

## **Manuál optimalizační části aplikace: Optimalizace krajinné struktury z hlediska hydrologických režimů.**

Metodika posuzovacího procesu pro stanovení nejvhodnější varianty soustavy krajinných prvků. Zpracováno ve formě manuálu autorizovaného software: OKS (optimalizace krajinné struktury) a podpůrných databází, dokončené v roce 2010 a přístupné na adresách

<http://www.hydromeliorace.cz/sw/oks/> resp. s přímým přihlášením  
<http://www.hydromeliorace.cz/registrace/login.php?sw=9>

Autorizovaný SW zpracovali:

- koncepce: Kulhavý Z., Štibinger J, Tlapáková L.
- programování kódu: Hurda J.
- WEB design: Kulhavá I.

### **Abstrakt:**

Uživatelský výstup projektu je k dispozici ve formě autorizovaného software (SW) na Internetu. Nepřihlášenému uživateli je umožněno získat základní přehled o uplatnění produktu. Pro plnohodnotné bezplatné a časově neomezené využívání je podmínkou registrace uživatele a souhlas s licenčními podmínkami.

SW reprezentuje soubor nástrojů, uspořádaných do algoritmu logických operací, které vedou k objektivizaci posouzení stávajícího stavu krajiny a k posouzení variant nápravných opatření. Řešení je založeno na vytvořené databázi termínů s několika informačními úrovněmi jejich výkladu (slovním, grafickém), včetně odkazů na další doporučené výpočtové nástroje. Vlastnímu posuzovacímu procesu předchází výběr kritérií podle jejich uspořádání do hierarchie, např. dle významu. V závěru posuzovacího procesu jsou uplatněny nástroje multikriteriální analýzy pro hodnocení účinku opatření. Předmět řešení byl zaměřen na vodní režimy krajiny, nevylučuje však ani další obory využití.

Syntetický výstup vznikl v rámci řešení projektu 2B06022 Optimalizace krajinné struktury z hlediska hydrologických režimů, řešeného a financovaného v rámci Národního programu výzkumu II, administrovaného MŠMT.

### **Pravidla využívání SW:**

Nástroj je k dispozici ve formě autorizovaného software na Internetu, kdy jsou v rámci pravidel RIV (Rejstřík informací o výsledcích, verze 2009) dány podmínky jeho bezplatného, časově neomezeného využití prakticky pouze s potřebou provést registraci uživatelem a vyjádřit souhlas s licenčními podmínkami. Program je dostupný na adrese <http://www.hydromeliorace.cz> ve složce Programy (registrované využívání výsledků VaV) nebo pro rychlý a přímý přístup ke kalkulátoru slouží adresy uvedené výše.

*Poznámka: SW nebude z hlediska předpokladu průběžného provádění jeho aktualizací distribuován jiným způsobem (např. na CD).*

Autorská práva k databázi a k software včetně manuálu a metodiky práce

© VÚMOP, v.v.i. ČZU v Praze

© Kulhavý Z.

© Štibinger J.

© Tlapáková L.

© Hurda J., Kulhavá I.

|                                                              | strana |
|--------------------------------------------------------------|--------|
| <b>1. Předmět a cíle OKS</b>                                 | 3      |
| <b>2. Teorie uplatnění multikriteriální analýzy</b>          | 4      |
| 2.1 Základní pojmy úloh vícekriteriálního rozhodování        | 5      |
| 2.2 Obecný postup multikriteriálního hodnocení variant       | 6      |
| 2.2.1 Vytvoření soustavy kritérií hodnocení                  | 7      |
| 2.2.2 Stanovení vah kritérií                                 | 7      |
| 2.2.3 Stanovení vzorových hodnot kritérií                    | 8      |
| 2.2.4 Hodnocení dosažených výsledků variant                  | 8      |
| 2.2.4.1 Způsob hodnocení variant                             | 8      |
| 2.2.4.2 Dílčí hodnocení variant                              | 9      |
| 2.2.4.3 Syntéza dílčích hodnocení variant                    | 10     |
| 2.2.5 Posouzení rizik                                        | 11     |
| 2.2.6 Výběr nejvhodnější varianty                            | 12     |
| 2.2.7 Vzájemná závislost a podmíněnost kritérií              | 12     |
| 2.2.8 Expertní hodnocení                                     | 12     |
| 2.3 Multikriteriální vyhodnocovací metody                    | 13     |
| 2.3.1 Metoda váženého součtu – WSA                           | 13     |
| 2.3.2 Metoda ideálních bodů – IPA                            | 15     |
| 2.4. Modelování preferencí mezi kritérii                     | 15     |
| 2.4.1 Ordinální informace                                    | 15     |
| 2.4.2 Váhy                                                   | 15     |
| 2.4.3 Praktické způsoby získávání vah kritérií               | 16     |
| 2.4.3.1 Porovnání metodiky postupů při volbě vah kritérií    | 16     |
| 2.4.4 Matematické metody určování vah kritérií               | 17     |
| 2.4.4.1 Metoda pořadí                                        | 17     |
| 2.4.4.2 Bodovací metoda                                      | 17     |
| 2.4.4.3 Metoda párového srovnání kritérií - Fullerova metoda | 18     |
| <b>3. Příklady aplikace MKA v rámci OKS</b>                  | 19     |
| <b>4. Závěr</b>                                              | 23     |
| <b>5. Seznam v textu použitých zkratk</b>                    | 24     |
| <b>6. Použitá literatura</b>                                 | 24     |

## 1. Předmět a cíle OKS

Cílem posuzovacího procesu je doporučit a vybrat z různých navrhovaných možností, z různých variant či soustav (souborů) krajinných prvků takový typ (variantu) soustavy krajinných prvků (dále jen SKP) jejíž působení a vliv v určitém typu krajiny:

- zemědělské
- lesnické
- urbanizované

je optimální (nejlepší, nejvýhodnější) v hydrologickém slova smyslu, tj. z pohledu hydrologické bezpečnosti. Zároveň ale bude splňovat nároky také ostatních hledisek (tj. kritérií), jedná se o hlediska:

- vodohospodářská
- ekologická
- sociální
- ekonomická
- zdravotní
- popř. další kritéria, která jsou charakteristická pro daný typ krajiny.

Pro řešení této problematiky se nabízí celá řada modifikovaných formalizovaných pracovních postupů založených na vícekritériálním (multikritériálním) posuzování vlivu úprav, staveb (investic), v tomto případě návrhu a realizace SKP z různých hledisek tj. podle souboru kritérií hydrologických, ekologických, sociálních, ekonomických, vodohospodářských a dalších.

Jednotlivé metody se vzájemně liší, jejich jednoznačná klasifikace je vzhledem k vývoji v této oblasti obtížná, následující kategorizaci metod je třeba pokládat pouze za orientační (Nijkamp P. 1980, Beanlands G. E., Duinker P. N. 1983):

- modely ekologické efektivity
- mlhavé („fuzzy“) modely multikritériální analýzy
- modely kvantitativní
- modely kvalitativní
- modely simulační a dynamické

Výstup projektu je zaměřen na stanovení optimální varianty (nejlepšího typu) SKP. Výsledkem hodnocení bude (mimo jiné) určení konkrétní (celkové, komplexní) číselné hodnoty komplexního indikátoru navrhované varianty SKP z pohledu hydrologické bezpečnosti. Není však vyloučeno postupovat podle dalších kritérií, formulovaných z hlediska ekologického, sociálního, ekonomického, vodohospodářského, zdravotního popř. s ohledem na další (jiná) hlediska.

## 2. Teorie uplatnění multikriteriální analýzy v OKS

Vedle seznamu kritérií nepřímo formulujících cíl rozhodovací analýzy je nutné mít k dispozici i seznam (množinu) variant, z nichž rozhodnutí vybíráme. Případy, kdy je k dispozici jednoznačně definovaný seznam potenciálních variant jsou spíše výjimkou než pravidlem. Tento seznam může být zadán explicitně, jako výčet konečného počtu možností, nebo implicitně specifikací podmínek, které musí rozhodovací varianta splňovat, aby mohla být považována za přípustnou. Ani v této etapě rozhodovacího postupu se zpravidla nelze vyhnout subjektivním vlivům případně i zjišťování mínění expertů či zadavatele úlohy. Z množiny variant lze uplatněním multikriteriální analýzy (MKA) zpravidla vybrat jedinou optimální variantu, nejlépe vyhovující zadaným kritériím. Speciálním případem takto formulované úlohy je požadavek, abychom seřadili rozhodovací varianty podle pořadí v souladu s tím, jak se přibližují k představě varianty optimální.

