovení variant a kritérií, schválení metody hodnocení, určení fyzické osoby zodpovědné za souhrnné zpracování a výslednou zprávu o výsledku hodnocení, aj.).  
Tým II: Dočasná skupina expertů pro stanovení váhy kategorií  $w[KAT]$ .  
Tým III: Dočasná skupina expertů pro stanovení váhy kritérií  $w[KAT]_j$  .  
Tým IV: Dočasná skupina expertů pro stanovení hodnot ukazatelů kritérií pro posuzované varianty (tvorba tzv. maticové tabulky vstupních údajů).
- Metoda nabízí možnost standardizace společenských priorit pro vyšší úroveň řízení (rozhodování) národní administrativy (tj. v podobě závazně stanovených kategorií (hledisek) kritérií a v předepsaných relacích pro jejich vzájemnou důležitost).
- Metodu je třeba doporučit pro řešení extrémně konfliktních případů rozhodování při aplikaci soudně-znalecké metody TUKP.

\*\*\*

Pro přehlednost, průhlednost a v zájmu zachování aditivnosti úlohy je třeba pracovat s *normovanými vahami* (unitized weighting value), které se stanoví ze vztahu

$$w_j^{(N)} = \frac{w_j}{\sum_j w_j} \quad (24)$$

kde

$$\sum_j w_j^{(N)} = 1 .$$

Normování obecně umožňuje názorně posoudit těsnost vztahu (odchylku) mezi vahami přisouzenými různým ukazatelům.

Jestliže úlohu řeší kolektiv expertů týmovým způsobem, je třeba stanovit celkovou (průměrnou) *normovanou váhu* podle vztahu

$$w_j^{(N)} = \frac{\sum_{k=1}^s w_{jk}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s w_{jk}}, \quad (25)$$

kde  $w_{jk}$  je celková váha  $j$ -tého parametru přisouzená  $k$ -tým expertem,  $n$  udává celkový počet parametrů,  $s$  značí celkový počet expertů.

\*\*\*

## 4 MULTIKRITERIÁLNÍ VYHODNOCENÍ POSUZOVANÝCH VARIANT

### 4.1 MODEL PRO ROVNOCENNÝ VÝZNAM KRITÉRIÍ

Multikriteriální rozhodovací analýza je řešena v souladu s provedeným výkladem axiomatické teorie kardinálního užítku MUT se zřetelem na aplikaci formalizované metody TUKP. Vyhodnocovací křivky a funkce dílčího užítku byly generovány podle podrobně popsáního třetího pracovního postupu metodou odvozením komparativních transformačních funkcí ze vstupních zadaných dat, podrobněji viz *Říha, J. (2001): Posuzování vlivů na životní prostředí. Metody pro předběžnou rozhodovací analýzu. Vydavatelství ČVUT Praha, 477 stran.*

Bylo generováno celkem 30 funkcí pro jednotlivá kritéria referenčního katalogu. Parametry funkcí byly odvozeny z výsledné maticové tabulky vstupních údajů, viz **tab. 1**. Jednorozměrné transformační funkce  $U_j = f_j(P_j)$  jsou odvozeny v **tab. 2**. Pro řešení byly použity funkce mocninového typu pro přímý transformační vztah, viz **rovnice (11a)**. Grafický průběh transformačních funkcí je pro informaci znázorněn pro vybraná kritéria. Na **obr. 3a** pro  $K_{15}(B9)$  - Vliv jednotlivých etap výstavby na funkčnost systému a provozní podmínky veřejné a individuální dopravy; na **obr. 3b** pro  $K_{17}(C2)$  - Potenciál komerčního využití samotné nádražní budovy.

Na křivkách jsou vyznačeny hodnoty jednorozměrných vektorů posuzovaných variant, které vyjadřují dílčí míru užítku. Z jednotlivých grafů lze vizuálně a numericky posoudit pořadí variant podle určitého kritéria. Výsledné pořadí variant je standardně určováno podle bezrozměrné hodnoty mnohonásobného vektoru užítku  $U_i$  a podle zásady „čím vyšší  $\Rightarrow$  tím lepší“.



Výsledné hodnoty vícerozměrných vektorů  $U_j = f_j(P_j)$  pro nevážený výstup jsou uvedeny v **tab. 3**. Pořadí, tj. výsledná hierarchizace posuzovaného souboru scénářů je uvedeno v posledním řádku této tabulky. Tomuto výstupu odpovídá sloupkovitý diagram na **obr. 4** a hierarchizace scénářů pro rovnocenný význam kritérií na **obr. 5**.

**Z dílčí analýzy pro rovnocenný význam kritérií jednoznačně vyplývá preference varianty  $V_B$  před  $V_A$ . Zjištěná preference je více než 24 %.**



**Tabulka 1**

<b>Maticová tabulka vstupních údajů [RJ]</b>				
KRITÉRIUM $P_j$		SCÉNÁŘ – VARIANTA $V_i$		
		$V_A$	$V_B$	RB
1	A1	9,00	6,80	4,60
2	A2	8,20	8,00	2,80
3	A3	6,00	8,40	4,60
4	A4	7,00	7,20	2,00
5	A5	6,00	6,00	6,00
6	A6	8,60	6,40	9,00
7	B1	4,60	7,80	8,20
8	B2	4,60	7,80	8,20
9	B3	4,60	5,80	6,40
10	B4	4,60	6,50	7,00
11	B5	6,80	7,00	6,40
12	B6	5,80	5,50	4,60
13	B7	6,40	7,00	4,60
14	B8	8,20	6,00	2,80
15	B9	6,00	5,50	10,00
16	C1	7,25	7,75	xxx
17	C2	7,98	8,53	4,20
18	C3	7,88	7,13	xxx
19	C4	6,83	6,68	2,50
20	C5	6,64	6,86	xxx
21	C6	5,02	5,48	2,50
22	C7	6,27	5,73	1,50
23	C8	7,20	6,30	2,80
24	C9	6,98	6,53	3,00
25	C10	7,38	7,63	xxx
26	D1	4,00	5,00	xxx
27	D2	8,20	6,40	2,80
28	D3	2,00	2,80	xxx
29	D4	6,20	4,00	9,00
30	D5	3,00	8,20	10,00

**Tabulka 2**

Geneze transformačních funkcí užitku $U_i = f_j(P_j)$							
j	P(min)	P(max)	DELTA	P(poč)	P(průměr)	P(kon)	k
1	4,600	9,000	0,440	4,160	6,800	9,440	1,000
2	2,800	8,200	0,540	2,260	6,333	8,740	0,700
3	4,600	8,400	0,380	4,220	6,333	8,780	1,113
4	2,000	7,200	0,520	1,480	5,400	7,720	0,701
5	6,000	6,000	0,000	6,000	6,000	6,000	xxx
6	6,400	9,000	0,260	6,140	8,000	9,260	0,764
7	4,600	8,200	0,360	4,240	6,867	8,560	0,740
8	4,600	8,200	0,360	4,240	6,867	8,560	0,740
9	4,600	6,400	0,180	4,420	5,600	6,580	0,877
10	4,600	7,000	0,240	4,360	6,033	7,240	0,797
11	6,400	7,000	0,060	6,340	6,733	7,060	0,877
12	4,600	5,800	0,120	4,480	5,300	5,920	0,823
13	4,600	7,000	0,240	4,360	6,000	7,240	0,823
14	2,800	8,200	0,540	2,260	5,667	8,740	0,929
15	5,500	10,000	0,450	5,050	7,167	10,450	1,393
16	7,250	7,750	0,050	7,200	7,500	7,800	1,000
17	4,200	8,530	0,433	3,767	6,903	8,963	0,749
18	7,130	7,880	0,075	7,055	7,505	7,955	1,000
19	2,500	6,830	0,433	2,067	5,337	7,263	0,699
20	6,640	6,860	0,022	6,618	6,750	6,882	1,000
21	2,500	5,480	0,298	2,202	4,333	5,778	0,765
22	1,500	6,270	0,477	1,023	4,500	6,747	0,741
23	2,800	7,200	0,440	2,360	5,433	7,640	0,794
24	3,000	6,980	0,398	2,602	5,503	7,378	0,741
25	7,380	7,630	0,025	7,355	7,505	7,655	1,000
26	4,000	5,000	0,100	3,900	4,500	5,100	1,000
27	2,800	8,200	0,540	2,260	5,800	8,740	0,877
28	2,000	2,800	0,080	1,920	2,400	2,880	1,000
29	4,000	9,000	0,500	3,500	6,400	9,500	1,050
30	3,000	10,000	0,700	2,300	7,067	10,700	0,827

**Tabulka 3**

Hodnoty vektorů $U_i = f_i(P_i)$ pro nevážený výstup				
KRITÉRIUM $P_i$		SCÉNÁŘ – VARIANTA $V_i$		
		$V_A$	$V_B$	$RB$
1	A1	0,917	0,500	0,083
2	A2	0,941	0,919	0,176
3	A3	0,351	0,908	0,063
4	A4	0,918	0,941	0,175
5	A5	xxx	xxx	xxx
6	A6	0,834	0,150	0,936
7	B1	0,159	0,867	0,938
8	B2	0,159	0,867	0,938
9	B3	0,113	0,675	0,927
10	B4	0,138	0,789	0,933
11	B5	0,675	0,927	0,113
12	B6	0,931	0,753	0,130
13	B7	0,753	0,931	0,130
14	B8	0,922	0,600	0,099
15	B9	0,089	0,031	0,886
16	C1	0,083	0,917	xxx
17	C2	0,855	0,937	0,155
18	C3	0,917	0,083	xxx
19	C4	0,941	0,920	0,176
20	C5	0,083	0,917	xxx
21	C6	0,833	0,936	0,150
22	C7	0,938	0,865	0,158
23	C8	0,933	0,792	0,139
24	C9	0,938	0,865	0,159
25	C10	0,083	0,917	xxx
26	D1	0,083	0,917	xxx
27	D2	0,927	0,675	0,113
28	D3	0,083	0,917	xxx
29	D4	0,433	0,074	0,913
30	D5	0,128	0,747	0,931
<b><math>U_i</math></b>		16,157	21,334	xxx
<b><math>U_i^*</math> [%]</b>		75,73 %	100 %	xxx
<b>Pořadí</b>		<b>2.</b>	<b>1.</b>	xxx

Poznámka k tabulce 3:

- Symbol  $U_i^*$  je vyjádřen jako procentický podíl z maximálně dosažitelné míry užítku posuzovaného souboru variant, tj  $U_i^* = 100 (U_i / \max U_i)$  s uvážením jednotkové váhy kritérií.

**Tabulka 4**

**SEZNAM IMPLICITNÍCH TRANSFORMAČNÍCH FUNKCÍ DÍLČÍHO UŽITKU  
A VYHODNOCOVAČÍCH KŘIVEK (RATING CURVES)**

<b>Funkce <math>f_j(P)</math></b>	<b>Transformační funkce</b>
A1	Naplnění technických i provozních požadavků na modernizaci průjezdu železničním uzlem Brno ve vztahu k evropským železničním koridorům se zohledněním zapojení dalších tratí.
A2	Splnění technických požadavků regionální i dálkové osobní dopravy na moderním osobním nádraží a průjezdu nákladní dopravy.
A3	Propustnost uzlu v cílovém stavu i v jednotlivých etapách výstavby
A4	Možnosti výhledového zapojení vysokorychlostních tratí
A5	Možnosti výhledového zapojení kolejového diametru jako součásti regionálního systému veřejné dopravy
A6	Provozní omezení v průběhu výstavby včetně požadavků na náhradní dopravu
B1	Kvalita dopravní nabídky v rámci přestupního uzlu u hlavního osobního nádraží mj. z hlediska kapacity a směrovosti.
B2	Kvalita navrženého řešení z hlediska celkových cestovních dob (při dálkových, příměstských i vnitroměstských cestách) se zohledněním rozvoje IDS a zřízením dalších přestupních uzlů
B3	Parametry docházkových a přestupních vzdáleností včetně překonávání výškových úrovní
B4	Míra komfortu a rozsahu prostor a ploch pro cestující veřejnost (uspořádání zastávek, nástupišť)
B5	Vliv na přepravní proudy IDS
B6	Vazba na autobusovou dopravu
B7	Dopravní spojení k letišti
B8	Dostupnost a kapacita parkovacích míst
B9	Vliv jednotlivých etap výstavby na funkčnost systému a provozní podmínky veřejné i individuální dopravy
C1	Rozvojový potenciál
C2	Potenciál komerčního využití samotné nádražní budovy (mj. hodnocení požadavků na dopravní obsluhu)
C3	Výsledná bilance nezbytného záboru ploch železničními stavbami na území města
C4	Významnost bariérového efektu
C5	Rozsah demolic a závažnost zásahů do památkově chráněných a kulturně cenných objektů
C6	Kvalita navazujícího řešení silniční sítě
C7	Možnosti navazující infrastruktury pro cyklodopravu
C8	Optimální dopravní zatížení ulice Nádražní
C9	Zatížení obyvatel hlukem (zhodnocení dle hlukové studie na základě počtu zasažených obyvatel v jednotlivých pásmech) systému a provozní podmínky veřejné i individuální dopravy
C10	Vlastnické vztahy v území a nakládání se stávajícími objekty včetně případných náhrad
D1	Očekávané náklady (investice, nezbytné majetkové změny, budoucí provozní náklady navrženého systému i vyvolané náklady v průběhu výstavby) celkově i v jednotlivých etapách
D2	Očekávané přínosy (výnosy pozemků, provozní příjmy atd.) celkově i

