



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta životního
prostředí**

Stanovení optimální varianty rekultivace

*Použití multikriteriální analýzy pro hodnocení různých
rekultivačních postupů v krajině – stanovení optimální varianty
rekultivace*

Dokumentace

Teoretický základ problematiky
Pokyny pro uživatele

Pavel Kovář, Jakub Štibinger, Milan Kasl

Praha, 2011

Tato dokumentace včetně programového vybavení byla zhotovena v rámci grantového projektu pro MZe ČR s názvem:
„Optimalizace rekultivačních a sanačních postupů pro těžbou devastované krajinné celky s důrazem na ochranu vod a ekologickou stabilitu“
pod číslem QH 92091

Koordinátor: prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc.

Řešitelé: prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc., doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.,
Ing. Jitka Pešková, Ing. Milan Kasl

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí
katedra biotechnických úprav krajiny

Obsah

1	ÚVOD	4
2	TEORETICKÝ ZÁKLAD.....	4
2.1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....	4
2.2	MOŽNOSTI VZÁJEMNÉHO POSUZOVÁNÍ NAVRHOVANÝCH VARIANT – ZPŮSOBŮ REKULTIVACE	5
2.3	URČOVÁNÍ KVALITATIVNÍCH MULTIPLIKÁTORŮ (VYHODNOCOVAČÍCH FUNKCÍ A KŘIVEK)	10
2.4	URČOVÁNÍ KVANTITATIVNÍCH MULTIPLIKÁTORŮ – FULLEROVA METODA PÁROVÉHO POROVNÁNÍ	14
3	POUŽITÍ PROGRAMU A UKÁZKA APLIKACE NA PŘÍPADOVÉ STUDII... CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.	
4	LITERATURA.....	20

1 Úvod

Cílem tohoto programového vybavení je vzájemné posuzování a hodnocení různých způsobů rekultivačních postupů – variant rekultivace, se zaměřením na stanovení optimální varianty a se zaměřením na ochranu vodního režimu v krajině. Je vhodné všude tam, kde se nabízejí různé rekultivační postupy na zájmové lokalitě. Má sloužit inženýrské vodohospodářské praxi, projekci a navrhování rekultivačních opatření v krajině postižené těžbou nerostů.

2 Teoretický základ

2.1 Úvod do problematiky

Použití multikriteriální analýzy je vhodné všude tam, kde se nabízejí různé rekultivační postupy na zájmové lokalitě. V dalším textu je zpracován teoretický základ problematiky, která je založena na hodnotícím procesu vzájemného posuzování odlišných způsobů rekultivace – navrhovaných variant. Jednotlivé navrhované varianty byly uvažovány v zájmové lokalitě Radovesické výsypky a byly posuzovány podle vybraných relevantních kritérií v souladu s principy multikriteriální analýzy. Jedná se zde o otevřený dynamický systém, který může být v průběhu rozhodovacího procesu upravován a kalibrován tak, aby se na základě výsledků citlivostní analýzy uvažovaly nejen veškeré významné charakteristiky, ovlivňující proces hodnocení, ale také aby se odstranily v maximální možné míře všechny subjektivní vlivy. Jsou dány určité konkrétní ohraničené oblasti v krajině, které jsou devastované v důsledku povrchové těžby, jejíž dopady se pak negativně promítají do všech základních složek krajiny. Mezi priority jednotlivých navrhovaných rekultivačních a sanačních postupů patří obnova a tvorba nových zemědělských pozemků, dále pak lesních kultur, vodních ploch a toků, a také vytváření území pro rekreační a komerční účely. Velmi významnou rekultivační činností je vytváření podmínek pro zachování a nové osidlování rekultivovaných ploch typickými rostlinnými a živočišnými společenstvy.

Hodnocení navrhovaných způsobů rekultivace – variant na vodní režim krajiny a ochranu životního prostředí, představuje typickou standardní úlohou **multikriteriální rozhodovací analýzy** s cílem určit nejvýhodnější (optimální) variantu (způsob rekultivace) pro vytvořený soubor kritérií. Po metodické stránce může být tato úloha řešena do určité míry libovolně při různé míře uplatnění subjektivního faktoru. Z hlediska požadavku dosažení co největší míry objektivizace podkladů pro rozhodovací proces, musí být vliv subjektu (jednotlivce) v maximální možné míře eliminován.

Tento cíl je možné splnit uplatněním *axiomatické teorie kardinálního užítu* MUT s využitím vhodné formalizované metodiky, která umožní stanovit a vyjádřit číselné hodnoty *souhrnné funkce užítu* U . Souhrnná funkce užítu 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 užítu. Společnou zásadou pro uplatnění vícekritériálních metod zůstává požadavek jednoznačně, zřetelně a technicky popsat, definovat a formulovat jednotlivé uvažované *způsoby rekultivace*, resp. varianty řešení ve srovnatelných parametrech. Z této obecné zásady vyplývá, že základním předpokladem pro vícekritériální analýzu a rozhodování je vypracování (existence) navrhovaného záměru.

V tomto případě se jedná o problém hodnocení navrhovaných způsobů rekultivace (resp. rekultivačních a sanačních postupů) na vodní režim a ochranu životního prostředí ve více variantách, tj. v omezených a ohraničených oblastech v časovém období předprojektové studie (pre-project studies). Tyto varianty V_i (pro $i = 1, 2, \dots, m$) se musí od sebe lišit v hodnocení celospolečenských dopadů v souladu s axiomatickou teorií kardinálního užítu MUT. Teorie MUT je založena na filozofickém předpokladu, že souhrnná kvalita vodního režimu a životního prostředí (jenž je ale charakterizováno odpovídajícími složkami krajiny) pro daný územní region je určena podstatnými (kardinálními) vlastnostmi jednotlivých složek vodního režimu a životního prostředí, jejichž kvalitu lze posoudit dostupnými analyticko-diagnostickými ukazateli.