Rozhodování v úlohách vícekriteriální optimalizace spočívá v transformaci informací, které máme k dispozici o rozhodovacích variantách a o cílech sledovaných uživatelem. Jiným důležitým hlediskem pro klasifikaci úloh jsou tedy informace, které jsou součástí zadání úlohy, nebo které lze získat v průběhu jejího řešení. Podle tohoto informačního hlediska rozdělíme úlohy vícekriteriálního rozhodování do čtyř kategorií:

1. *Úlohy s informací umožňující skalarizaci optimalizačního kritéria (s kardinální informací o kritériích).* Mohlo by se zdát, že úlohy z této kategorie do vícekriteriálního rozhodování nepatří, neboť jde vlastně o úlohu jednokriteriální. Pro zařazení je však důležité, že úloha je původně formulována jako vícekriteriální a navíc je zde informace umožňující shrnutí více kritérií do jednoho kritéria skalárního. Teorie vícekriteriálního rozhodování je zde nutná k tomu, aby uvedená redukce na skalár byla provedena kvalifikovaně tak, aby nedošlo ke ztrátě nebo ke zkreslení původních informací.
2. *Úlohy bez informace umožňující skalarizaci.* Úlohy této kategorie jsou jádrem teorie i praxe vícekriteriálního rozhodování. Základním pojmem se kterým se zde pracuje je pojem *nedominovaného řešení*.
3. *Úlohy s informací získanou v průběhu řešení.* Někdy je obtížné získat potřebné informace předem, neboť uživatel a ani analytik předem nevědí, co všechno je pro řešení vícekriteriální úlohy relevantní. Proto byly vyvinuty postupy, které umožňují získávat informace od uživatele v průběhu řešení úlohy a to zpravidla prostřednictvím dialogu uživatele s počítačovým programem. Tímto přístupem je inspirován program OKS, aniž by vylučoval použití postupu podle ostatních kategorií.
4. *Parametrická řešení.* Mnozí uživatelé jsou si závislosti výsledného řešení na ne vždy spolehlivé počáteční informaci dobře vědomi. Dávají proto přednost širšímu náhledu do problematiky před více či méně jednoznačným doporučením k akci.

*Poznámka: Skalár - označuje veličinu, která je s ohledem na zvolenou jednotku plně určená jediným číselným údajem (např. délkou, rychlostí, energií apod.). Skalární veličiny tedy mají svou velikost, ale nemají směr. Protikladem skalární veličiny jsou vektory nebo tenzory, které jsou určeny více číselnými hodnotami.*

## 2.1 Základní pojmy úloh vícekritériálního rozhodování

Při uplatnění MKA v OKS má množina rozhodovacích variant, kterou označme  $A$ , konečný počet prvků. Po úvodních úkonech, spočívajících v určení hodnotících kritérií a metody získání kvantitativních údajů o hodnotách těchto kritérií pro jednotlivé rozhodovací varianty, lze MKA charakterizovat tzv. *kritériální maticí*. V této matici sloupce odpovídají kritériím a řádky hodnoceným variantám. Označíme-li prvky kritériální matice  $y_{ij}$ , kde  $i = 1, 2, \dots, p$  a  $j = 1, 2, \dots, k$ , můžeme kritériální matici zapsat ve tvaru:

$$\begin{matrix} & f_1 & f_2 & \dots & f_k \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_p \end{matrix} & \begin{bmatrix} y_{11}, & y_{12}, & \dots, & y_{1k} \\ y_{21}, & y_{22}, & \dots, & y_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{p1}, & y_{p2}, & \dots, & y_{pk} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Pokud není výslovně uvedeno jinak, tak se předpokládá, že všechna kritéria v MKA jsou stanovena jako *maximalizační*. Tím se rozumí, že varianta je tím lepší, čím je hodnota kritéria větší.

Jestliže jsou v původním zadání úlohy některá z kritérií uvedena jako *minimalizační*, nebývá obtížné tato kritéria přetransformovat tak, aby byla *maximalizační*.

**Definice nedominované varianty:** Zjednodušeně lze říci, že nedominovaná varianta je taková, ke které neexistuje lepší v tom smyslu, že by bylo možné některé hodnoty kritérií zlepšit, aniž by se hodnoty jiných kritérií zhoršily. Přesnou definici je nutno vyslovit takto:

Nechť  $a_i \approx (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik})$  a  $a_j \approx (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jk})$  jsou dvě varianty. Pak varianta  $a_i$  dominuje variantu  $a_j$ , jestliže  $a_i \geq a_j$ . Varianta  $a$  se nazývá *nedominovaná*, jestliže v množině rozhodovacích variant  $A$  neexistuje varianta, která ji dominuje. Množina všech nedominovaných variant z množiny  $A$  se označuje  $A_N$ .

Často používaným pojmem v teorii vícekritériálního rozhodování je *optimální varianta*.

Narozdíl od pojmu nedominovaná varianta není tento pojem spojen s žádnou jednoznačnou a univerzálně použitelnou definicí. Pojem optimální varianta se označuje varianta relativně jednoznačně doporučená ke konečnému výběru nebo realizaci.

Je-li v množině  $A$  jediná nedominovaná varianta, je možné ji beze vší pochybnosti označit za optimální variantu. Typickým případem však je, že nedominovaných variant je více. Často se lze v praxi setkat s případy, že  $A_N = A$ . Je-li totiž rozhodovací situace jen trochu přehledná a je-li uživatel seznámen s problematikou, podaří se mu dominované varianty předem vyloučit.

Je-li v množině  $A_N$  více variant a je-li nutné doporučit pouze variantu jedinou, je nutné aplikovat metody, které vyberou z množiny  $A_N$  v jistém smyslu reprezentativní variantu.

Varianta, která je vybrána jako reprezentant množiny  $A_N$  se nazývá *kompromisní* (někdy také nejlepší kompromisní varianta).

Při konstrukci metody výběru kompromisní varianty je užitečné vědět, jaký může v dané rozhodovací situaci nastat potenciálně nejlepší případ. Hypotetickou nebo reálně existující variantu, která dosahuje ve všech kritériích logicky nejlepší možné hodnoty, nazýváme *ideální variantou*.

Mezi případy, kdy je ideální varianta odvozena z úrovní kritérií, které mohou být reálně všechny současně dosaženy, a kdy je odvozena pouze z dat vystupujících v kritériální matici, je jistý rozdíl. V prvním případě se mluví o *absolutní ideální variantě* a ve druhém případě o *relativní ideální variantě*. Pro úplnost je vhodné uvést i případ, kdy část nejlepších hodnot kritérií je odvozena z absolutních stupnic a část pouze z dat uvedených v kritériální matici. Takto zkonstruovaná ideální varianta se nazývá *smíšená*.

Protějškem ideální varianty je varianta (hypotetická nebo skutečná), která má všechny hodnoty kritérií na nejnižším stupni. Takovou variantu můžeme nazvat variantou *bazální*. Obdobně jako v případě ideální varianty lze definovat i bazální variantu absolutní, relativní a smíšenou.

## 2.2 Obecný postup multikritériálního hodnocení variant

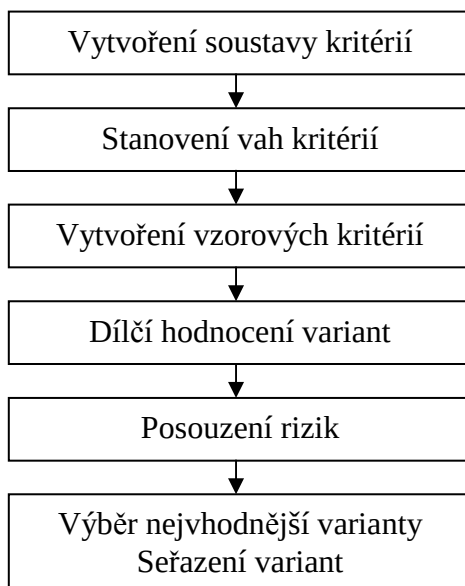
Pro standardizaci, vymezení a výběr metod vícekritériálního hodnocení variant sloužících na podporu rozhodování je nutno znát:

- o čem se má rozhodovat,
- jaké cíle mají být splněny (jakých cílů má být dosaženo a za jakých podmínek),
- z jakých hledisek se má rozhodovat (jaká hlediska má rozhodovací subjekt respektovat),
- k jakému časovému horizontu bude výsledek rozhodování působit.

Příklady řešení pro OKS jsou uvedeny v kapitole 3.

Obecný postup vícekritériálního hodnocení variant zahrnuje na zvolené rozlišovací úrovni šest relativně samostatných kroků:

1. vytvoření účelově orientované množiny kritérií hodnocení,
2. stanovení vah kritérií hodnocení,
3. stanovení vzorových hodnot vah kritérií (etalonů),
4. hodnocení dosažených výsledků variant (důsledků, užiteků, ale i případných škod nebo ztrát); jde o dílčí hodnocení variant a jejich syntézu v celkové vyhodnocení,
5. posouzení rizika spojeného s případnou realizací variant,
6. určení preferenčního pořadí variant a výběr nejlepší varianty.



**Obr.1** Obecný postup vícekritériálního hodnocení variant

Obecný postup vícekritériálního hodnocení variant (viz. obr. 1) jako nedílná součást vícekritériálního rozhodování o variantách předpokládá, že jsou k dispozici alespoň dvě varianty možných řešení z předmětné oblasti.

Není-li splněn tento předpoklad, nejde o multivariantní hodnocení, ale o zvláštní - i když v praxi poměrně často se vyskytující - případ jednovariantního vícekritériálního hodnocení,

jehož cílem není výběr optimální varianty, nýbrž podklad pro vytvoření určitého typu formalizovaného závěru (stanoviska) k předložené variantě. V tomto případě přejímá funkci další varianty tzv. základní (etalonová) varianta, se kterou se posuzovaná varianta srovnává a hodnotí. Její existence je tak pro jednovariantní vícekritériální hodnocení nutnou podmínkou. V následujících kapitolách budou podrobněji rozebrány jednotlivé kroky obecného postupu.

### **2.2.1 Vytvoření soustavy kritérií hodnocení**

Vytváření účelově orientované soustavy kritérií hodnocení je důležitým krokem v celém postupu vícekritériálního hodnocení variant, kterým lze významně ovlivnit celkové výsledné hodnocení.