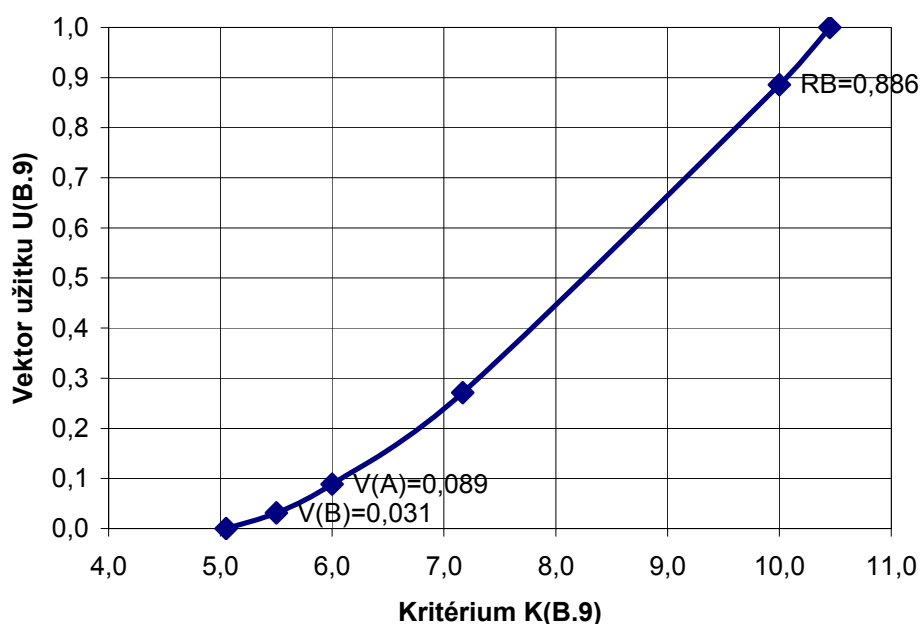
	v jednotlivých etapách
D3	Efektivita investice
D4	Možnosti strukturovaného financování se zapojením zdrojů jednotlivých partnerů
D5	Náklady (včetně vyvolaných investic) z rozpočtu města a jejich vliv na rozpočtový výhled, dluhovou bilanci, rating



## VYBRANÉ PŘÍKLADY DÍLČÍCH FUNKCÍ UŽITKU

### OBRÁZEK 3A

**Hodnocení pomocí kritéria  $K_{15}$**   
**B.9 – Vliv jednotlivých etap výstavby na funkčnost systému a provozní podmínky veřejné a individuální dopravy**



#### Komentář k diagramu:

Kritérium  $K_{15}$  umožňuje vyjádřit odborný odhad, jaký bude vliv jednotlivých etap výstavby na funkčnost systému a provozní podmínky veřejné a individuální dopravy; podrobnější charakteristika je uvedena v *indikátorovém listu*.

Rovnice funkce užítka  $U_j = f_j(P_j)$  je definována vztahem pro přímou transformaci

$$U_{15} = \left[ \frac{P_{\text{prům}} - P_{\text{poč}}}{P_{\text{kon}} - P_{\text{poč}}} \right] k = \left[ \frac{7,167 - 5,05}{10,45 - 5,05} \right] 1,393$$

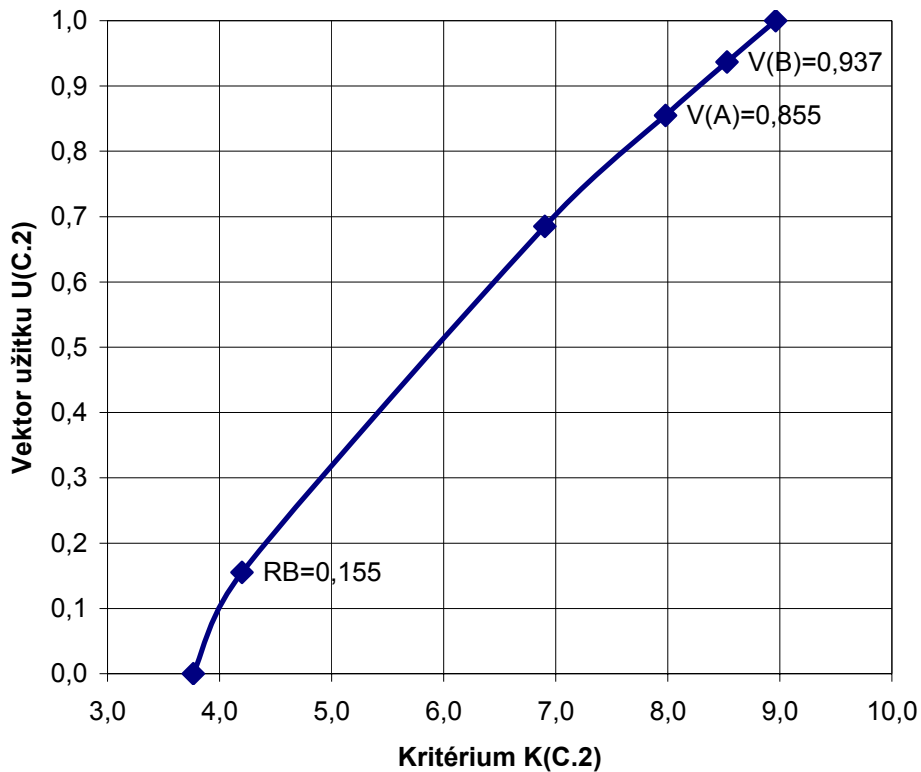
Souřadnice vyhodnocovací křivky jsou

Varianta	X = poč	V(B)	V(A)	Průměr	Ref. bod	X = kon
$K_{15}$	5,05	5,5	6	7,167	10	10,45
$U_{15}$	0	0,031	0,089	0,271	0,886	1

Preference užité hodnoty:  $V(A) \rightarrow \rightarrow \rightarrow V(B)$

## OBRÁZEK 3B

### Hodnocení pomocí kritéria $K_{17}$ C.2 Potenciál komerčního využití samotné nádražní budovy



#### Komentář k diagramu:

Kritérium  $K(17)$  vyjadřuje potenciál komerčního využití samotné nádražní budovy; podrobnější charakteristika je uvedena v *indikátorovém listu*.

Rovnice funkce užítku  $U_j = f_j(P_j)$  je definována vztahem pro přímou transformaci

$$U_{17} = \left[ \frac{P_{\text{prům}} - P_{\text{poč}}}{P_{\text{kon}} - P_{\text{poč}}} \right] k = \left[ \frac{6,903 - 3,767}{8,963 - 3,767} \right] 0,749$$

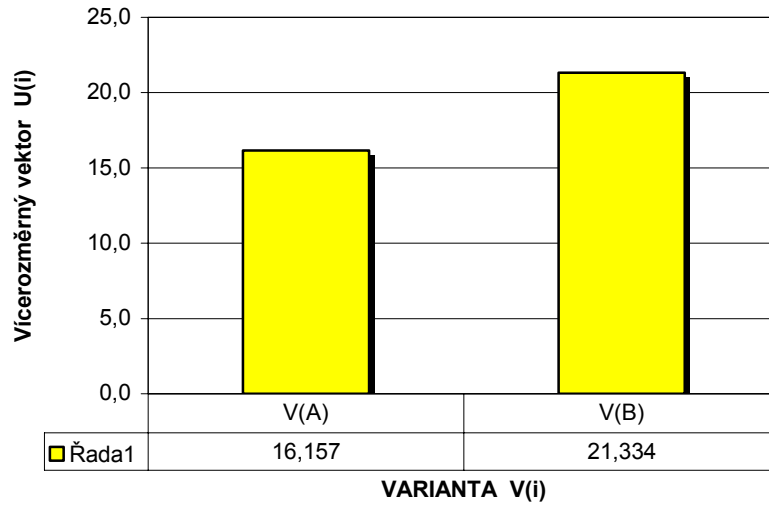
Souřadnice vyhodnocovací křivky jsou

Varianta	X = poč	Ref. bod	Průměr	V(A)	V(B)	X = kon
$K_{17}$	3,767	4,2	6,903	7,98	8,53	8,963
$U_{17}$	0	0,155	0,685	0,855	0,937	1

Preference užité hodnoty:  $V(B) \rightarrow \rightarrow \rightarrow V(A)$

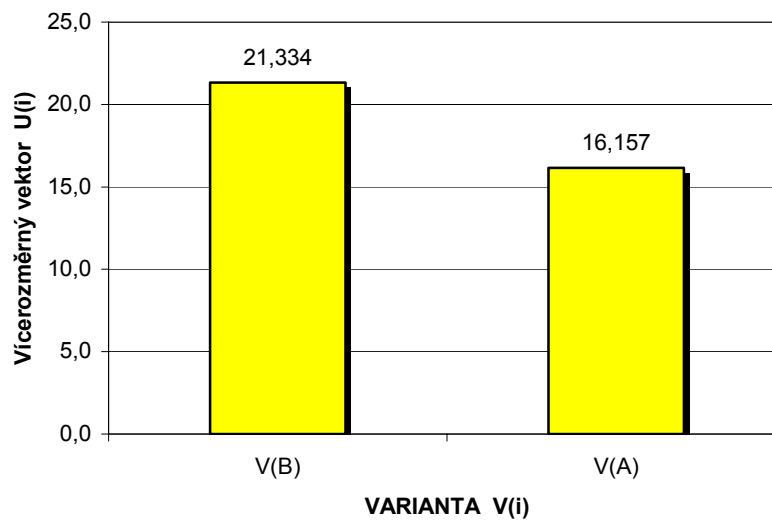
### OBRÁZEK 4

Hodnoty vícerozměrných vektorů pro rovnocenný význam kritérií  
(nevážený výstup)



### OBRÁZEK 5

Hierarchizace scénářů pro rovnocenný význam kritérií





## 4.2 STANOVENÍ RELATIVNÍHO VÝZNAMU (VÁHY) KRITÉRIÍ

V předložené studii byla pro řešení upřednostněna metoda **dvouúrovňové alokace** tj. kombinace alokace jednak pro základní 4 hlediska (kategorie), jednak individuálně pro různý počet parametrů v rámci každého hlediska. Tím byla zajištěna možnost hodnocení významnosti vzájemně porovnatelných kritérií.

Zároveň byla uplatněna týmová expertní anketa a brainstorming společného týmu zadavatele a řešitele, viz **tabulky 5a, 5b**. Referenční hodnoty jsou definovány jako aritmetické průměry znalecké výpovědi 8 expertů.

Celkový přehled stanovených normalizovaných hodnot relativní důležitosti kritérií  $w_j^{(N)}$  je uveden v **tabulce 5c**.

Normované váhy byly vypočítány podle **rovnice (14)**.



### TABULKA 5-A

**Stanovení relativní důležitosti hledisek (kategorií) metodou alokace a týmovým expertním postupem; [počet bodů].**

KATEGORIE	EXPERT $E_k$								w[KAT]	w[KAT] <sup>(N)</sup>
	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$	$E_8$		
<b>A</b>	55	20	40	25	40	45	20	30	34,375	0,34375
<b>B</b>	15	25	25	25	20	20	30	40	25	0,25000
<b>C</b>	15	25	15	30	17	15	30	10	19,625	0,19625
<b>D</b>	15	30	20	20	23	20	20	20	21	0,21000
<b>SUMA</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1

## TABULKA 5-B

Stanovení relativní důležitosti kritérií metodou alokace a týmovým expertním postupem v rámci jednotlivých kategorií; [počet bodů].

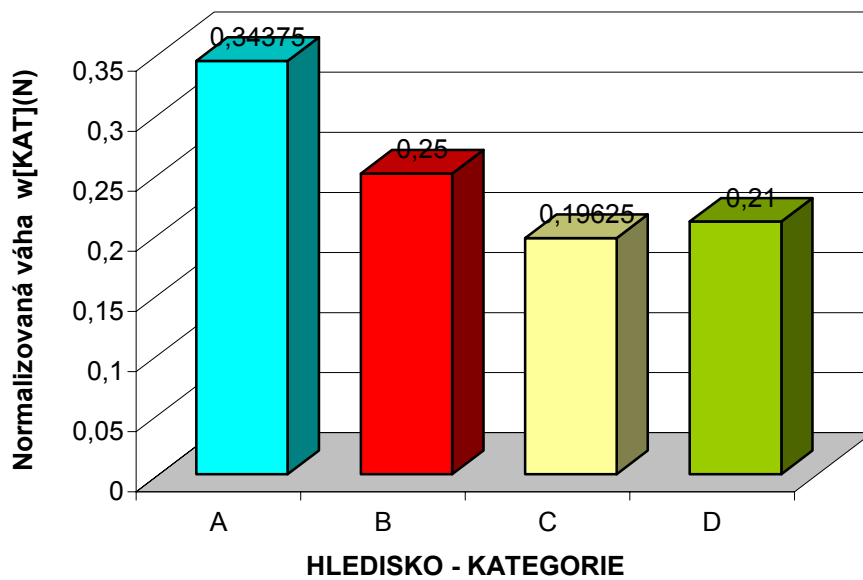
KRITÉRIUM $P_j$		EXPERT $E_k$							$W_j$	$W_{j(KAT)}^{(N)}$
		$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$		
1	A1	20	20	25	25	20	10	15	19,286	0,19286
2	A2	20	18	20	20	20	25	30	21,857	0,21857
3	A3	20	25	20	20	25	25	20	22,143	0,22143
4	A4	10	5	10	10	10	10	5	8,571	0,08571
5	A5	15	15	15	15	15	20	10	15,000	0,15000
6	A6	15	17	10	10	10	10	20	13,143	0,13143
Suma		100	100	100	100	100	100	100	100,000	1
7	B1	10	20	15	10	15	20	15	15,000	0,15000
8	B2	10	25	15	20	20	22	15	18,143	0,18143
9	B3	20	15	12	15	25	23	10	17,143	0,17143
10	B4	10	15	15	15	15	10	10	12,857	0,12857
11	B5	20	5	10	10	5	10	10	10,000	0,10000
12	B6	10	5	10	10	5	2	10	7,429	0,07429
13	B7	5	5	8	5	5	4	5	5,286	0,05286
14	B8	10	5	10	10	5	8	15	9,000	0,09000
15	B9	5	5	5	5	5	1	10	5,143	0,05143
Suma		100	100	100	100	100	100	100	100,000	1
16	C1	13	15	15	10	5	10	10	11,143	0,11143
17	C2	10	2	5	10	10	12	10	8,429	0,08429
18	C3	15	2	5	15	5	11	15	9,714	0,09714
19	C4	10	2	5	10	15	12	10	9,143	0,09143
20	C5	15	18	15	20	15	12	15	15,714	0,15714
21	C6	10	25	20	10	5	15	10	13,571	0,13571
22	C7	3	2	5	5	5	8	10	5,429	0,05429
23	C8	5	2	8	5	15	7	10	7,429	0,07429
24	C9	12	12	15	10	10	12	5	10,857	0,10857
25	C10	7	20	7	5	15	1	5	8,571	0,08571
Suma		100	100	100	100	100	100	100	100,000	1
26	D1	30	40	40	30	20	30	20	30,000	0,30000
27	D2	10	10	10	20	20	10	15	13,571	0,13571
28	D3	20	20	20	20	10	20	20	18,571	0,18571
29	D4	10	5	10	15	20	20	20	14,286	0,14286
30	D5	30	25	20	15	30	20	25	23,571	0,23571
Suma		100	100	100	100	100	100	100	100,000	1

### TABULKA 5-C

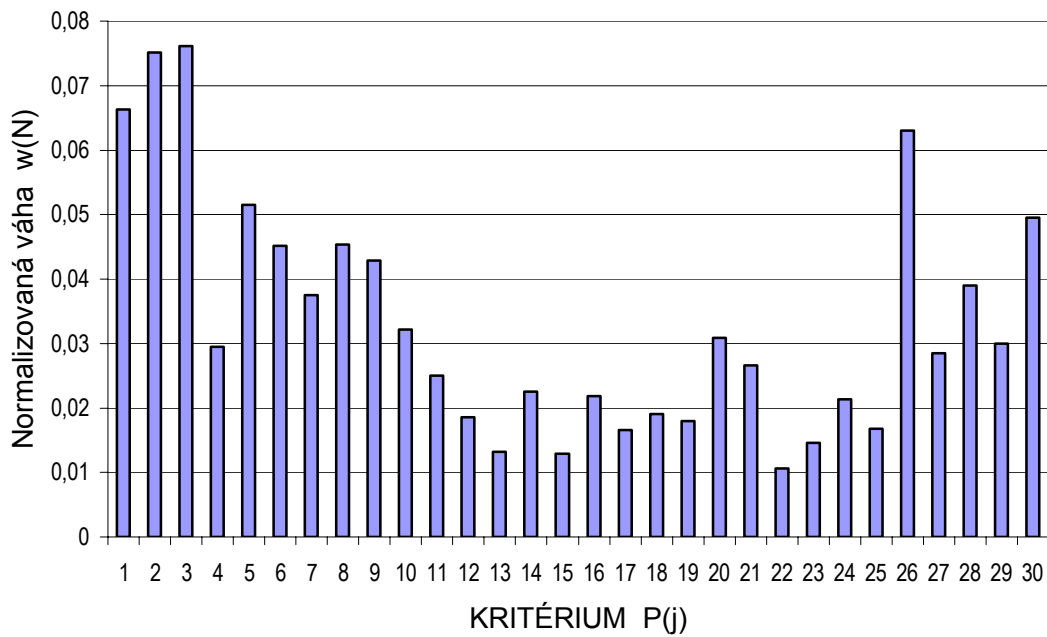
Relativní důležitost kritérií  $w_j^{(N)}$

KRITÉRIUM $P_i$		$w[KAT]^{(N)}$	$w_{j(KAT)}^{(N)}$	$w_i^{(N)}$
1	A1	0,34375	0,19286	0,06630
2	A2		0,21857	0,07514
3	A3		0,22143	0,07612
4	A4		0,08571	0,02946
5	A5		0,15000	0,05156
6	A6		0,13143	0,04518
7	B1	0,25000	0,15000	0,03750
8	B2		0,18143	0,04536
9	B3		0,17143	0,04286
10	B4		0,12857	0,03214
11	B5		0,10000	0,02500
12	B6		0,07429	0,01857
13	B7		0,05286	0,01322
14	B8		0,09000	0,02250
15	B9		0,05143	0,01286
16	C1	0,19625	0,11143	0,02187
17	C2		0,08429	0,01654
18	C3		0,09714	0,01906
19	C4		0,09143	0,01794
20	C5		0,15714	0,03084
21	C6		0,13571	0,02663
22	C7		0,05429	0,01065
23	C8		0,07429	0,01458
24	C9		0,10857	0,02131
25	C10		0,08571	0,01682
26	D1	0,21000	0,30000	0,06300
27	D2		0,13571	0,02850
28	D3		0,18571	0,03900
29	D4		0,14286	0,03000
30	D5		0,23571	0,04950
Suma		1	x	1

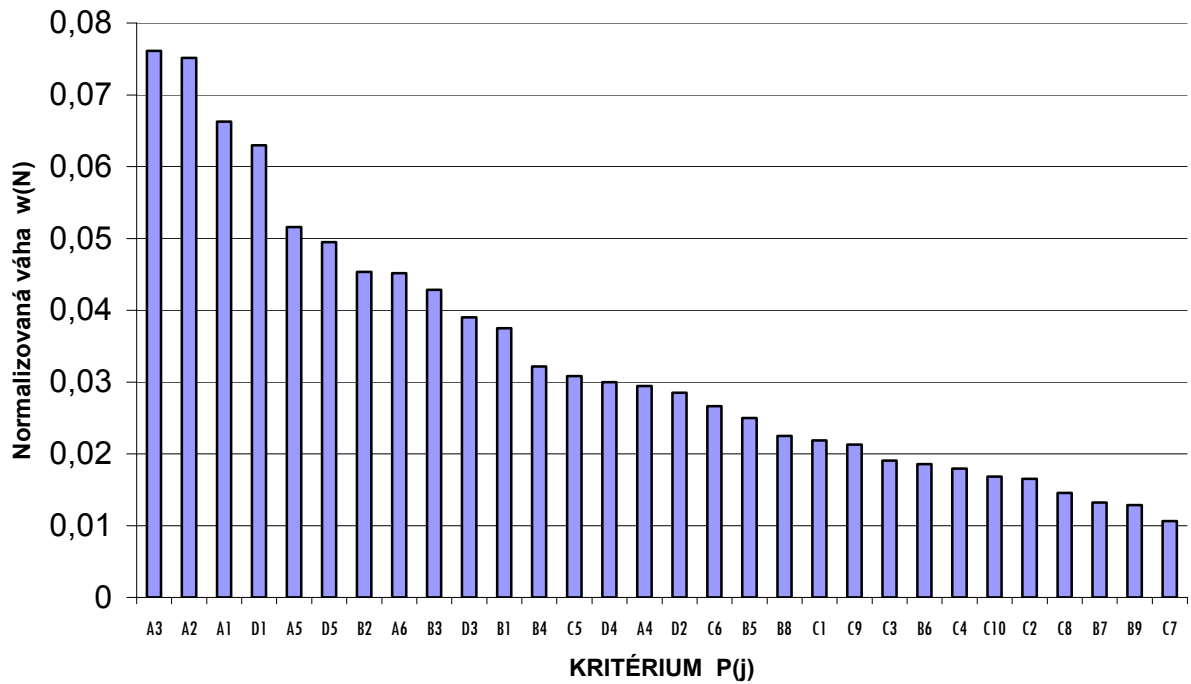
**OBRÁZEK 6-A**  
**Hierarchizace hledisek pro normalizované váhy**



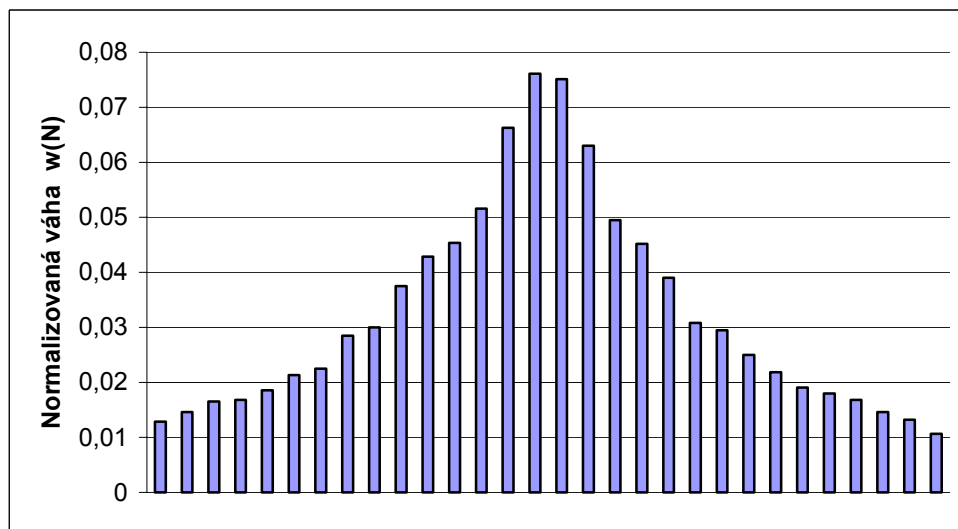
**OBRÁZEK 6-B**  
**Hierarchizace kritérií pro normalizované váhy**



**OBRÁZEK 7-A**  
**Test rozdělení priorit kritérií**



**OBRÁZEK 7-B**  
**Test rozdělení priorit kritérií**



*Poznámka:*

Diagram je vytvořen postupným vynášením úhrnů předností od mediánu střídavě na levou a pravou stranu od nejvyšší do nejnižší hodnoty. Vrcholy sloupcového diagramu naznačují obalovou křivku pro tzv. normální rozdělení náhodných chyb. Tím se prokazuje objektivní reprezentativnost výsledku bez rušivého vnějšího (cíleného) vlivu.