Racionalita vytváření kritérií hodnocení podstatně závisí na důkladném poznání objektu hodnocení a na systémovém chápání jeho struktury i jeho funkcí. Soubor kritérií musí být úplný, tzn. že musí dobře odrážet podstatné vlastnosti hodnocených objektů (variant). V opačném případě by mohlo dojít k hrubému zkreslení výsledků hodnocení těchto objektů. Výběr a uspořádání kritérií do výsledné soustavy kritérií hodnocení je sám o sobě složitý a mnohdy obtížně proveditelný proces. Dalším důležitým předpokladem pro vytváření účelově orientovaných soustav kritérií je správná klasifikace kritérií. Kritéria hodnocení lze klasifikovat po stránce věcné a po stránce formální.

Po stránce věcné lze zařadit kritéria do určitých skupin podle tzv. hledisek hodnocení jako jsou například kritéria hydrologická, vodohospodářská, ekologická, technická, ekonomická, sociální, estetická apod.

Po stránce formální je třeba rozlišovat u kritérií typ preference a způsob (formu) vyjadřování a měření výsledků hodnocení podle těchto kritérií.

Podle typu preference hodnot kritérií se rozlišují kritéria:

- s rostoucí preferencí (maximalizační, zisková) - u nichž jsou vyšší hodnoty preferovány před nižšími,
- klesající preferencí (minimalizační, ztrátová) - která jsou opakem předchozích,
- se střídavou preferencí - u nichž se preference po dosažení určité hodnoty změní.

Podle způsobu vyjadřování a měření výsledků hodnocení se rozlišují kritéria:

- kvantitativní, jejichž hodnoty lze vyjádřit číselně počtem měrných jednotek, viz také užité označení AJ (absolutní jednotky hodnocení kritéria)
- kvalitativní, jejichž hodnoty lze vyjádřit pouze verbálně, tj. ve stupních kvality a popisem jejich intenzity, viz také užité označení RJ (relativní jednotky hodnocení kritéria)

### **2.2.2 Stanovení vah kritérií**

Tento krok obecného postupu multikritériálního hodnocení variant úzce souvisí s úplností soustavy kritérií odrážející podstatné vlastnosti varianty. Avšak i při relativní úplnosti soustavy kritérií je třeba uvažovat při vlastním hodnocení s nestejnou závažností (důležitostí) jednotlivých kritérií, a tudíž i s nestejným významem pro daný účel. Váhy kritérií lze stanovit buď před provedením dílčího hodnocení variant, nebo následně po něm, pro korekci získaných výsledků.

Při užití diferencovaných vah kritérií jsou pak výsledky hodnocení závislé na volbě těchto vah, pro které platí: dostane-li u malého počtu kritérií určité kritérium oproti ostatním kritériím vysokou váhu, pak výsledky hodnocení prokazují tendenci řadit hodnocené varianty podle tohoto kritéria. Při velkém počtu kritérií dochází opět k velkému rozměňování vah a ačkoliv se váhy jednotlivých kritérií od sebe příliš neodlišují, přesto diferencovat umožňují.

Pro stanovení vah kritérií existuje celá řada různých metod; nejjednodušší z nich jsou metody přímé při kterých se zcela subjektivně určují nenormované váhy jednotlivých kritérií v apriorně dohodnuté bodové stupnici. K těmto metodám patří například metoda bodová, Metfesselova alokace, metoda klasifikace kritérií do tříd a další. Do druhé skupiny patří metody nepřímé, z nichž nejčastěji se používá metoda párového srovnání, kde lze zařadit například metodu Fullera trojúhelníka nebo složitější Saatyho metodu.

### **2.2.3 Stanovení vzorových hodnot kritérií**

Stanovování souboru vzorových hodnot kritérií se zpravidla spojuje s pojmem "etalon".

Etalon může být chápán dvěma odlišnými způsoby:

- v prvním případě má etalon charakter detailně vypracovaného objektu - vzoru (ve smyslu úplného popisu všech vlastností objektu), s nímž jsou další hodnocené varianty srovnávány, s cílem získat kopii (repliku) tohoto objektu,
- ve druhém případě má etalon opět charakter objektu - vzoru řešení, avšak jeho vlastnosti jsou záměrně redukovány na podstatné vlastnosti řešeného objektu a ty jsou při hodnocení předmětem porovnávání; (hodnocené varianty jsou ovšem ve své výpovědi o vlastnostech řešeného objektu obsažnější). Takto se etalonová varianta většinou pojímá při aplikaci metod vícekritériálního hodnocení variant. Úskalí je v tom, že se názory na podstatnost a nepodstatnost vlastností objektu mohou odlišovat. To vede v praxi k extrémním případům nepřiměřeného redukování sledovaných vlastností (a tím případně i k jednostrannému zaměření jen na vlastnosti určitého druhu) nebo naopak k případům rozsáhlých, nepřehledných, "přeuročených", a skutečnou tvorbu syntetických užitečných hodnot nezabezpečujících etalonů.

V zásadě je žádoucí, aby se rozhodování odehrávalo v reálném čase; to mluví pro rozumnou míru apriorizace druhů kritérií resp. i vzorových hodnot kritérií, formalizaci postupů hodnocení atd. Na druhé straně však nelze přehlédnout určitá rizika, která toto pojetí přináší. Vážným rizikem je riziko neprogresivnosti tohoto pojetí. Apriorní určování vzorových hodnot kritérií (zejména bez omezení časového horizontu jejich platnosti, případně bez přípustnosti jejich upřesňování) může být zásadní brzdou zejména podstatných inovací, neobvyklých řešení, námětů na výhodné spojení požadované funkce řešeného objektu (varianty) s funkcemi, o nichž se v zadání předpokládá, že je bude plnit jiný samostatný objekt. Dalším rizikem je možnost "přeuročení" kritériálního soustavy. Tendencí jednotlivých vědních disciplín totiž je, mít své normativy (o něž se tvůrci kritériálních soustav zpravidla - a v podstatě oprávněně - opírají) na "vysoké úrovni". Jelikož jsou tyto normativy převážně vytvářeny nezávisle na sobě, může v případech, kdy se chybně požaduje současné splnění všech těchto normativů, vzniknout situace "přeuročenosti".

Tyto normativy mohou sloužit při aplikacích vícekritériálního hodnocení variant pouze jako vícerozměrná základna pro vícerozměrné měření a srovnávání posuzovaných variant.

### **2.2.4 Hodnocení dosažených výsledků variant**

#### **2.2.4.1 Způsob hodnocení variant**

Posuzovaná varianta splňuje vždy určitým způsobem a v určité míře předem požadované cíle. Jak dalece se podařilo tyto cíle posuzovanou variantou splnit, čili jaký stupeň splnění požadovaných cílů posuzovaná varianta podle jednotlivých kritérií vykazuje, je předmětem hodnocení dosažených výsledků variant, neboli hodnocení důsledků variant.



Existuje více možných způsobů a metod hodnocení dosažených výsledků variant, jejichž užití závisí na zdrojích, druhu, úplnosti a míře podrobnosti dostupných informací, jež jsou různé na jednotlivých úrovních řízení a pro různé účely hodnocení. V praxi se nejčastěji vyskytují případy, kdy je třeba rozhodnout o variantách zásadního významu co nejdříve a co nejlépe, přičemž dostupnost, množství i kvalita disponibilních informací pro rozhodování zpravidla neodpovídá jejich reálné potřebě.

V těchto případech nezbyvá než se opřít o způsoby hodnocení, jež nabízejí metody založené na kvalitativních expertních odhadech, jako jsou např. přímá metoda bodovací nebo nepřímé metody párového srovnávání variant. V nejjednodušším případě se vytváří pouze přímé pořadí variant.

Velkou pozornost je přitom třeba věnovat především výběru vhodných expertů-odborníků, dále zpracování logicky i obsahově správného scénáře pro postup hodnocení, vlastnímu provedení expertního hodnocení a jeho následnému zpracování včetně posouzení objektivizace expertních výpovědí.

V případě, kdy jsou k dispozici potřebné informace v podrobnější struktuře, nebo je lze v přijatelné době vytvořit či jinak získat, může rozhodovatel užít náročnějších metod pro hodnocení dosažených výsledků variant, jako jsou např. metoda bazické varianty, která předpokládá existenci už zmíněné základní (vzorové) varianty, nebo metoda vícerozměrného užitku, založená na konstrukci tzv. dílčích funkcí užitku.

Vlastní postup při hodnocení výsledků variant zahrnuje dva kroky:

1. dílčí (jednokriteriální) hodnocení variant
2. syntézu dílčích (jednokriteriálních) hodnocení variant v jejich celkové (vícekriteriální) vyhodnocení.

#### **2.2.4.2 Dílčí hodnocení variant**

K celkovému vícekriteriálnímu hodnocení variant je zapotřebí kromě stanovení vah kritérií rozhodování i dílčí (jednokriteriální) hodnocení variant z hlediska každého kritéria. S tím však je spojeno několik problémů. Vzhledem k tomu, že většina praktických rozhodovacích úloh používá smíšených kriteriálních soustav, v nichž část kritérií je kvantitativních a část kvalitativních, a dále, že kritéria rozhodování jsou zpravidla vyjádřena v různých vyjadřovacích jednotkách, a to vzájemně nesrovnatelných, je nutno hodnoty, kterých nabývají jednotlivá kritéria pro různé varianty nejdříve transformovat tak, aby byly všechny vyjádřeny v téže jednotce (zpravidla bezrozměrné).

Transformace výsledků variant podle jednotlivých kritérií lze realizovat různými způsoby jež jsou adekvátní užitým metodám hodnocení, z nichž jsou opět nejužívanější:

- metoda dílčích funkcí užitku,
- metoda bodovací,
- nepřímé metody párového srovnávání variant rozhodování (Fullerova metoda, Saatyho metoda),
- metoda bazické varianty.