### 4.3 MODEL PRO DIFERENCOVANÝ VÝZNAM KRITÉRIÍ (STANDARDNÍ ŘEŠENÍ)

Popis formalizované metody Totálního ukazatele kvality prostředí TUKP je podrobně uveden v kapitola *Teoretické předpoklady* a v monografii *J. Říhy (2001): Posuzování vlivů na životní prostředí. Metody pro předběžnou rozhodovací analýzu. Vydavatelství ČVUT Praha, 477 stran.*

Algoritmus úlohy se opírá o výpočet hodnot multirozměrného vektoru  $U_i$  podle rovnice (3), tj. aplikaci aditivního modelu (TUKP) =  $U_i$  definovaného vztahem

$$U_i = \sum_{j=1}^n U_j w_j^{(N)}.$$

kde výraz  $U_j = f_j(P_j^{(j)})$  představuje jednorozměrnou funkci užitku a výraz  $w_j^{(N)}$  označuje normalizovanou váhu kritéria pro parametr  $P$  označený indexem  $j$ .

Výsledky provedené analýzy a postupných kroků hodnocení jsou doloženy definovanými parametry transformačních funkcí dílčího užitku v **tab. 2** a v **tab. 3**, vyhodnocovacími křivkami těchto funkcí, viz DEMO-příklady na **obr. 3**, normovanými vahami kritérií v **tab. 5**.

V **tab. 6** je proveden výpočet hodnot vektorů  $U_i$  pro vážený výstup hodnocení (standardní řešení). Hodnotám odpovídá sloupkový diagram na **obr. 8** a hierarchizace scénářů pro diferencovaný význam kritérií na **obr. 9**.



Pro rozhodovací proces je významné porovnání výsledků multikriteriální analýzy pro model rovnocenného významu kritérií (unweighted outcomes) a pro model zahrnující diferencované váhy kritérií pomocí váhového multiplikátoru (parameter weights). Za tím účelem byly v závěru výpočtů pro oba modely určeny veličiny označené symboly  $U_i^*$  a  $U_i^{**}$ , které umožňují vzájemné porovnání výsledků v procentech, když zjištěné maximální hodnotě vektoru bylo přisouzeno 100 %. Komparaci výsledků pro model rovnocenného významu kritérií s výsledky pro model diferencovaného významu kritérií uvádí diagram vzájemně porovnatelných hodnot na **obr. 10**.

Pro model rovnocenného významu kritérií je

Varianta	$V_A$	$V_B$
$U_i$	16,157	21,334
$U_i^* [\%]$	75,73 %	100 %
Pořadí	2.	1.

Pro model diferencovaného významu kritérií je

Program	$V_A$	$V_B$
$U_i$	0,486	0,709
$U_i^{**} [\%]$	68,5 %	100 %
Pořadí	2.	1.

Zjištěné pořadí scénářů pro oba modely je shodné.

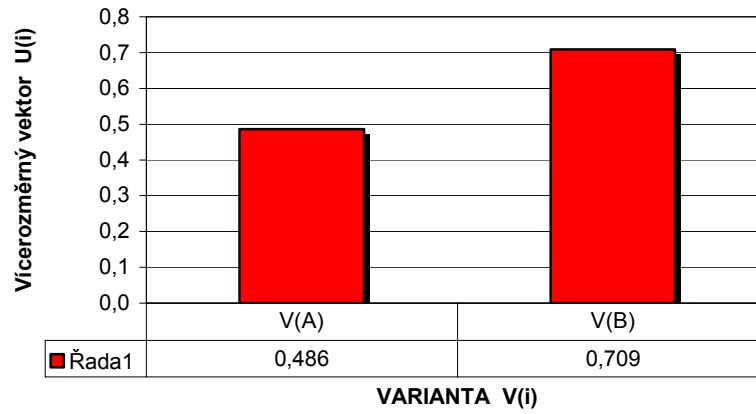
**TABULKA 6**

Hodnoty vektorů $U_i = f_j(P_j)$ pro vážený výstup (standardní řešení)			
KRITÉRIUM		VARIANTA $V_i$	
Parametr $P_j$		$V_A$	$V_B$
1	A1	0,061	0,033
2	A2	0,071	0,069
3	A3	0,027	0,069
4	A4	0,027	0,028
5	A5	xxx	xxx
6	A6	0,038	0,007
7	B1	0,006	0,032
8	B2	0,007	0,039
9	B3	0,005	0,029
10	B4	0,004	0,025
11	B5	0,017	0,023
12	B6	0,017	0,014
13	B7	0,010	0,012
14	B8	0,021	0,014
15	B9	0,001	0,000
16	C1	0,002	0,020
17	C2	0,014	0,015
18	C3	0,017	0,002
19	C4	0,017	0,017
20	C5	0,003	0,028
21	C6	0,022	0,025
22	C7	0,010	0,009
23	C8	0,014	0,012
24	C9	0,020	0,018
25	C10	0,001	0,015
26	D1	0,005	0,058
27	D2	0,026	0,019
28	D3	0,003	0,036
29	D4	0,013	0,002
30	D5	0,006	0,037
<b><math>U_i</math></b>		0,486	0,709
<b><math>U_i^{**}</math> [%]</b>		68,5 %	100 %
<b>Pořadí</b>		<b>2.</b>	<b>1.</b>

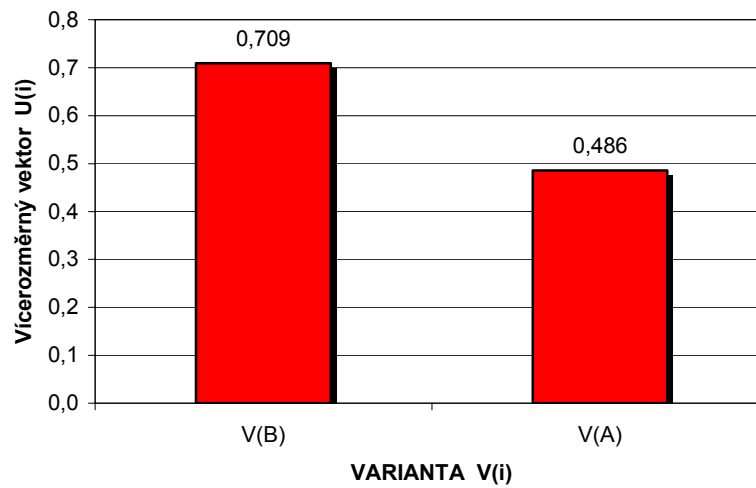
*Poznámky k tabulce 6:*

- Hodnoty v tabulce byly získány vynásobením hodnot parametrů pro jednorozměrné funkce užítku  $U_j = f_j(P_j)$  uvedené v **tab. 3** hodnotami normalizovaných vah  $w_j^{(N)}$  uvedených v **tab. 5**.
- Symbol  $U_i^{**}$  je vyjádřen jako procentický podíl z maximálně dosažitelné míry užítku posuzovaného souboru variant, tj  $U_i^{**} = 100 (U_i / \max U_i)$  s uvážením diferencované váhy kritérií.

**OBRÁZEK 8**  
**Hodnoty vícerozměrných vektorů  $U_j$  pro vážený výstup**  
**(standardní řešení)**



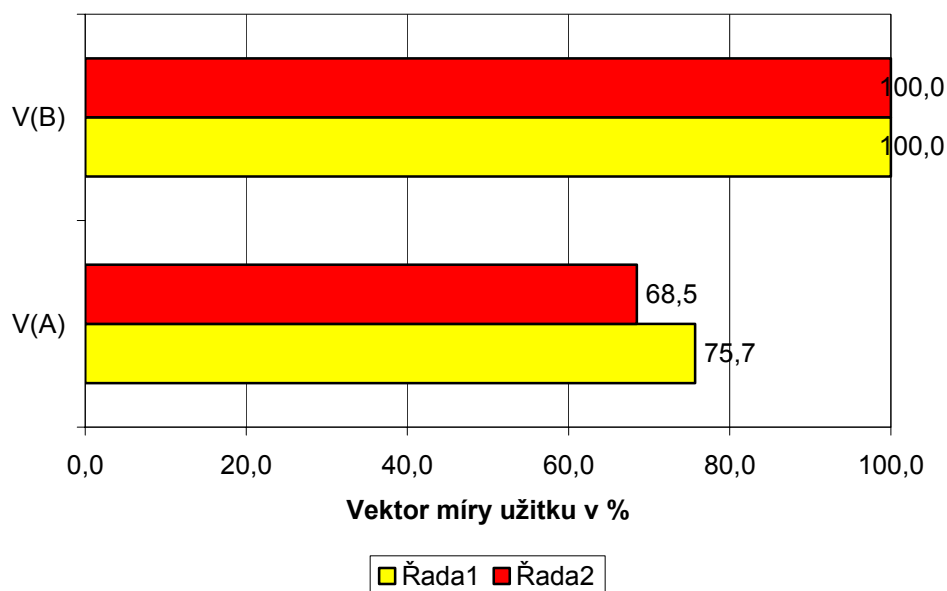
**OBRÁZEK 9**  
**Hierarchizace scénářů pro vážený výstup**  
**(standardní řešení)**





## OBRÁZEK 10

### Komparace výsledků pro model rovnocenného a diferencovaného významu kritérií



#### LEGENDA:

Řada 1 obsahuje hodnoty  $U_i^*$  [%] a vyjadřuje výsledky pro princip rovnocennosti kritérií

Řada 2 obsahuje hodnoty  $U_i^{**}$  [%] a vyjadřuje výsledky pro princip diferencovaného významu kritérií (standardní řešení)

**Z dílčí analýzy pro diferencovaný význam kritérií jednoznačně vyplývá preference varianty  $V_B \rightarrow V_A$  (100:75,7)**

**Toto zjištění podporuje výsledek pro model rovnocenného významu kritérií  $V_B \rightarrow V_A$  (100:68,5).**



## 4.4 TESTY CITLIVOSTI

Test citlivosti byl proveden s ohledem na výraznou váhu prvních čtyř parametrů podle **obr. 7-a**, tj.  $P_{A3}$ ;  $P_{A2}$ ;  $P_{A1}$ ;  $P_{D1}$ . Po vyřazení těchto kritérií byla zjišťována upravená hodnota vícerozměrného vektoru pro zbývajících 26 parametrů..

Výsledek prokazuje, že pořadí variant se i za této situace nemění, což je dokladem mimořádné stability soustavy; naopak **po vyřazení kritérií s nejvyšší vahou mírně zesiluje preference  $V_B$  před  $V_A$** , viz přehled.

Varianta	$V_A$	$V_B$	Poměr $V_B / V_A$
Vektor $U(i)$ pro 30 kritérií	0,486	0,709	1,459
Vektor $U(i)$ pro 26 kritérií	0,321	0,478	1,489
Pořadí	<b>2.</b>	<b>1.</b>	xxx



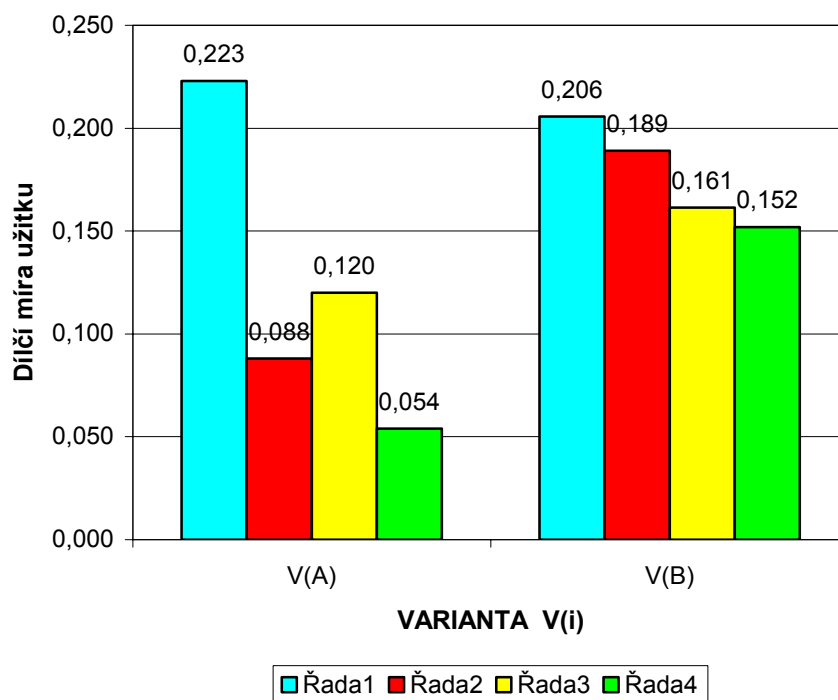
Na **obr. 11** je uveden test pořadí scénářů podle jednotlivých hledisek kritérií a diferencovaný význam kritérií, viz segment **tab. 6**:

Kategorie	$V_A$	$V_B$
A	0,223	0,206
B	0,088	0,189
C	0,120	0,161
D	0,054	0,152
Celkem	0,486	0,709

Z uvedeného přehledu a grafického zobrazení vyplývá, že **varianta  $V_A$  si získává prioritu v rámci skupiny kritérií A**, naopak **varianta  $V_B$  si udržuje prioritu v rámci zbývajících tří hledisek B, C a D**.

## Obrázek 11

### Testy pořadí scénářů podle jednotlivých hledisek



#### Legenda:

- A. Řada 1 obsahuje hodnoty kategorie A - podmínky pro železniční provoz
- B. Řada 2 obsahuje hodnoty kategorie B - kvalita systému veřejné dopravy a jeho návaznost na síť pro individuální dopravu
- C. Řada 3 obsahuje hodnoty kategorie C - možnosti urbanizace jižní části města a celoměstské souvislosti
- D. Řada 4 obsahuje hodnoty kategorie D - finanční udržitelnost a příležitosti pro zapojení evropských fondů a veřejných rozpočtů

## 4.5 TEST SHODY

### GRAFICKÝ PRAVDĚPODOBNOSTNÍ MODEL GENIE (A GRAPHICAL NETWORK INTERFACE)

Test shody výsledků obdržených pomocí metody TUKP pro rovnocenný a diferencovaný model byl realizován pomocí grafického pravděpodobnostního modelu GeNie.



Název **GeNie** tvoří zkratku počátečních písmen úplného názvu „A *Graphical Network Interface*“. Produkt je od roku 1999 autorizován pracovištěm americké university Decision Systems Laboratory, University of Pittsburgh, School of Information Science, Pittsburgh, PA, USA. Teoretický základ byl extrahován z publikace R.T. Clemen (1966). Název SMILE tvoří zkratku počátečních písmen úplného názvu *Structural Modeling, Inference, and Learning Engine*. Tvoří základ a softwarovou podporu pro produkt GeNie.

Je to grafický pravděpodobnostní model určený především pro neziskové vědecké a pedagogické účely. Autorské pracoviště trvale pokračuje na jeho precizaci a rozšiřování. Předmětem zájmu je především rozšíření možností v oblasti multiplikativních úkolů ve prospěch teorie MUT.

Model zahrnuje podpůrný analytický systém rozhodování opřený o teorii pravděpodobnosti DSS (Probabilistic Decision-analytic Support Systems). Podle autorů jde o novou generaci systémů, které jsou schopny modelovat reálný svět na základě teorie a praktických metod z oboru pravděpodobnosti a rozhodování. Základ tvoří grafické zobrazení struktury problému. Obecně využívá Bayesovské řetězce, které představují řízené acyklické grafy, kde uzly znázorňují náhodné proměnné a spojnice představují přímou pravděpodobnostní závislost. Struktura sítě je grafické, kvalitativní vyjádření vzájemné interakce proměnných. Když je struktura kauzální, potom umožňuje predikci efektů na vnější podněty. Přísluší do kategorie metod statistické analýzy, v nichž je apriorní informace formálně kombinována s výběrovými daty za účelem získání odhadů nebo testování hypotéz. Model GeNie graficky (tvarem) rozlišuje čtyři typy uzlů, tj. pro rozhodování, možnost (předpověď), konstantu a vlastní hodnotu; současně rozlišuje přímý a informativní typ vazby. Obsahuje diagramy vlivu či významnosti, které definují různé problémy rozhodování. Konečným cílem je výběr takového scénáře, který vede k nejvyššímu očekávanému užítku.

Pravděpodobnostní DSS je založen na odlišné filozofii řízených expertních systémů, které se snaží modelovat myšlení a dedukci experta. Směřuje k výpočtu na základě axiomatické teorie užitku. Spolehlivost teorie pravděpodobnosti je nesporná v porovnání se standardními expertními systémy, které zpravidla vyjadřují nejistotu různým způsobem *ad-hoc*, např. pomocí jistotních faktorů, které mohou vést k nesprávným záměrům. Je používán v mnoha oborech, např. bankovníctví, obchodu, vojenství, technice, pro diagnostiku v lékařství ap.

Volně dostupný a testovaný software GeNie verze 1.0 podporuje pouze aditivní lineární funkce MAU (Multiple Attribute Utility) a je přístupný na internetové adrese <http://www2.sis.pitt.edu/~genie/>; <http://www.sis.pitt.edu/~dsl>.

Od roku 2006 je k dispozici novější verze GeNie 2.0.

### Prameny:

- ❑ CLEMEN, R. T. (1966): *Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis*. Second Edition.
- ❑ DSL (1999): *A Graphical Network Interface*. Decision Systems Laboratory, University of Pittsburgh, School of Information Science. Pittsburgh, PA, April 20 1999.  
Web: <http://www2.sis.pitt.edu/~genie/> ; <http://www.sis.pitt.edu/~dsl>.
- ❑ Decision Systems Laboratory  
School of Information Sciences  
University of Pittsburgh  
B-212 SIS Building  
135 North Bellefield Avenue  
Pittsburgh, PA 15260



Na **obr. 12** je uvedena struktura multikriteriální analýzy MAU pro posouzení a volbu optimálního scénáře. Pro řešení je nutno zadat hodnoty parametrů pro 30 zvolených kritérií jednotlivě pro všechny posuzované varianty podle číselných údajů pro transformované hodnoty dílčích funkcí užítku  $U_j = f_j(P_j)$  z **tab. 3** a váhy  $w_j^{(N)}$  z **tab. 5**.

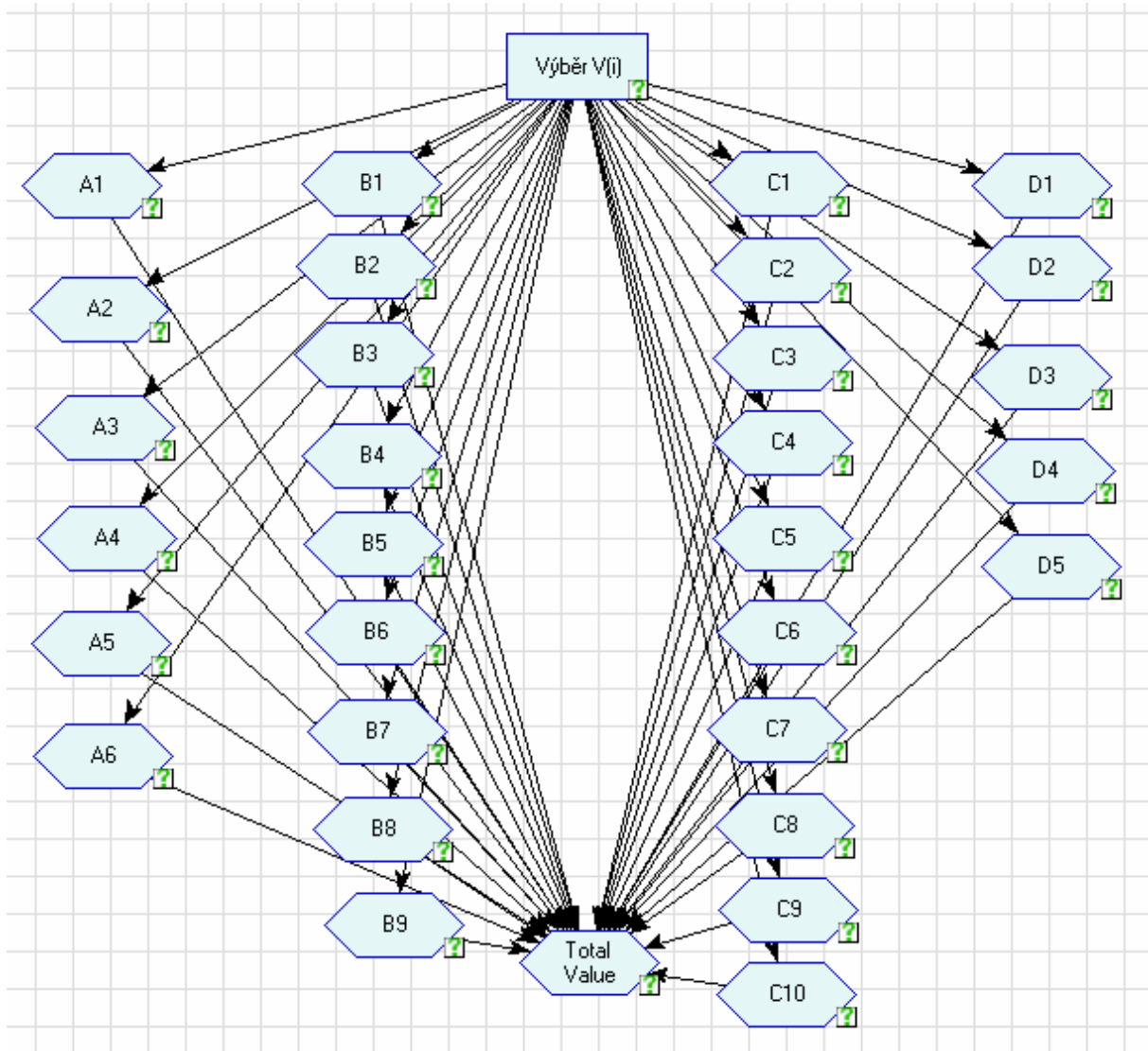
Okno grafického modelu GeNle na **obr. 13** následně poskytne číselné hodnoty užítku, tj. implicitně pořadí posuzovaných scénářů. Výpočet je proveden v deterministickém režimu modelu.

Dílčí kontroly jsou možné vyvoláním libovolného okna modelu. Např. na **obr. 14** je okno modelu GENIE pro DEMO-příklad s numerickými hodnotami dílčí funkce užítku pro kritérium A6, nebo na **obr. 15** je okno modelu GENIE pro DEMO-příklad s numerickými hodnotami pro váhy parametrů.

**Provedený test shody pomocí grafického pravděpodobnostního modelu GeNle potvrdil úplnou shodu s výsledky obdržených pomocí metody TUKP a dvou modelů, tj. modelu pro rovnocenný význam kritérií (tzv. nevážený výstup) a pro diferencovaný význam kritérií (standardní řešení), viz číselné hodnoty vektorů výsledného výstupu na **obr. 13**.**

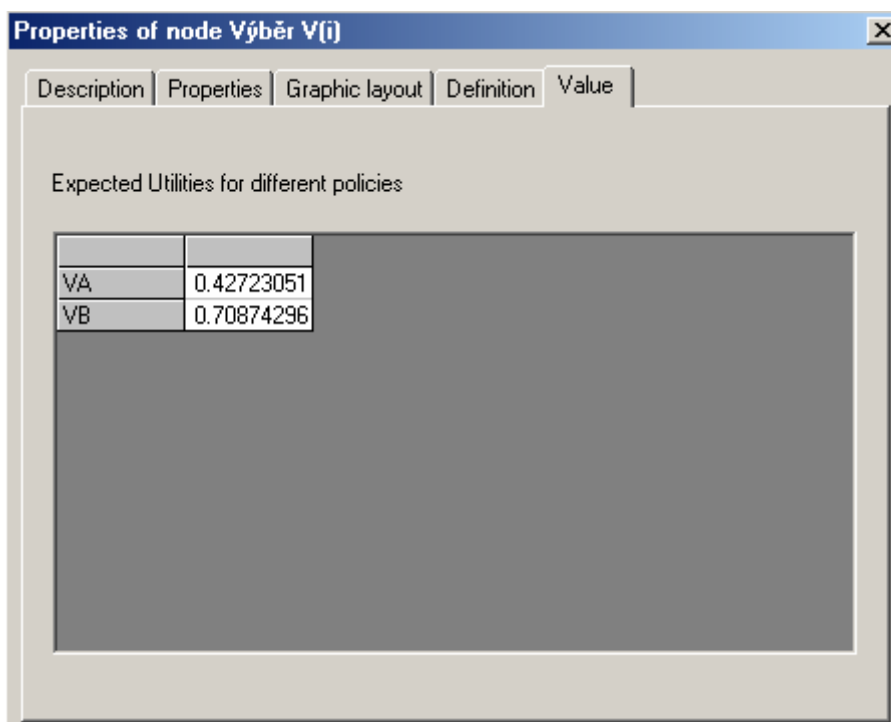
## OBRÁZEK 12

### OKNO MODELU GENIE SE STRUKTUROU MAU PRO 30 KRITÉRIÍ



## OBRÁZEK 13

VÝSLEDEK SKÓROVÁNÍ A OČEKÁVANÝ UŽITEK VARIANT  $V_A$  a  $V_B$  PODLE MODELU GENIE



Properties of node Výběr V(i)