Pro realizaci transformace výsledků variant v jejich bodové ohodnocení se užívá termín "transformační funkce". Nejlepší, ale také na informační zabezpečení nejnáročnější, se jeví způsob transformace pomocí speciálně vytvářených funkcí na základě aplikace metody dílčích funkcí užitku; v souvislosti s tím je třeba připomenout, že v metodě bodovací a v nepřímých metodách párového srovnávání variant není transformační funkce dána explicitně vzorcem, zatímco v metodě dílčích funkcí užitku a v metodě bazické varianty se konstruuje

buď vzorec nebo graf transformační funkce, která pak vyjadřuje závislost dílčího hodnocení variant na hodnotách odpovídajícího kritéria.

Při volbě metody hodnocení je nutno rozlišovat

- zda jde o kritéria kvantitativní nebo kvalitativní,
- zda jde o kritéria s rostoucí, klesající nebo střídavou preferencí, speciálně o kritéria s unimodální preferencí (kde vyšší hodnota kritéria je lepší než jeho nižší hodnota až po dosažení určité hodnoty kritéria, po jejímž překročení je obráceně nižší hodnota kritéria lepší než jeho vyšší hodnota),
- zda jde o kritéria, u nichž lze stanovit žádoucí (maximální ideální, vzorovou) a minimální (ještě přijatelnou) hodnotu (obor hodnot kritérií) nebo alespoň jednu z nich.

Na základě této analýzy hodnotící subjekt rozhodne, zda pro ohodnocení dosažených výsledků posuzovaných variant podle dílčích kritérií použije hodnot pouze kladných, nebo jen záporných, anebo kladných i záporných, vyjadřujících určitou kvalitu dosažených výsledků posuzované varianty. Dále rozhodne o způsobu, jak zhodnotí výsledky posuzované varianty podle kritérií s rostoucí preferencí (a analogicky podle kritérií s klesající preferencí). Obvykle platí zásada: čím lepší výsledky, tím vyšší ohodnocení.

V daném souboru kritérií rozhodování se mohou vyskytovat taková kritéria kvantitativní povahy, která mohou mít za určitých podmínek vetující funkci - tzv. vetokritéria, to znamená, že mohou vetovat ostatní dílčí hodnocení variant, byť jakkoli příznivá. Vetokritérium plní svou funkci rozdílným způsobem v závislosti na tom, jde-li o vetokritérium s rostoucí preferencí, klesající preferencí nebo střídavou - speciálně unimodální preferencí. Jestliže u hodnocené varianty hodnota vetokritéria

- s rostoucí preferencí nedosáhne stanovenou kritickou mez,
- s klesající preferencí překročí stanovenou kritickou mez,
- s unimodální preferencí neleží v intervalu mezi dvěma stanovenými kritickými mezemi,

pak je hodnocená varianta z hlediska tohoto kritéria zásadně nevyhovující a musí být proto vyloučena ze souboru hodnocených variant, bez ohledu na výsledky hodnocení podle ostatních kritérií.

Proto lze dále předpokládat, že buď soubor kritérií hodnocení neobsahuje žádné vetohodnoty, nebo všechny vetované varianty byly ze souboru variant předem eliminovány a do dalšího kola hodnocení postoupily pouze ty, které při hodnocení vyhověly.

#### **2.2.4.3 Syntéza dílčích hodnocení variant**

Stanovení preferenčního pořadí variant rozhodování spolu s výběrem optimální varianty je založeno na syntéze (shrnutí, agregaci) dílčích, jednokriteriálních hodnocení variant z hlediska jednotlivých kritérií v celkové (syntetické, souhrnné, komplexní) vícekritériální vyhodnocení variant z hlediska všech kritérií. Zavedením diferencovaných vah kritérií do dílčích hodnocení výsledků posuzované varianty podle jednotlivých kritérií se provede vážení těchto hodnocení vzhledem k nestejně závažnosti kritérií. V zásadě existují dva způsoby provedení syntézy: aditivní a multiplikativní.

Při aditivní syntéze, která je užívanější, se celkové hodnocení posuzované varianty rozhodování stanoví pomocí vah kritérií a dílčích hodnocení variant jako vážený součet dílčích hodnocení variant podle jednotlivých kritérií. Sestupné uspořádání variant rozhodování podle klesajících hodnot jejich celkového hodnocení umožňuje preferenční uspořádání variant od nejlepší - optimální - k nejhorší.

Podmínkou aditivní syntézy dílčích hodnocení variant v jejich celkové vyhodnocení je tzv. preferenční nezávislost kritérií. Soustava kritérií hodnocení je preferenčně nezávislá, jestliže preferenční pořadí variant při měnících se hodnotách kritérií z libovolné podmnožiny

soustavy kritérií a pevných hodnotách ostatních kritérií nezávisí na pevně zvolených hodnotách ostatních kritérií.

Vzhledem k tomu, že rozhodovací proces má interaktivní zpětnovazební charakter, projevující se existencí cyklů, v nichž může dojít jednak

- k přehodnocení významnosti (vah) některých kritérií a v důsledku toho i ke změně hodnot jejich vah,
- k modifikaci variant a případně i k rozšíření počtu hodnocených variant,

lze při použití aditivního způsobu syntézy snadno respektovat změnu hodnot vah kritérií při nezměněných hodnotách dílčích hodnocení variant a provést tak analýzu citlivosti, tj. zkoumání vlivu změn hodnot vah kritérií na preferenční pořadí variant.

Může také nastat případ, že některá varianta řešení je při syntéze nepříznivě hodnocena z toho důvodu, že při dobrých až vynikajících dílčích hodnoceních podle většiny kritérií vykazuje výrazně špatná dílčí hodnocení podle několika málo kritérií, majících však vysokou váhu. Pak přichází v úvahu možnost modifikace této varianty resp. tvorba nové varianty, která by si pokud možno zachovala všechna příznivá hodnocení a současně podstatně zlepšila ona nepříznivá dílčí hodnocení.

Obdobně může být snadno přezkoumáno i rozpětí oboru žádoucích hodnot těchto kritérií, při nichž - jinak příznivě hodnocené varianty - podkročily nebo překročily příslušné meze přípustných hodnot (pokud se samozřejmě nejedná o kritické meze kritérií s vetofunkcí).

Detekci obou výše uvedených případů umožňuje právě dobrá "průhlednost" aditivní syntézy. Další výhoda aditivního způsobu syntézy spočívá v možnosti ověření hodnot vah kritérií resp. v jejich korekci na základě mezní (marginální) míry substituce dílčích hodnocení.

Předpokladem pro využití této možnosti je schopnost hodnotitele posoudit pro některou variantu vzájemnou kompenzaci jejich dvou dílčích hodnocení následujícím způsobem: má-li se hodnocení dané varianty podle jednoho kritéria zvýšit o určitou část, musí se současně snížit hodnocení této varianty podle jiného kritéria o určitou část, má-li zůstat celkové hodnocení dané varianty nezměněné. Při této kompenzaci platí, že poměr vah obou kritérií je roven obrácenému podílu změn dílčích hodnocení podle těchto kritérií.

Nevýhodou aditivního způsobu syntézy je fakt, že neumožňuje zobrazit synergický efekt vznikající ze současného souhrnného působení několika kritérií. Příznivé (nepříznivé) dílčí hodnocení podle dvou nebo více kritérií znamená ve skutečnosti více (méně) než pouhý vážený součet jejich dílčích hodnocení.

### 2.2.5 Posouzení rizik

Rizik spojených s případnou implementací variant je celá řada. Je třeba zdůraznit, že kterékoliv z nich může nabýt při konkrétním hodnocení značného významu a ovlivnit výsledek hodnocení. Týkají se zejména:

- správnosti formulace konkrétního problému,
- relativní úplnosti a výstižnosti vyjádření podstatných vlastností objektu, který je předmětem hodnocení (vlastností, odvozených z příslušných potřeb, a charakterizujících tedy cíle spojované s pořízením, užíváním, existencí atd. objektu),
- způsobu (metod) tvorby resp. identifikace variant řešení,
- způsobu (metod) vícekritériálního hodnocení variant, který zahrnuje soubor rizik spojených např. se způsobem vytvoření soustavy kritérií, se způsobem stanovení vah kritérií, se způsobem stanovení vzorových hodnot kritérií, se způsobem hodnocení výsledků variant a se způsobem výběru (doporučení) nejvhodnější varianty,
- náhodných okolností, které by mohly nastat a případně ohrozit realizaci vybrané varianty včetně jejich negativních dopadů.

V případech hodnocení variant týmem expertů patří do okruhu těchto rizik ještě riziko vyplývající z kvality provedení expertního posouzení. To závisí na znalostech a zkušenostech (kompetenci) expertů a správnosti jejich odhadů. Přitom je třeba odlišovat, zda expertní odhad provádí jeden expert nebo skupina expertů.

### **2.2.6 Výběr nejvhodnější varianty**

Varianta, která je nejvhodnější pro řešení daného rozhodovacího problému, vyplývá z předchozích pěti kroků vícekritériálního hodnocení variant. Nicméně se vlastní akt doporučení nejvhodnější varianty k rozhodnutí o její implementaci zpravidla považuje za relativně samostatný postupový krok.

Pokud zvolená varianta nekoresponduje s výběrem podle formalizovaného postupu vícekritériálního hodnocení, došlo v posledním kroku k určitému zásahu, který je sice z hlediska subjektu rozhodování oprávněný, nicméně představuje určité porušení pravidel postupu.