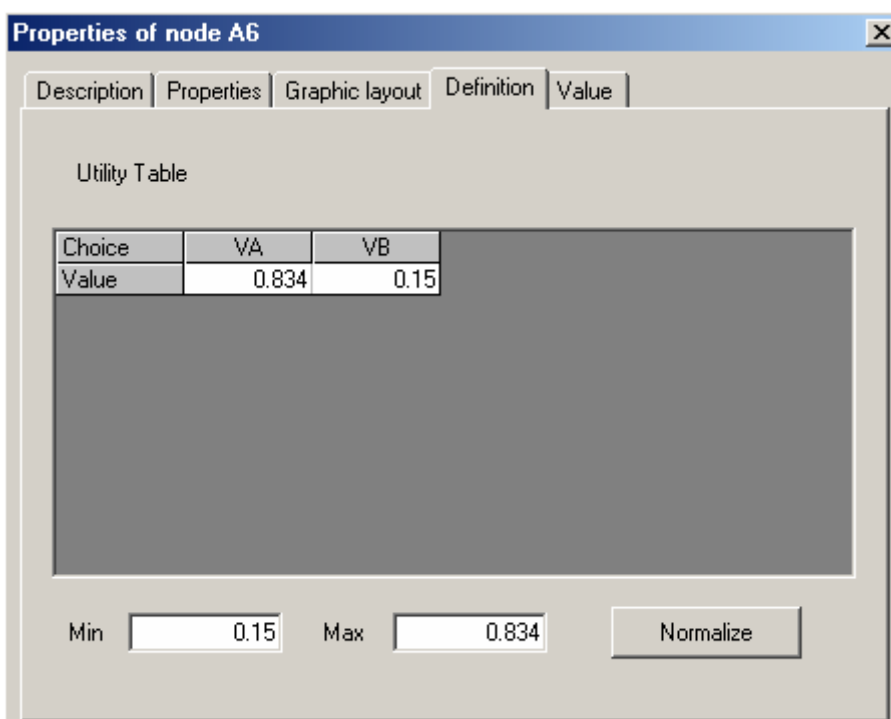
Description Properties Graphic layout Definition Value

Expected Utilities for different policies

VA	0.42723051
VB	0.70874296

## OBRÁZEK 14

Okno modelu GENIE pro DEMO-příklad s numerickými hodnotami dílčí funkce užitku pro kritérium A6



Properties of node A6

Description Properties Graphic layout Definition Value

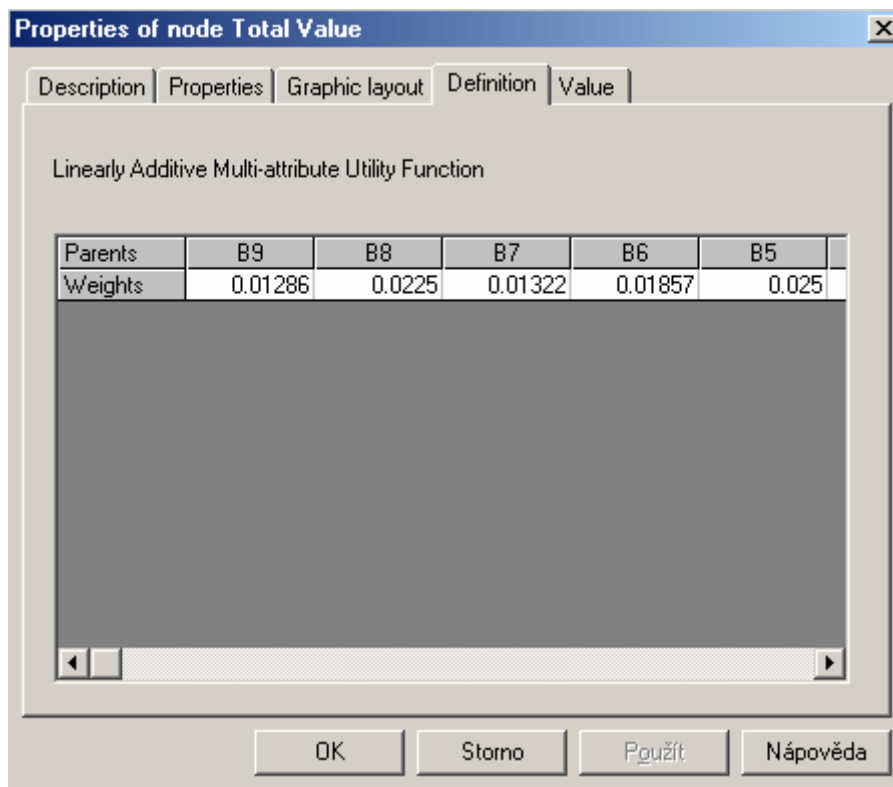
Utility Table

Choice	VA	VB
Value	0.834	0.15

Min  Max

## OBRÁZEK 15

Okno modelu GENIE pro DEMO-příklad s numerickými hodnotami pro váhy parametrů.  
*Poznámka: Porovnej s tabulkou 5-c.*





## 5 HODNOCENÍ PODLE POLITICKÉ REPREZENTACE MĚSTA BRNA

Zadané modifikované vstupy pro multikriteriální analýzu (18.07.2007)

Box (v)

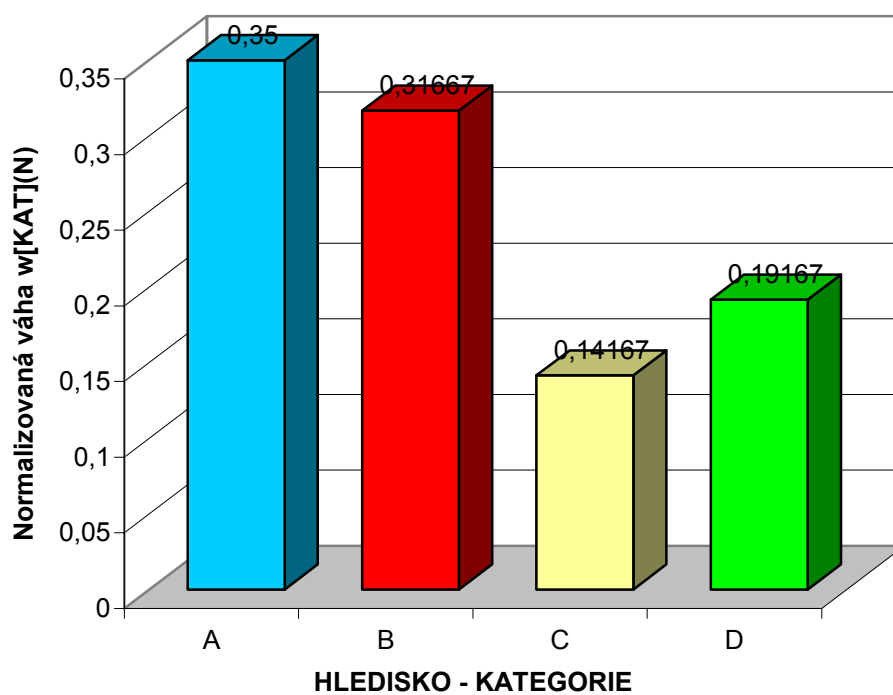
Kategorie	E1'	E2'	E3'	E4'	E5'	E6'	E* (průměr)
A	20	40	40	20	55	35	35
B	40	25	40	30	15	40	31,66667
C	15	20	10	15	15	10	14,16667
D	25	15	10	35	15	15	19,16667
SUMA	100	100	100	100	100	100	100

Box (vi)

Váhy jednotlivých kritérií			
Kritérium	x	y	Průměr
A1	15	20	17,5
A2	25	10	17,5
A3	20	30	25
A4	10	10	10
A5	20	20	20
A6	10	10	10
Suma	100	100	100
B1	20	15	17,5
B2	20	10	15
B3	10	10	10
B4	10	10	10
B5	15	15	15
B6	5	5	5
B7	5	5	5
B8	7	10	8,5
B9	8	20	14
Suma	100	100	100
C1	20	20	20
C2	12	5	8,5
C3	8	10	9
C4	8	10	9
C5	9	5	7
C6	9	25	17
C7	5	5	5
C8	10	5	7,5
C9	10	10	10
C10	9	5	7
Suma	100	100	100
D1	20	40	30
D2	15	10	12,5
D3	20	10	15
D4	15	30	22,5
D5	30	10	20
Suma	100	100	100

## OBRÁZEK 6-A (MODIFIKOVANÝ)

Hierarchizace hledisek pro normalizované váhy podle politické reprezentace města Brna



Hierarchizace hledisek kritérií podle politické reprezentace města Brna je shodné se základním hodnocením řešitelského týmu, největší váha je přisouzena kategorii A (podmínky pro železniční provoz), nejmenší kategorii C (možnosti urbanizace jižní části města a celoměstské souvislosti).

**TABULKA 5-C (MODIFIKOVANÁ)**  
**Relativní důležitost kritérií  $w_j^{(N)}$  a průměr  $E^*$**

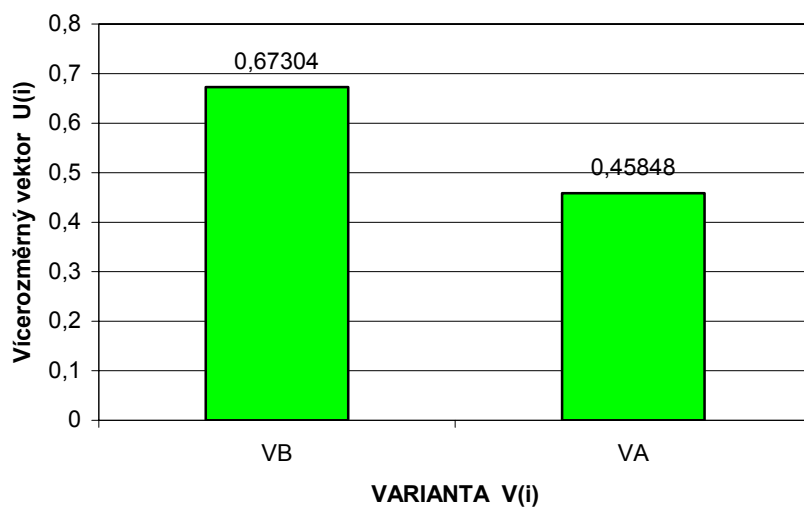
KRITÉRIUM $P_j$		$w[KAT]^{(N)}$	$w_{j(KAT)}^{(N)}$	$w_i^{(N)}$
1	A1	0,35	0,175	0,06125
2	A2		0,175	0,06125
3	A3		0,25	0,08750
4	A4		0,1	0,03500
5	A5		0,2	0,07000
6	A6		0,1	0,03500
7	B1	0,31667	0,175	0,055417
8	B2		0,15	0,047501
9	B3		0,1	0,031667
10	B4		0,1	0,031667
11	B5		0,15	0,047501
12	B6		0,05	0,015834
13	B7		0,05	0,015834
14	B8		0,085	0,026917
15	B9		0,14	0,044334
16	C1	0,14167	0,2	0,028334
17	C2		0,085	0,012042
18	C3		0,09	0,01275
19	C4		0,09	0,01275
20	C5		0,07	0,009917
21	C6		0,17	0,024084
22	C7		0,05	0,007084
23	C8		0,075	0,010625
24	C9		0,1	0,014167
25	C10		0,07	0,009917
26	D1	0,19167	0,3	0,057501
27	D2		0,125	0,023959
28	D3		0,15	0,028751
29	D4		0,225	0,043126
30	D5		0,2	0,038334
Suma		1	x	1