Úvahy, vedené případně v rámci posledního kroku (ať jednotlivcem či skupinou expertů, totožnými či odlišnými od jednotlivce nebo týmu, který prováděl hodnocení), nepředstavují totiž nic jiného než dílčí nebo celkovou revizi některého z předchozích kroků (např. přidání dalšího kritéria, posílení váhy některého kritéria apod.).

Na šestý krok obecného postupu vícekritériálního hodnocení variant by tedy mělo být nahlíženo jako na krok, umožňující případné iterace, a nikoliv jako na "právo" rozhodovatele vyslovit "konečný soud" v předmětném rozhodovacím procesu.

### **2.2.7 Vzájemná závislost a podmíněnost kritérií**

U většího souboru kritérií se jen málokdy podaří zabránit tomu, aby neobsahoval i kritéria vzájemně závislá, podmíněná. K řešení těchto případů se v teorii a praxi vícekritériálního hodnocení variant využívá příslušný matematický aparát, který rozlišuje dva základní druhy závislostí mezi veličinami: závislost pevnou (funkční) a závislost volnou (statistickou). Funkční závislost se v aplikaci na vzájemnou závislost kritérií v určitém souboru interpretuje tak, že hodnotě jednoho kritéria nebo hodnotám několika kritérií odpovídá podle nějakého (matematického) funkčního vztahu jednoznačně hodnota jiného kritéria.

Statistická závislost mezi kritérii může, ale také nemusí, být projevem příčinného vztahu. Proto je nezbytné doplňovat pokaždé formalizovaný přístup, analýzu závislosti kritérií, neformalizovaným přístupem, věcným rozbořením vztahů mezi vlastnostmi vybranými do soustavy kritérií. Teprve na jeho podkladě lze prokazovat, zda existují věcné návody pro závěr, že mezi kritérii existuje příčinný vztah.

Jinou z často se vyskytujících příčin statistické závislosti kritérií je obsahové překrývání dvojic kritérií. Tento jev - pokud nastane - musí být respektován zmenšením vah takové dvojice kritérií. Situace je však složitější v případě, že se překrývá obsah více než dvou kritérií. Pak již nelze apriorně odhadnout, která kritéria by měla svou relativní váhu snížit a která zvýšit.

Výsledkem analýzy vzájemné závislosti kritérií může být buď snížení počtu kritérií nebo korekce vah kritérií.

### **2.2.8 Expertní hodnocení**

Stanoví-li se váhy kritérií hodnocení nebo dílčí hodnocení variant anebo obojí na základě subjektivních výpovědí týmu odborníků, používá se k jejich stanovení uvedených metod, doplněných o postupy, které zahrnujeme pod společný název "objektivizace expertních výpovědí".

## 2.3 Multikriteriální vyhodnocovací metody

Řada metod vícekritériálního hodnocení variant vyžaduje kardinální informaci o relativní důležitosti kritérií, kterou lze vyjádřit pomocí vektoru vah kritérií:

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_k); \quad \sum_{i=1}^k v_i = 1; \quad v_i \geq 0 \quad (2)$$

Tyto metody je možné rozdělit podle výpočetního principu, který metody využívají, například:

- maximalizace užitku,
- minimalizace vzdálenosti od ideální varianty,
- vyhodnocování variant na základě preferenční relace, atd.

Na základě typu úlohy, která vyhovuje hlediskům OKS, lze uvažovat následující metody jako nejvhodnější pro určení optimálního pořadí variant:

- Metoda váženého součtu (WSA - Weighted Sum Approach)
- Metoda ideálních bodů (IPA - Ideal Points Analysis)
- Metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
- Metoda shody a neshody (CDA - Concordance Discordance Analysis)

### 2.3.1 Metoda váženého součtu - WSA

Metoda váženého součtu vychází z principu maximalizace užitku [Fiala P., a kol. 1994], dopouští se však zjednodušení v tom, že předpokládá pouze lineární funkci užitku.

Nejprve vytvoříme normalizovanou kritériální matici  $R = (r_{ij})$ , jejíž prvky získáme z kritériální matice  $Y = (y_{ij})$ , viz. (1), pomocí transformačního vzorce (3)

$$r_{ij} = \frac{Y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad (3)$$

Tato matice již představuje matici hodnot užitku z  $i$ -té varianty podle  $j$ -tého kritéria. Podle vzorce (3) lineárně transformujeme kritériální hodnoty tak, že  $r_{ij} \in (0, 1)$ ,  $D_j$  odpovídá minimální hodnotě kritéria ve sloupci  $j$  a  $H_j$  odpovídá maximální hodnotě kritéria ve sloupci  $j$ . Vztah (3) se používá v případě, že kritérium v daném sloupci  $j$  je považováno za maximalizační. Pro případ minimalizačního kritéria lze provést normalizaci takového sloupce v matici přímo použitím vztahu (4)

$$r_{ij} = \frac{H_j - Y_{ij}}{H_j - D_j} \quad (4)$$

Pokud chceme mít všechna kritéria v kritériální matici jako maximalizační ještě před provedením standardizace (normalizace) matice, přepočteme prvky v takovémto sloupci podle vztahu (5)

$$Y_{ij-max} = H_j - Y_{ij-min}; \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (5)$$

tedy od stávajícího největšího prvku (maxima)  $H_{j-\min}$  v daném sloupci postupně odečteme všechny ostatní prvky a tím převedeme sloupec s minimalizačním kritériem na maximalizační. Tento převod je však v vztahu (4) již zanesen.

Při použití aditivního tvaru vícekritériální funkce užítu je pak užitek varianty  $a_i$  roven

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} \quad (6)$$

Příklad: Předpokládejme situaci, že se uvažuje o výstavbě vodní elektrárny a k dispozici je šest variant  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ , které se hodnotí podle šesti kritérií:

- kritérium  $f_1$  – počet pracovních sil (min)
- kritérium  $f_2$  – výkon v MW (max)
- kritérium  $f_3$  – investiční náklady v mld. Kč (min)
- kritérium  $f_4$  – provozní náklady v mil. Kč (min)
- kritérium  $f_5$  – počet evakuovaných obcí při výstavbě (min)
- kritérium  $f_6$  – stupeň spolehlivosti provozu v bodové stupnici (max).

Výchozí kritériální matice  $Y$ :

$$\begin{matrix} & f_1 & f_2 & f_3 & f_4 & f_5 & f_6 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 80 & 90 & 6 & 5,4 & 8 & 5 \\ 65 & 58 & 2 & 9,7 & 1 & 1 \\ 83 & 60 & 4 & 7,2 & 4 & 7 \\ 40 & 80 & 10 & 7,5 & 7 & 10 \\ 52 & 72 & 6 & 2,0 & 3 & 8 \\ 94 & 96 & 7 & 3,6 & 5 & 6 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (7)$$

Provedeme úpravu kritériální matice na tvar, kdy všechna kritéria budou maximalizační (max) a pro minimalizační kritéria určíme nejhorší hodnoty:  $94-f_1, 10-f_3, 9,7-f_4, 8-f_5$ . Od těchto hodnot odečteme kritériální hodnoty dané varianty a převedeme tak, dle vztahu (5), všechna minimalizační kritéria na maximalizační. Získáme matici ve tvaru:

$$\begin{matrix} & f_1 & f_2 & f_3 & f_4 & f_5 & f_6 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 14 & 90 & 4 & 4,3 & 0 & 5 \\ 29 & 58 & 8 & 0,0 & 7 & 1 \\ 11 & 60 & 6 & 2,5 & 6 & 7 \\ 54 & 80 & 0 & 2,2 & 1 & 10 \\ 42 & 72 & 4 & 7,7 & 5 & 8 \\ 0 & 96 & 3 & 6,1 & 3 & 6 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (8)$$

Dále určíme maximální  $H$  a minimální  $D$  hodnoty z každého sloupce  $j$ :

$$H = (54; 96; 8; 7,7; 7; 10)$$

$$D = (0; 58; 0; 0; 0; 1)$$

Následně pomocí transformačního vzorce (3) vytvoříme normalizovanou kritériální matici (9), jejíž prvky vyjadřují hodnoty užítu dané varianty podle určitého kritéria. Předpokládejme, že jsme získali vektor vah kritérií:

$$v = (0,07; 0,24; 0,33; 0,19; 0,09; 0,08)$$

$$\begin{array}{c} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{array} \begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 & f_4 & f_5 & f_6 \\ 0,26 & 0,84 & 0,50 & 0,56 & 0,00 & 0,44 \\ 0,54 & 0,00 & 1,00 & 0,00 & 1,00 & 0,00 \\ 0,20 & 0,05 & 0,75 & 0,32 & 0,86 & 0,67 \\ 1,00 & 0,58 & 0,00 & 0,29 & 0,14 & 1,00 \\ 0,78 & 0,37 & 0,50 & 1,00 & 0,71 & 0,78 \\ 0,00 & 1,00 & 0,38 & 0,79 & 0,43 & 0,56 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Maximální hodnoty užitku dosahuje varianta  $a_5$  a je vybrána jako nejlepší. Uspořádáním variant podle hodnot užitku dostáváme pořadí:

$$u(a_5) = 0,62; u(a_6) = 0,60; u(a_1) = 0,53; u(a_2) = 0,46; u(a_3) = 0,44; u(a_4) = 0,36.$$

### 2.3.2 Metoda ideálních bodů - IPA

O této metodě lze nalézt zmínku např. v [Gurecký J., 1998], [Krejčí P., 2001] a jedná se vlastně o metodu WSA s nepatrnou úpravou, kde je vzorec (6) upraven na tvar

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot (1 - r_{ij}) \quad (10)$$

čímž se dosáhne změny v uspořádání seznamu variant tak, že hodnota s nejnižším užitekem je zde nejlepší a naopak.