**TABULKA 6 (MODIFIKOVANÁ)**

Hodnoty vektorů $U_i = f_j(P_j)$ pro vážený výstup (standardní řešení) a průměr $E^*$			
KRITÉRIUM Parametr $P_j$		VARIANTA $V_i$	
		$V_A$	$V_B$
1	A1	0,05617	0,03063
2	A2	0,05764	0,05629
3	A3	0,03071	0,07945
4	A4	0,03213	0,03294
5	A5	xxx	xxx
6	A6	0,02919	0,00525
7	B1	0,00881	0,04805
8	B2	0,00755	0,04118
9	B3	0,00358	0,02138
10	B4	0,00437	0,02499
11	B5	0,03206	0,04403
12	B6	0,01474	0,01192
13	B7	0,01192	0,01474
14	B8	0,02482	0,01615
15	B9	0,00395	0,00137
16	C1	0,00235	0,02598
17	C2	0,01030	0,01128
18	C3	0,01169	0,00106
19	C4	0,01200	0,01173
20	C5	0,00082	0,00909
21	C6	0,02006	0,02254
22	C7	0,00664	0,00613
23	C8	0,00991	0,00842
24	C9	0,01329	0,01225
25	C10	0,00082	0,00909
26	D1	0,00477	0,05273
27	D2	0,02221	0,01617
28	D3	0,00239	0,02636
29	D4	0,01867	0,00319
30	D5	0,00491	0,02864
<b><math>U_i</math></b>		0,45848	0,67304
<b><math>U_i^{**}</math> [%]</b>		68,121	100
<b>Pořadí</b>		<b>2.</b>	<b>1.</b>

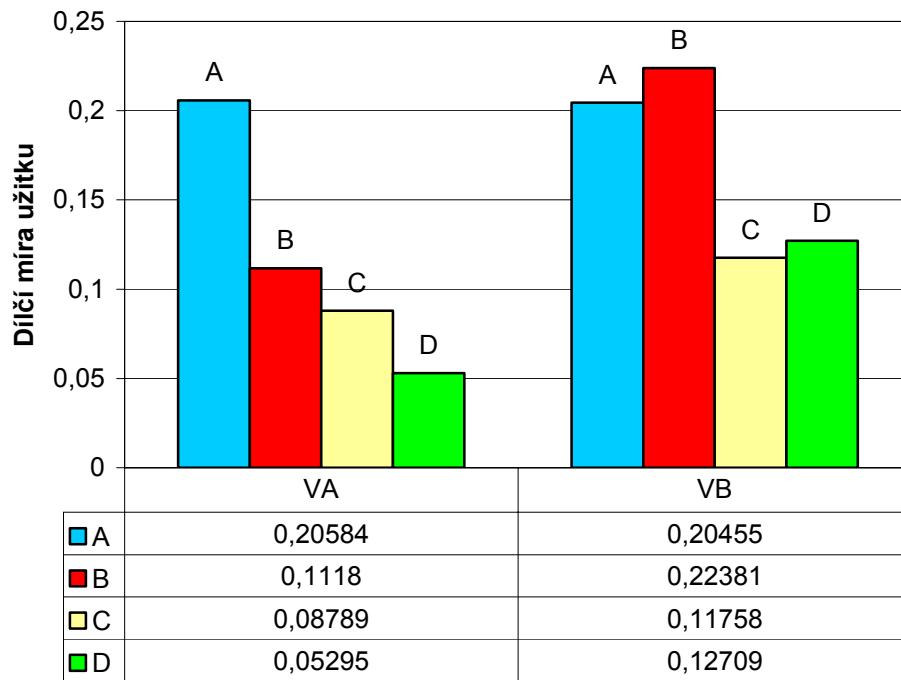
## OBRÁZEK 9 (MODIFIKOVANÝ)

Hierarchizace scénářů pro vážený výstup  
(standardní řešení)  
podle politické reprezentace města Brna  
a průměr  $E^*$



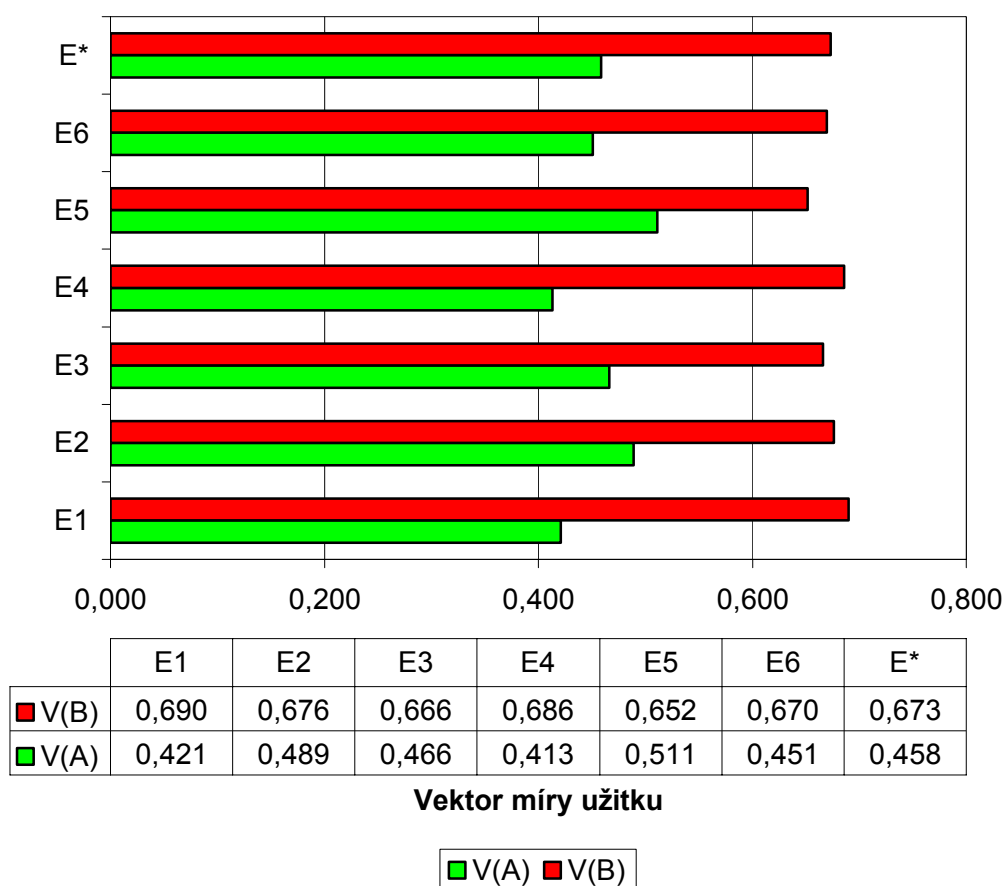
## OBRÁZEK 11 (MODIFIKOVANÝ)

Testy pořadí scénářů podle jednotlivých hledisek  
podle politické reprezentace města Brna  
a průměr E\*



## OBRÁZEK 16

### Komparace výsledků hodnocení podle politické reprezentace města Brna



**Ve všech případech hodnocení politické reprezentace města Brna prokazuje preferenci varianty V(B) před V(A), tj.  $V_B \Rightarrow V_A$ .**

Nejmenší rozdíl uvádí hodnocení týmu E5, kde hodnota míry užitku varianty V(A) dosahuje 78,4 % hodnoty V(B), následuje hodnocení týmu E2 ve výši 72,4 %. Naopak největší rozdíl v hodnocení variant naznačuje hodnocení týmu E4 ve výši 60,3 %. Celkové hodnocení varianty V(A) jako průměru E\* za všechna obdržená hodnocení dosahuje 68,1 % hodnoty superiorní varianty V(B). Jinými slovy preference  $V_B \Rightarrow V_A$  činí podle politické reprezentace města Brna asi 32 %.

## 6 NEJISTOTY A RIZIKA

Nejistoty a přijímaná rizika představují slabé stránky vypracované multikriteriální rozhodovací analýzy.

(a) ☛ Posudek EIA ze dne 7. července 2005 postrádá explicitní posouzení současného stavu ve smyslu nulové varianty, jak požaduje aktuálně platná legislativa od zpracovatele dokumentu EIA, cit. zákon č. 100/2001 Sb., ve znění zákona č. 93/2004 Sb., § 5 - Způsob posuzování vlivů záměru na životní prostředí;

(1) Posuzování zahrnuje zjištění, popis, posouzení a vyhodnocení předpokládaných přímých a nepřímých vlivů **provedení i neprovedení záměru na životní prostředí**.

(2) Při posuzování vlivů záměru na životní prostředí se vychází ze stavu životního prostředí v dotčeném území v **době oznámení záměru**.

Dikce posudku EIA je zmatená a kontroverzní, jak dokládá text hodnocení zpracovatele posudku, cit. „...koncepce „Přestavba železničního uzlu Brno“ na životní prostředí, v rámci které byla **ze čtyř posuzovaných variant** označena z hlediska vlivů na životní prostředí a veřejné zdraví jako nejvýhodnější varianta A – odsunutá (s umístěním nádraží do „odsunuté“ polohy v prostoru stávajícího nákladního nádraží „Brno – dolní“), **předložen jako invariantní** s tím, že v dokumentaci byly vlivy na životní prostředí a veřejné zdraví hodnoceny vůči **nulové variantě**, která představuje **zároveň variantu referenční**.“ Absence podrobného hodnocení současného stavu neumožňuje systémové zpracování multikriteriální analýzy pomocí nulové varianty v rozsahu definovaného souboru kritérií a hledisek.

### Pramen:

Ing. Václav Obluk: *Posudek o vlivech záměru „PŘESTAVBA ŽELEZNIČNÍHO UZLU BRNO“ na životní prostředí* podle zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), ve znění zákona č. 93/2004 Sb., ze dne 7. července 2005. Web:

Web: [www.europointbrno.cz/download/kpmb/1180684399.doc](http://www.europointbrno.cz/download/kpmb/1180684399.doc)

(b) ☛ Výsledek multikriteriálního hodnocení je komplementární k souboru definovaných 4 hledisek a 30 kritérií. Pro posuzovaný systém nelze vyloučit možnost, že pro jiný soubor kritérií a ukazatelů bude výstup hodnocení odlišný.

Uvedená nejistota přímo souvisí s otázkou úplnosti pokrytí hodnoceného prostoru a požadavku disjunkce, viz schéma na **obrázku 1**. Je zřejmé, že v souboru kritérií není ošetřeno hledisko bezpečnostního rizika; scénáře nejsou posuzovány z pohledu zranitelnosti, spolehlivosti provozu, nadprojektové havárie a ztráty funkce např. v důsledku teroristického útoku.

(c) ☛ Další nejistoty a přijímaná rizika souvisí s vějířem rizik, který je souhrnně specifikován v dokumentu MF ČR, tj.

📖 Stavebně-technologická a projekční rizika

- Stavební a projekční rizika



- Rizika lokality
- Rizika chybných technologií , sítí a souvisejících služeb

#### 📖 Kreditní rizika

- Riziko likvidity
- Rizika nesplnění závazků / riziko dostupnosti

#### 📖 Tržní rizika

- Riziko poptávky
- Riziko zvýhodnění konkurence
- Ostatní tržní rizika

#### 📖 Vnější rizika

- Politická rizika
- Vyšší moc
- Ostatní vnější rizika

#### 📖 Operační rizika

- Rizika související se zařízením
- Rizika související s lidmi
- Bezpečnostní rizika

#### 📖 Strategická rizika

- Smluvní rizika
- Ostatní strategická rizika

#### *Pramen:*

Min. financí ČR: *Katalog rizik PPP projektů*. 19. října 2004.

(d) ☛ Nejistoty a riziko se jeví v souvislosti s odsunutou variantou pro lokalitu v blízkosti Svratky, která je deklarována jako záplavová oblast (výškové kóty nejsou doloženy). V tomto případě bude nezbytná realizace nákladného protipovodňového opatření s vědomím, že bezpečnost nikdy nebude úplná (Aquarius).

M.j. platí ustanovení zákona č. 254/2001 Sb., ze dne 28. června 2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), § 67 - Omezení v záplavových územích - (1) „V aktivní zóně záplavových území se nesmí umísťovat, povolovat ani provádět stavby s výjimkou vodních děl, ...“.

(e) ☛ Během postupných kroků řešení byly vysloveny pochybnosti o dostatečné analýze proveditelnosti (feasibility study), viz problém např. dotčeného primárního kolektoru a páteřních rozvodů medií.



## 7 SOUHRN A ZÁVĚRY MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZY

Obsahem podkladové studie je analýza variant přestavby železničního uzlu Brno. Souhrnné zadání pro multikriteriální rozhodovací analýzu souboru dvou variant (viz box (i) podle katalogu 30 kritérií (box (ii)) je uvedeno jako box (iii). Číselné údaje a kvantifikace parametrů byla provedena expertním způsobem v rámci řešitelského týmu pomocí verbálně numerické stupnice, viz box (iv).

V závěrečné etapě procesu analýzy byly týmu zadány modifikované vstupy pro multikriteriální analýzu (18.07.2007) podle výsledku hodnocení politické reprezentace města Brna, viz box(v) a box(vi).

Zadávací dokumentace byla připravena a řešiteli předána komplexně s tím, že geneze vstupních údajů, jejich výklad a zdůvodnění netvoří předmět této podkladové studie.