## 2.4. Modelování preferencí mezi kritérii

Vícekritériální rozhodování, je modelování rozhodovacích situací, ve kterých máme definovanu množinu variant a soubor kritérií, podle nichž budeme varianty hodnotit. V následujícím budou uvedeny dva postupy, jak modelovat preference mezi kritérii a s tím požadované typy informace od uživatele: ordinální informace o kritériích a kardinální informace o kritériích ve formě vah kritérií.

### 2.4.1 Ordinální informace

Ordinální informací o kritériích se rozumí jejich uspořádání od nejvíce důležitého po nejméně důležité. Některé metody s ordinální informací připouštějí i kvaziuspořádání, tj. připouštějí i existenci několika stejně hodnocených kritérií.

### 2.4.2 Váhy

Většina metod vícekritériálního rozhodování vyžaduje informaci o relativní důležitosti jednotlivých kritérií, kterou lze vyjádřit pomocí vektoru vah kritérií:

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_k); \quad \sum_{i=1}^k v_i = 1; \quad v_i \geq 0 \quad (11)$$

### 2.4.3 Praktické způsoby získávání vah kritérií

V praxi existuje několik různých způsobů, jak zvolit vhodná kritéria a určit jejich váhu. Zjednodušeně by bylo možné uvést následující tři způsoby:

1. Návrh kritérií i jejich vah je záležitostí jediného odborníka, který pravděpodobně sám také provede výpočet a seřazení variant některou z metod vícekritériálního rozhodování.
2. Na určování vah kritérií, a případně i na volbě kritérií vůbec, se podílí skupina odborníků. Výsledek pak lze získat například tak, že se vybraná skupina odborníků sejde a při společné diskuzi vyberou kritéria relevantní pro řešení daného rozhodovacího problému a určí i jejich vzájemnou procentní důležitost.
3. Rovněž je zde množnost vybrané skupině odborníků rozeslat dotazníky s návrhy kritérií, do nichž tito uvedou svůj názor na důležitost jednotlivých kritérií.

#### 2.4.3.1 Porovnání metodiky postupů při volbě vah kritérií

Každý z výše uvedených postupů má své přednosti i nedostatky, zde jsou vyjmenovány některé z nich:

##### 1. Kritéria a jejich váhy navrhuje jediný odborník:

###### **Výhody**

- (a) Je zcela pochopitelné, že do řešení tohoto problému nebude nutno zainteresovat tak velké množství osob jako v dalších uvedených případech.
- (b) Sníží se tím i doba potřebná pro získání vah kritérií a jejich vyhodnocení.

###### **Nevýhody**

- (a) Pokud kritéria vybírá jediný odborník, je nutná jeho vysoká odborná znalost problematiky na níž bude multikritériální analýza aplikována.
- (b) Jeden řešitel bez možností konzultací s dalšími odborníky nemusí zvolit tu správnou množinu kritérií.
- (c) Při navrhování vah kritérií může jediný odborník podcenit nebo naopak přecenit důležitost některých kritérií.
- (d) Objektivita a vypovídací schopnost vektoru vah navrženého jediným odborníkem není tak vysoká, jako v případě, kdy se na určování vah podílí reprezentativnější vzorek expertů.
- (e) V případě nutnosti obhajovat výsledky multikritériální analýzy, v níž byla kritéria nebo jejich váhy navrženy jediným odborníkem, zvyšuje tato skutečnost napadnutelnost obhajoby ze strany oponentů.

##### 2. Kritéria navrhuje skupina odborníků formou společné diskuze:

###### **Výhody**

- (a) Větší počet odborných pracovníků zajišťuje vyšší míru objektivity při určování relevantních kritérií i jejich vah.
- (b) Pracovník, který provádí samotný výpočet pomocí multikritériální analýzy, nemusí být nutně odborníkem v problematice již se týká řešená vícekritériální úloha.
- (c) Snižuje se pravděpodobnost výběru nevhodných kritérií nebo naopak opomenutí důležitých kritérií v důsledku posuzování na základě zkušeností jediného člověka.
- (d) Výsledkem takovéto diskuze většinou bývá jednoznačně určená množina kritérií a jejich procentně vyjádřená důležitost (váhový vektor). Takovéto hodnoty lze bez dalších úprav použít přímo v multikritériální analýze.



### **Nevýhody**

- (a) Zajistit setkání většího množství odborníků na danou problematiku v jeden čas a na jednom místě je úkol v některých případech neřešitelný. Určitou možnost zde představuje například uspořádání konference na dálku, pokud to technické možnosti dovolují (Např. s využitím komunikačních nástrojů na Internetu, v telefonních sítích apod.).
- (b) Mnoho odborníků znamená mnoho rozdílných názorů a to může být také výsledek vzájemné diskuze, narozdíl od jednoznačně určeného váhového vektoru.

### 3. Kritéria navrhuje skupina odborníků formou vyplňovaných dotazníků:

#### **Výhody**

- (a) Stejně jako výhody v bodě 2a.
- (b) Stejně jako výhody v bodě 2b.
- (c) Obeslání vybrané skupiny dotazníky snižuje časovou náročnost a obtíže spojené například s cestováním odborníků na jedno místo.
- (d) Při určování vah kritérií vyplňuje daný uživatel dotazník sám, neovlivněn diskuzí a názory dalších odborníků.

#### **Nevýhody**

- (a) Je nutné zpracovat vyplněné dotazníky tak, aby výsledkem byl jednoznačný vektor vah kritérií, použitelný v MKA.

### **2.4.4 Matematické metody určování vah kritérií**

Čím je důležitost kritéria větší, tím je větší i jeho váha. Získat od uživatele přímo hodnoty vah je velmi obtížné, avšak existují metody, které na základě jednodušších subjektivních informací od uživatele konstruují odhady vah.

#### **2.4.4.1 Metoda pořadí**

Tato metoda vyžaduje pouze ordinální informaci, stanovení pořadí kritérií podle důležitosti. Uspořádaným kritériím jsou přiřazena čísla (body)  $k, \dots, 1$ . Nejdůležitějšímu kritériu je přiřazeno číslo  $k$  (počet kritérií), druhému nejdůležitějšímu  $k - 1$ , až nejméně důležitému kritériu číslo  $1$ . Obecně je  $i$ -tému kritériu přiřazeno číslo  $b_i$ . Váha  $i$ -tého kritéria se pak vypočte dle vzorce

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^k b_i}; \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (12)$$

Součet čísel  $b_i$  ve jmenovateli je součtem prvních  $k$  přirozených čísel

$$\sum_{i=1}^k b_i = \frac{k(k+1)}{2} \quad (13)$$

#### **2.4.4.2 Bodovací metoda**

Bodovací metoda předpokládá, že je uživatel schopen kvantitativně ohodnotit důležitost kritérií.

Pro zvolenou bodovací stupnici musí uživatel ohodnotit  $i$ -té kritérium hodnotou  $b_i$  ležící v dané stupnici (např.  $b_i \in (0, 100)$ ). Čím je kritérium důležitější, tím je bodové ohodnocení vyšší.

Uživatel nemusí volit pouze celá čísla z dané stupnice a může přiřadit stejnou hodnotu i více kritériím. Bodovací metoda sice vyžaduje od uživatele kvantitativní ohodnocení kritérií, ale umožňuje diferencovanější vyjádření subjektivních preferencí než metoda pořadí. Výpočet vah se provádí podle vztahu (12) jako u metody pořadí.

#### 2.4.4.3 Metoda párového srovnání kritérií - Fullerova metoda

Zde se používá pro odhad vah pouze informace, které ze dvou kritérií je při párovém srovnání důležitější. Uživatel postupně srovnává každá dvě kritéria mezi sebou, takže počet srovnání je

$$N = \binom{k}{2} = \frac{k(k-1)}{2} \quad (14)$$

Srovnání se mohou provádět v tzv. *Fullerově trojúhelníku*. Kritéria se pevně očíslovají pořadovými čísly  $1, 2, \dots, k$ . Uživateli se předloží trojúhelníkové schéma, jehož dvojřádky tvoří dvojice pořadových čísel, uspořádaných tak, že se každá dvojice kritérií vyskytne právě jedenkrát. Uživatel je požádán, aby zakroužkováním označil u každé dvojice to kritérium, které považuje za důležitější. Počet zakroužkování  $i$ -tého kritéria označíme  $n_i$ . Váha  $i$ -tého kritéria se pak vypočte dle následujícího vzorce

$$v_i = \frac{n_i}{N}; \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (15)$$

|       |   |   |   |     |       |
|-------|---|---|---|-----|-------|
| 1     | 1 | 1 | . | .   | 1     |
| 2     | 3 | 4 | . | .   | k     |
| <hr/> |   |   |   |     |       |
|       | 2 | 2 | . | .   | 2     |
|       | 3 | 4 | . | .   | k     |
| <hr/> |   |   |   |     |       |
|       | . | . | . | .   | k     |
| <hr/> |   |   |   |     |       |
|       |   |   |   | k-2 | k-2   |
|       |   |   |   | k-1 | k     |
|       |   |   |   |     | <hr/> |
|       |   |   |   |     | k-1   |
|       |   |   |   |     | k     |

**Obr.2** Schéma Fullerova trojúhelníku

Výhodou této metody je jednoduchost vyžadované informace od uživatele. Po úpravách je možno připustit i situace, že některá kritéria jsou stejně důležitá, nebo nesrovnatelná. V případě, že chceme vyloučit nulové váhy, zvyšuje se v případě potřeby každý počet zakroužkovaných čísel o jedničku a musí se odpovídajícím způsobem zvýšit i hodnota jmenovatele ve vzorci (15).

**Příklad:** Dejme tomu, že si chceme z několika variant zvolit /místo výstavby rybníka/své budoucí zaměstnání a rozhodli jsme se posuzovat nabídky podle následujících kritérií:

kritérium  $f_1$  - vzdálenost k nejbližšímu prodejci

kritérium  $f_2$  - finanční zisky z chovu ryb

kritérium  $f_3$  - kombinace s dalšími podnikatelskými aktivitami v lokalitě

kritérium  $f_4$  - místní podpora vlastníků sousedních pozemků

Pokud budeme řešit daný problém některou z metod multikriteriální analýzy, která bude vyžadovat znalost vah kritérií, můžeme použít metodu Fullerova trojúhelníku, jak je uvedeno níže.

$$\begin{array}{ccc}
 f_1 & f_1 & \textcircled{1} \\
 \textcircled{2} & \textcircled{3} & f_4 \\
 \hline
 & \textcircled{2} & \textcircled{2} \\
 & \textcircled{3} & f_4 \\
 \hline
 & f_3 & \\
 & \textcircled{4} & 
 \end{array}$$

Kritérium  $f_1$  bylo preferováno (zakroužkováno) jednou ( $n_1 = 1$  bod), kritérium  $f_2$  dvakrát jako jednoznačně důležitější (2 body) a jednou jako stejně důležité s kritériem  $f_3$  (0,5 bodu), takže  $n_2 = 2, 5$  bodu. Kritérium  $f_3$  má ze stejného důvodu také 0,5 bodu a navíc ještě 1 bod za srovnání s kritériem  $f_1$ , proto  $n_3 = 1, 5$  bodu. Kritérium  $f_4$  má  $n_4 = 1$  bod. Dle vztahu (15) pak určíme váhy jednotlivých kritérií, tedy důležitost jakou jim přisuzujeme:

| Kritérium                             | $v_i$        |
|---------------------------------------|--------------|
| kritérium $f_1$ – vzdálenost prodejce | 0,166        |
| kritérium $f_2$ –                     | 0,416        |
| kritérium $f_3$ –                     | 0,250        |
| kritérium $f_4$ –                     | 0,166        |
| <b>Suma vah všech kritérií</b>        | <b>1,000</b> |

**Tab. 1** Váhy kritérií vypočtené metodou Fullerova trojúhelníku

### 3. Příklady aplikace MKA v rámci OKS

Ve zpracovaném softwarovém nástroji je aplikace MKA zaměřena na stanovení optimální varianty soustavy krajinných prvků (SKP).

Přitom se vychází z definice axiomu typu „čím vyšší tím lepší“. Čím bude celková hodnota komplexního indikátoru SKP větší (numericky vyšší), tím bude posuzovaný způsob (tj. varianta) SKP ve všech směrech, tj. pro všechna kritéria lepší, vhodnější, účinnější, příznivější. To znamená obecně z globálního hlediska, prospěšnější. Zároveň musí logicky platit opačná (inverzní) definice, že totiž čím je celková hodnota komplexního indikátoru SKP nižší, hodnotově (numericky) menší, tím bude posuzovaný způsob (varianta) SKP horší (méně hodnotný).

Modifikovaná metoda SKP, tj. modifikovaná metoda komplexního indikátoru SKP, patří do kategorie modelů kvantitativního tvrdého typu, která umožňuje výběr optimální navrhované (posuzované, hodnocené) varianty SKP z dané množiny variant.

Zároveň je možné pomocí metody SKP definovat pořadí jednotlivých hodnocených variant SKP v souladu s požadavky veškerých kritérií, která zohledňují související problematiku v oblasti hydrologie (hydrologické bezpečnosti), dále pak z oblasti ekologické, sociální, ekonomické, vodohospodářské, zdravotní, atd.

Při tvorbě kritérií se přitom předpokládá činnost týmu expertů, který bude složen z odborníků z příslušných oblastí, které souvisejí s problematikou v daném typu krajiny.

Výsledkem aplikace metody komplexního indikátoru SKP je stanovení číselné hodnoty komplexního indikátoru SKP, která vyjadřuje kvalitu (hodnotu, vhodnost) navrhované (posuzované) varianty SKP.

Použití multikriteriální teorie kardinálního užitku (Multiattribute Utility Theory, Miles 1967) v oblasti výzkumu a v inženýrské praxi, tj. při hodnocení vlivů SKP na krajinu a při výběru optimální varianty jednotlivých způsobů SKP předpokládá, že návrh, způsob a provedení, tedy realizace SKP, je definována charakteristickými (kardinálními, podstatnými) vlastnostmi jednotlivých komponentů SKP, které lze numericky vyjádřit pomocí vhodných diagnostických a analytických metod (viz kapitola 2).

Dále uvedený rámcový příklad je třeba chápat jako akademický, sloužící pro lepší pochopení problematiky a s cílem zpřístupnit a ozřejmit vyhodnocovací proces. Může být proto změněn nebo rozšířen, zpřesněn, korigován či doplněn.

**A) Návrh variant SKP**, necht' jsou dány (modelem, návrhem, projektem, pomocí studie) jednotlivé navrhované varianty či způsoby SKP, v tomto případě SKP<sub>1</sub>, SKP<sub>2</sub> a SKP<sub>3</sub>.

**B) Vytvoření kritérií**, resp. souboru kritérií, jenž by „co možná nejlépe“, nejkomplexněji vyjadřoval, zohledňoval, promítal, popisoval vliv SKP např. ve vztahu:

- ke splnění cílů SKP
- ke krajině (k hydrologii krajiny, k ekologii k sociálním aspektům, atd.)
- k obyvatelstvu v místě realizace
- k dalšímu možnému využití území

Dále je třeba jednoznačně tato kritéria definovat. Pro názornější a přehlednější výklad je dále uveden konkrétní příklad několika kritérií.

Kritéria jsou v navrženém přístupu vázána na jednotlivé krajinné prvky, se kterými lze v procesu posuzování (resp. návrhu) reálně uvažovat.

*Poznámka: Například za účelem snížení složky povrchového odtoku po pozemku zvažovat širší důsledky vybudování zasakovacího pásu, odvodňovacího liniového prvku v trase povrchového odtoku apod. resp. posoudit účinek stávajícího zatravnění svahu a funkci meze, kdy řešení nebudou zvažována pouze technická řešení např. uplatněním numerického hydrologického modelu, což může být v koncepčních přístupech neúměrně složité, často neproveditelné.*

Příklad kritérií:

1. velikost plochy v krajině, kterou ovlivňuje výstavba SKP, jednotky: (AJ, např. ha) [+]
2. začlenění SKP do krajiny (z hlediska ekosystému, architektury krajiny, atd.) jednotky: (RJ) /relativní jednotky verbálně-numerické stupnice/ [+]
3. pozitivní vliv SKP na vodní režim krajiny, na hydrologii, hydrologická bezpečnost krajiny, omezení dopadů globálních změn, jednotky: (RJ) /relativní jednotky verbálně-numerické stupnice/ [+]

4. obtížnost realizace SKP (obtížnost návrhu, projektu, technická obtížnost realizace výstavby, pravděpodobnost (zabezpečenost) výstavby), jednotky: (RJ) /relativní jednotky verbálně-numerické stupnice/ [–]
5. cena SKP (celkové náklady za realizaci výstavby SKP včetně cen za PD a inženýrské práce), jednotky: (AJ, např. mil. Kč ) [–]

*Poznámky:*

*Znaménko [+] vyjadřuje přímou úměru kritéria z hlediska hodnoty SKP, tj. např. u kritéria č.1 to konkrétně znamená, čím větší bude plocha ovlivněná navrhovanou SKP, tím lépe. To odpovídá typu preference maximalizační (viz kapitola 2.2.1).*

*Naopak znaménko [–] vyjadřuje nepřímou úměru kritéria, např. u kritéria č.5 čím vyšší cena za SKP, tím hůře. To odpovídá typu preference minimalizační (viz kapitola 2.2.1).*

*Podle způsobu hodnocení výsledků odpovídá typ AJ (absolutní jednotky) kritériu kvantitativnímu (viz kapitola 2.2.1) a RJ (relativní jednotky) kritériu kvalitativnímu (viz terminologie kapitoly 2.2.1).*

U některých kritérií, např. omezení vlivu globálních změn s vlivem na hydrologickou bezpečnost, (kritérium č.3), nebo obtížnost realizace výstavby SKP (kritérium č.4), nebude možné jejich jednotky vyjádřit číselně. Problém se vyřeší pomocí tzv. verbálně-numerické stupnice:

Verbálně-numerická stupnice typu

Charakteristika (popis) Bodové hodnocení, relativní jednotky ( RJ )

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| velmi příznivý, vynikající .....      | 5 |
| příznivý, vhodný .....                | 4 |
| průměrný .....                        | 3 |
| nepříznivý, ne zcela vhodný .....     | 2 |
| naprosto nevyhovující, nevhodný ..... | 1 |

*Poznámka: Jedná se tedy v daném případě o kvalitativní hodnocení s rostoucí preferencí (tedy typ maximalizační).*

Je třeba zde znova upozornit, že jde pouze o příklad kritérií, pro lepší pochopení procesu vytvoření **komplexního indikátoru SKP**, proto výše uvedený soubor 5-ti více méně náhodných kritérií není v žádném případě úplný, ale je třeba jej upravovat podle konkrétní potřeby studie OKS tak, aby byl použitelný pro konkrétní požadavky praxe.