Řešení bylo provedeno standardním způsobem pomocí maticové tabulky interakcí. Incidence a potenciální impakt byl definován výhradně v relativních jednotkách [RJ]. Analýza se opírá o axiomatickou teorii kardinálního užitku (MUT) a aplikuje metodu *Totálního ukazatele kvality prostředí* (TUKP). Obsahuje a porovnává výsledky dvou modelů, tj. modelu pro rovnocenný význam kritérií a pro diferencovaný význam kritérií (standardní řešení).

\*\*\*

- Jednorozměrné transformační funkce užitku a odpovídající vyhodnocovací křivky byly generovány pomocí mocninového vztahu z matice vstupních údajů (tabulka 1). Skóre posuzovaných programů je určováno hodnotami vícerozměrných vektorů

$$U_i = \sum_{j=1}^n f_j (P_j^{(y)}) w_j^{(N)} ,$$

ve smyslu zásad teoretického řešení. Výsledné pořadí je hierarchicky uspořádáno podle velikosti číselné hodnoty odpovídajícího vektoru  $U_i$  podle obecné uzance

„čím vyšší  $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$  tím lepší“ .

- Charakteristika kritérií je podrobně uvedena na jiném místě hodnotící studie ve formátu *indikátorového listu* a pomocí různého počtu subkritérií.
- Pro každé kritérium je vypracován unifikovaný katalogový list obsahující diagram (viz DEMO-příklady na obrázku 3a, 3b), komentář, analytické vyjádření funkce užitku a tabulku souřadnic. Z grafu a tabulky lze pro každé dílčí hodnocení (kritérium) vyčíst individuální preference posuzovaného souboru variant.
- Z dílčí analýzy pro rovnocenný význam kritérií vyplývá preference varianty  $V_B$  před  $V_A$ , viz obrázek 5. Zjištěná preference je více než 24 %, tj.  $V_B \Rightarrow V_A$  .
- Z dílčí analýzy pro diferencovaný význam kritérií vyplývá preference varianty  $V_B$  před  $V_A$ , viz obrázek 9. Zjištěná preference je více než 31 %, tj.  $V_B \Rightarrow V_A$  .
- Z porovnání výsledků obou modelů (obrázek 10) vyplývá, že zavedení relativní důležitosti (váhy) kritérií významně podporuje superiorní řešení a preferenci vítězné varianty. Jestliže pro rovnocenný význam kritérií zaujal první pozici scénář  $V_B$

s preferencí **24,2 %** před scénářem  $V_B$ , potom v rámci modelu pro diferencovanou váhu kritérií byla tato priorita zvýšena na rozdíl **31,5 %**.

- ❑ Provedený test shody pomocí grafického pravděpodobnostního modelu GeNle potvrdil úplnou shodu s výsledky obdržení pomocí metody TUKP a dvou modelů, tj. modelu pro rovnocenný význam kritérií (tzv. nevážený výstup) a pro diferencovaný význam kritérií (standardní řešení), viz číselné hodnoty vektorů výsledného výstupu na **obr. 13**.
- ❑ Podle provedeného kontrolního testu shody algoritmem modelu GENIE vyplývá preference varianty  $V_B$  před  $V_A$  (0,70874:0,42723, viz údaj v okně modelu na **obr. 13**). Zjištěná preference je téměř 40 %, tj.  $V_B \Rightarrow V_A$  s vědomím, že deterministický model GeNle uvažuje lineární vyhodnocení, nikoliv obecné mocninové křivky.
- ❑ Test citlivosti a vyřazení čtyř kritérií s nejvyšší vahou prokázal zesílení preference  $V_B \Rightarrow \Rightarrow V_A$ .
- ❑ Test pořadí scénářů podle jednotlivých hledisek kritérií prokazuje, že varianta  $V_A$  si získává prioritu v rámci skupiny kritérií A, naopak varianta  $V_B$  si udržuje prioritu v rámci zbývajících tří hledisek B, C a D, viz **obr. 11**.
- ❑ Výstupy hodnocení dokládají, že kritéria kategorie A byly řešitelským týmem lépe hodnoceny ve prospěch varianty  $V(A)$  v porovnání s výsledkem hodnocení politické reprezentace města Brna, jak vyplývá z porovnání **obr.11** a **obr. 11-modifikovaný**.
- ❑ Relativní důležitost nebo-li váhy kritérií  $w_j$  byly určeny metodou dvouúrovňové alokace zadaného počtu bodů, tj. kombinací alokace jednak pro základní 4 hlediska (kategorie), jednak individuálně pro různý počet parametrů v rámci každého hlediska. Tím byla zajištěna možnost hodnocení významnosti vzájemně porovnatelných kritérií.
- ❑ Zároveň byla uplatněna týmová expertní anketa a brainstorming společného týmu zadavatele a řešitele, viz **tab. 5a, 5b**. Referenční hodnoty jsou definovány jako aritmetické průměry znalecké výpovědi 8 expertů.
- ❑ Normované váhy byly vypočítány podle **rovnice (22)** a **rovnice (25)**.
- ❑ První krok řešení byl uskutečněn pro čtyři hlediska (kategorie) kritérií, tj. pro (A) podmínky pro železniční provoz, (B) kvalitu systému veřejné dopravy, (C) možnosti urbanizace, (D) finanční udržitelnost, viz výsledná hierarchizace hledisek (kritérií) pro normalizované váhy na **obr. 6a**. Největší váha 34,4 % byla přisouzena kategorii (A), vyjadřující podmínky pro železniční provoz; naopak nejmenší váha 19,6 % byla přisouzena kategorii (C) zahrnující možnosti urbanizace jižní části města a celoměstské souvislosti.
- ❑ Celkový přehled stanovených normalizovaných hodnot relativní důležitosti kritérií  $w_j^{(N)}$  je uveden v **tab. 5c** a na **obr. 6b**. Největší váha je přisouzena parametrům  $P_{A3}$  (propustnost uzlu v cílovém stavu i v jednotlivých etapách výstavby), dále  $P_{A2}$  (splnění technických požadavků regionální i dálkové osobní dopravy) a  $P_{A1}$  (naplnění technických i provozních požadavků na modernizaci průjezdu ŽU Brno ve vztahu k evropským železničním koridorům); naopak nejmenší význam – „pořadí 30.“ - a váha je v rámci posuzovaného souboru přisouzena parametru  $P_{C7}$  (možnosti navazující infrastruktury pro cyklodopravu).
- ❑ Nejvyšší prioritu z kategorie D – „pořadí 4.“ - obdržel parametr  $P_{D1}$  (očekávané náklady).

- ❑ Nejvyšší prioritu z kategorie B – „pořadí 7.“ - obdržel parametr  $P_{B2}$  (kvalita navrženého řešení z hlediska celkových cestovních dob).
- ❑ Nejvyšší prioritu z kategorie C – „pořadí 13.“ - obdržel parametr  $P_{C5}$  (rozsah demolic a závažnost zásahů).
- ❑ Docílení objektivizovaného výsledku bez rušivého vnějšího (cíleného) vlivu dokládá test rozdělení priorit kritérií, viz **obr. 7a, 7b**. Z rovnoměrného rozdělení relativní důležitosti lze učinit závěr, že priority kritérií nevykazují žádné preferenční anomálie nebo deformace.
- ❑ Výsledek skórování kritérií vykazuje přijatelný kritický poměr maxima ku minimu hodnot relativní důležitosti parametrů  $\Psi_{KRIT}$ , tj.

$$(MAX) w_{A3} : (MIN) w_{C7} = 0,07612 : 0,01065 = 7,15 .$$

- ❑ Ukazatel  $\Psi_{KRIT}$  je v souladu s výsledky dřívějších celostátních anket a šetření s vysokou vypořádací schopností, uskutečněných řešitelem úkolu.
- ❑ Hierarchizace hledisek kritérií podle politické reprezentace města Brna je shodné se základním hodnocením řešitelského týmu, největší váha je přisouzena kategorii A (podmínky pro železniční provoz), nejmenší kategorii C (možnosti urbanizace jižní části města a celoměstské souvislosti).
- ❑ Ve všech případech hodnocení politické reprezentace města Brna prokazuje preferenci varianty V(B) před V(A), tj.  $V_B \Rightarrow V_A$  .  
Nejmenší rozdíl uvádí hodnocení týmu E5, kde hodnota míry užítku varianty V(A) dosahuje 78,4 % hodnoty V(B), následuje hodnocení týmu E2 ve výši 72,4 %. Naopak největší rozdíl v hodnocení variant naznačuje hodnocení týmu E4 ve výši 60,3 %. Celkové hodnocení varianty V(A) jako průměru  $E^*$  za všechna obdržená hodnocení dosahuje 68,1 % hodnoty superiorní varianty V(B). Jinými slovy preference  $V_B \Rightarrow V_A$  činí podle politické reprezentace města Brna asi 32 %.
- ❑ Z provedené analýzy vyplývá, že chování posuzovaného systému je konzervativní a stabilní. Tato skutečnost byla ověřena testem citlivosti. Pro posuzovaný soubor dvou variant a třiceti kritérií lze variantu  $V_B$  pokládat za superiorní.
- ❑ Dokončení rozhodovacího procesu musí být korigováno širšími celospolečenskými a politickými souvislostmi, které nejsou (nemohou být) obsahem formalizované analýzy.



## LITERATURA

- [1] ŘÍHA, J. (1987): *Multikriteriální posuzování investičních záměrů*. SNTL Praha, 336 stran.
- [2] ŘÍHA, J. (1995a): *Hodnocení vlivu investic na životní prostředí. Vícekriteriální analýza a EIA*. Nakladatelství ACADEMIA Praha, 348 stran.
- [3] ŘÍHA, J. (1995b): *Objektivizace vah kritérií v procesu EIA*. In: *Stavební obzor*, 1995, č. 1, s. 22-26.
- [4] ŘÍHA, J. (2000): *Varianty a multikriteriální analýza – cesta k úspěchu ?* In: *EIA posuzování vlivů na životní prostředí*, duben 2000, č. 2, roč. V, s. 9-13. Web: <http://www.ceu.cz/eia/CASOPIS/2000/2/e-0203.htm>
- [5] ŘÍHA, J. (2001): *Posuzování vlivů na životní prostředí. Metody pro předběžnou rozhodovací analýzu*. Vydavatelství ČVUT Praha, 477 stran.
- [6] ŘÍHA, J., a kol. (2001): *Final Comparison of the Assessed Areas of Environmental Impact of the Temelin Nuclear Power Plant*. Commission for the Temelin Nuclear Power Plant Environmental Impacts Assessment. 31.05.2001, s.236-245. Web: <http://kostelec.czu.cz/comtem/eia/ezprava3.pdf>
- [7] ŘÍHA, J. (2002): *Atomkraftwerk AKW Temelín. Beurteilung der Szenarien für die Nullvariante. Eine Multikriterielle Analyse*. 08/2002. Web: [http://www.anti.atom.at/download/studien/2002\\_10\\_11\\_Multikriterialni%20analyza%20JETE\\_D.pdf](http://www.anti.atom.at/download/studien/2002_10_11_Multikriterialni%20analyza%20JETE_D.pdf)  
*Zusammenfassung*. 08/2002. Web: <http://www.temelin.com/pdf/Konferenz%20Krumau/D/07%20Riha%20Kurzfassung%20D.pdf>
- [8] ŘÍHA, J., a kol. (2003): *Posouzení scénářů aktualizace státní energetické koncepce. Multikriteriální rozhodovací analýza*. 23. 10. 2003. Web: [www.env.cz/AIS/web-pub.nsf/\\$pid/MZPLSF4246UY/\\$FILE/Analyza.doc](http://www.env.cz/AIS/web-pub.nsf/$pid/MZPLSF4246UY/$FILE/Analyza.doc)
- [9] ŘÍHA, J., a kol. (2006): *Posouzení Regionálního operačního programu pro NUTS 2 Střední Čechy (na období 2007-2013). Multikriteriální analýza*. 27. 06. 2006. In: *ROP-Regionální rada regionu soudržnosti Střední Čechy-Programové dokumenty*. Web: <http://www.nuts2strednicechy.eu/index.asp?thema=8133&category=>  
Cesta: Dokumenty ► SEA-vyhodnocení (zip) ► Příloha\_1\_Multikriteriální analýza (pdf).



### Kontakt:

prof. Ing. Josef Říha, DrSc.  
emeritní profesor ČVUT v Praze  
19014 PRAHA 9 – KLÁNOVICE, SMIŘICKÁ 339  
Tel., zázn., fax: 281960045  
Mobil: 721780992  
e-mail: riha.joe@volny.cz