Zcela jistě by měl soubor obsahovat kritéria sociální, zdravotní, atp., záležitosti, mimo jiné, na typu krajiny, ve které je SKP navrhována.

**C) Parametry P navrhovaných SKP**, jejich databáze. Mějme dále různé způsoby (druhy, příklady) SKP, to znamená SKP<sub>1</sub>, SKP<sub>2</sub> a SKP<sub>3</sub>, které budeme hodnotit podle výše uvedených 5-ti kritérií, tak, že na ně „budou působit“ kritéria 1. až 5. a tím tedy vznikne (tj. působením, nebo lépe vyhodnocením tohoto působení kritérií 1. – 5. na SKP<sub>1</sub>, SKP<sub>2</sub> a SKP<sub>3</sub>) databáze parametrů SKP, parametrů P, a to pro každou SKP a kritérium. Jako konkrétní příklad, pro názornost, je prezentována tato databáze parametrů P v tab.2:

| varianta:                  | SKP <sub>1</sub> | SKP <sub>2</sub> | SKP <sub>3</sub> |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|
| č.kritéria (typ, jednotky) | parametry P      |                  |                  |
| 1. (AJ, ha)                | 6,2              | 2,5              | 3,8              |
| 2. (RJ, 5 st.)             | 5                | 4                | 3                |
| 3. (RJ, 5 st.)             | 3                | 4                | 5                |
| 4. (RJ, 5 st.)             | 4                | 5                | 3                |
| 5. (AJ, mil. Kč)           | 4,82             | 3,15             | 2,77             |

**Tab.2** Příklad struktury kritérií a jejich naplnění parametry

*Poznámka: Data uvnitř tabulky se tedy nazývají parametry SKP a označují se písmenem P. (např. P1.1, P1.2, P1.3, atd., dále P2.1, P2.2 atd. atd.).*

**D) Transformační funkce.** Pomocí vybrané (zvolených, navržených, vytvořených, modelovaných) transformačních funkcí typu

$$U = \text{funkce} (\dots P \dots) \quad (16)$$

se převedou parametry  $P$  na tzv. kvalitativní multiplikátory (nebo **indikátory SKP**, indexy ukazatele kvality SKP)  $U$ , které jsou bezrozměrné a nabývají hodnot od nuly (0) do jedné (1), tedy platí pro  $U \in < 0, 1 >$ .

Rovnicí (16) převedeme různé jednotky u příslušných kritérií (ha, mil. Kč, RJ), na stejný bezrozměrný ekvivalent.

Převodem opět dostaneme databázi, stejný typ tabulky jako je tab. 2, ale uvnitř budou hodnoty  $U$ , tedy indikátory (nebo ukazatele kvality), tak třeba  $U1.1$ ,  $U1.2$ ,  $U1.3$ , atd. ....dále  $U2.1$ ,  $U2.2$ , atd. atd.).

Poté se provede součet ve vertikálním směru pod jednotlivými SKP, tedy pod SKP<sub>1</sub>, SKP<sub>2</sub> a SKP<sub>3</sub>, (vertikálně, „dolů“) a která suma  $U$  bude nejvyšší, tak ta příslušná SKP je nejlepší (v porovnání s ostatními SKP) resp. nejvhodnější, tedy optimální.

Určitě by bylo vhodné zabývat se např. tímto postupem:

- vybrat konkrétní vzorovou (prověřenou) SKP s prokazatelně „nejlepšími“ vlastnostmi
- té pak přiřadit vypočtenou hodnotu suma  $U = U - U_{OPT}$ .
- podle suma  $U = U_{OPT}$  pak vytvořit klasifikační stupnici
- na základě této stupnice pak hodnotit další testované SKP (které budou mít své hodnoty, např. suma  $U_i$ )

*Poznámka: Existuje mnoho nejrozumnějších způsobů a celé řady metod jak provádět transformaci typu  $P - U$ , tj. jak vytvořit funkci  $U = fce (\dots P \dots)$  – zde viz kapitola 2.3.*

Transformace se provede výše popsáním způsobem pro všechna kritéria, tím vznikne matice hodnot  $U$ . Poté se provede součet ve vertikálním směru pod jednotlivými způsoby SKP, tj. pod sloupci SKP<sub>1</sub>, SKP<sub>2</sub> a SKP<sub>3</sub>, (vertikálně, „dolů“) a získá se tak **komplexní indikátor**

**systému krajinných prvků SKP  $U_k$**  pro každou variantu. Suma  $U_k$ , která bude nejvyšší, tak ta příslušná SKP má nejvyšší hodnotu **komplexního indikátoru SKP**, je nejlepší (v porovnání s ostatními SKP) má nejlepší vlastnosti (obecně), je nejvhodnější, je optimální.

Výše popsaný proces probíhal za předpokladu, že kritéria 1 – 5 měla stejný význam (důležitost, stejnou váhu). V případě, že je potřeba zohlednit větší význam určitého kritéria lze použít opět různé metody – viz kapitola 2.2.2 resp. kapitola 2.4.

#### 4. Závěr

Z hydrologického a vodohospodářského hlediska je současné období charakteristické zřejmým nárůstem takových extrémů jako jsou dlouhodobá srážková období s velkou vydatností, tajfuny, tropické bouře, masivní přívalové srážky, ale i relativně déle trvající období bezdeštná, které budou provázena vyššími teplotami.

Negativní dopady těchto jevů se pak velmi často projevují nejen formě abnormálních povodní či záplav, ale také četnými výskyty sucha. Výsledky výzkumů a bádání v oblasti klimatických změn poukazují, mimo jiné, na poměrně vysoké procento pravděpodobnosti, že výše zmiňované extrémy se budou opakovat stále častěji a to se zvýšenou intenzitou (Lomborg 2006, Cílek 2006, Met Office 1997).

Zvláštní pozornost a zaměření v rozhodovacím procesu, který směřuje k výběru a volbě optimálního způsobu (varianty) SKP, by měla být proto věnována zejména takovým opatřením SKP, které jednoznačně přispějí ke zmírňování potenciálních hydrologických extrémů, vyplývajících z globálních změn klimatu a budou zvyšovat hydrologickou bezpečnost jednotlivých typů krajiny.

## 5. Seznam v textu použitých zkratk

|     |                                                                                    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------|
| OKS | - optimalizace krajinné struktury                                                  |
| SKP | - soustava krajinných prvků                                                        |
| MKA | - multikriteriální (vícekriteriální) analýza                                       |
| SW  | - software                                                                         |
| RJ  | - relativní jednotky verbálně numerické stupnice hodnocení kritéria                |
| AJ  | - absolutní jednotky hodnocení kritéria, vyjádřené číselně počtem měrných jednotek |

## 6. Použitá literatura

Beanlands G. E., Duinker P. N., 1982: En Ecological Framework for Environmental Impact Assesament in Canada. Hull, Quebec, F.E.A. Review Office, Kanada.

Cílek R., 2006: Tsunami je stále s námi. Praha: Alfa Publishing. ISBN 80-86851-22-2. str.152-154, ČR

Fiala P., Jablonský J., Maňas M., 1994: Vícekriteriální rozhodování, VŠE Praha

Gurecký J., 1998: Optimalizace řízení sítí vysokého napětí dálkově ovládanými úsečníky. Dizertační práce. VŠB Ostrava, FEL

Korviny P., 2006: Teoretické základy vícekriteriálního rozhodování.  
[http://mca7.wz.cz/soubory/teorie\\_mca.pdf](http://mca7.wz.cz/soubory/teorie_mca.pdf)

Kovář P., Křovák F., Kasl M., Kubátová E., Štibinger J., 2006: Optimalizace krajinné struktury z hlediska hydrologických režimů. Návrh metodiky posuzovacího procesu pro stanovení optimální varianty SKP (soustavy krajinných prvků) v krajině. ČZU Praha, fakulta lesnická a environmentální, katedra biotechnických úprav krajiny

Krejčí P., 2001: Řešení spolehlivosti dodávky elektrické energie v oblasti s dálkově ovládanými prvky v sítích vysokého napětí. Dizertační práce. VŠB Ostrava, FEL

Lomborg B., 2006: Skeptický ekolog (The Skeptical Environmentalist). Nakladatelství Dokořán. ISBN 80-7363-059-1. str. 329-331, ČR

Met Office, 1997: Climate Change and its Impacts: A Global Perspective. London, Dept. of the Environment, Transport and the Regions. UK

Miles L. D., 1967: Value analysis: Decision makers' route to profits. STEEL (Magazine) Feature article exploring how VA leads to increased profits, and interviewing leaders in the field. Discusses. USA

Nijkamp P., 1980: Environmental Policy Analysis. Operational Methods and Models. Chichester, John Wiley.

Poleno Z., Remeš J., 1999: Koncepce podpory hydrické funkce lesa (dílčí projekt), nepublikované materiály ČZU Praha, LF, katedra pěstování lesů, Praha, ČR.



Rektorys K.: Přehled užití matematiky. ČSAV Praha

Říha J., Hodnocení vlivu investic na životní prostředí - vícekritériální analýza a EIA, Academia, Praha, 1995

Štibinger J., 1990: Použití statisticko-grafického programového vybavení pro vyhodnocování naměřených hromadných dat v hydrologii a hydropedologii, jejich numerická a grafická interpretace. Hydropedologický seminář, Praha 1990 Locus spol. s r.o., České Budějovice.