Soubor těchto dílčích ukazatelů bude vytvořen pomocí *katalogu kritérií* (ukazatelů, znaků), u kterých se hodnoty stanoví exaktně analyticky (tzn. např.: výpočtem, změřením), nebo s využitím vědeckých základů prognostiky a expertním odhadem. Různorodost vlastností však běžně znemožňuje převedení na společné hodnotové měřítko, což naopak umožňuje formalizovaný pracovní postup s využitím vhodně zvolených transformačních funkcí.

2.2 Možnosti vzájemného posuzování navrhovaných variant – způsobů rekultivace

Předpokládá se, že základní koncepce metody *Totálního Ukazatele Kvality Prostředí* (Říha, 1987) bude uplatněna pro řešení problematiky vlivu jednotlivých způsobů rekultivace a sanačních postupů na vodní režim, ekologickou stabilitu krajiny a ochranu životního prostředí. Pro tuto metodiku v souvislosti s vodním režimem (ARCADIS 2004) a ochranou životního prostředí mají jednotlivé parametry následující význam:

- 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_i , 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 užitku 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 užitku.

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:

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

Který vyjadřuje matematickou formu dílčí funkce užitku. Celková funkce užitku U je závislá na celkovém důsledku P a pro její konstrukci slouží množina dílčích funkcí užitku U_j . Předpokládá se dodržení podmínek preferenční a užitkové nezávislosti ukazatelů kritérií $f_j(P_j^{(y)})$. Dále se vychází z předpokladu platnosti podmínky, 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:

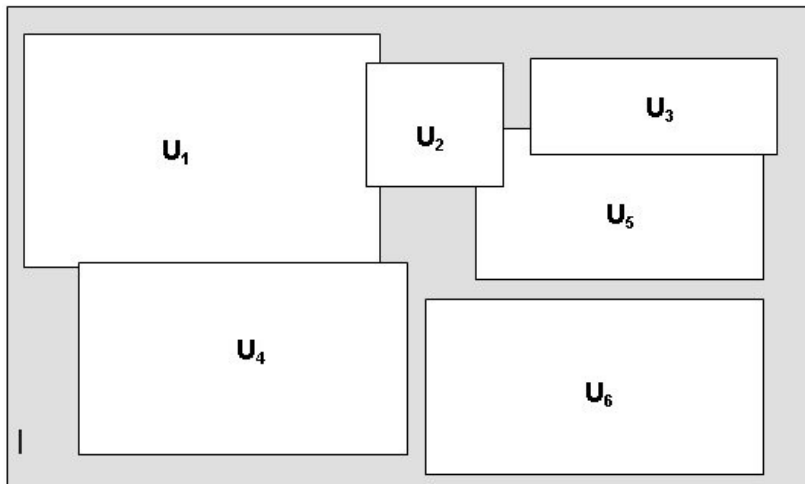
$$U_i = \sum_{j=1}^n U_j w_j^{(N)} \quad (3)$$

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 zároveň také

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



Obr. 1: Schéma pro kvantifikaci souhrnné funkce užitku U pomocí dílčích funkcí U_j

Protože je určení potřebných parametrů metodou postupné iterace 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 $P_j^{(y)}$. Výsledná hierarchizace souboru V_i (ranking) je určena sestupným pořadím podle vyčíslených numerických hodnot vektoru U_i podle zásady „čím vyšší → tím lepší!“.

Jinak řečeno celospolečensky maximální preferenci získává takové řešení (scénář, varianta), pro které vektor U_i nabývá nejvyšší hodnoty.

Rovnice (3) definuje aditivní model, který lze použít pro řešení výhradně za předpokladu platnosti uvedených podmínek. V opačném případě je nutno použít multiplikatívni model. Výraz $w_j^{(N)}$ vyjadřuje tzv. váhu normalizovanou.

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

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

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 $\langle 0; 1 \rangle$ a konstanta K je řešením rovnice

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

Poznámka:

Princip disjunkce je omezení, že určité hledisko - dílčí aspekt - nesmí být hodnoceno vícekrát. Při sestavování katalogu kritérií je třeba sledovat *vzájemnou preferenční a užitkovou nezávislost kritérií*. Současně se obecně uznává požadavek, že *prostor hodnocení musí být úplný a disjunktí*. Striktní dodržení tohoto požadavku je možné a žádoucí u homogenních technických (popř. ekonomických) úloh; naopak je obtížné a zpravidla jej nelze dodržet u heterogenního komplexního systému životního prostředí a ekonomické aktivity.

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 rovnice (8), tj. nalezení reálného kořene K^* v intervalu $(-1, 0)$ nebo $(0, +\infty)$ se řeší iterační metodou.

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. Současně je třeba mít na zřeteli, že mezi jednotlivými kritérii mohou existovat *čtyři zásadně odlišné druhy interakcí* (komplementarita, konkurence, indiference, variabilita).

Potenciální vlastnosti jednotlivých variant V_i pro $i = 1, 2, \dots, m$ lze posoudit z hlediska časového faktoru, tj. $P_j^{(y)}$ v průběhu monitoringu hodnotícího procesu od času $t = 0$ do $t = T$. Připouští se aditivní vztah:

$$P_j^{(y)} = P_j^{(y)}(0) + P_j^{(y)}(T) \quad (9)$$

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, zvládnání 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 existují tři různé pracovní způsoby. Metoda TUKP byla od doby svého vzniku použita mnohonásobně pro významné mezinárodní, celostátní a krajské úkoly, jak dokládají dostupné informace na internetu.

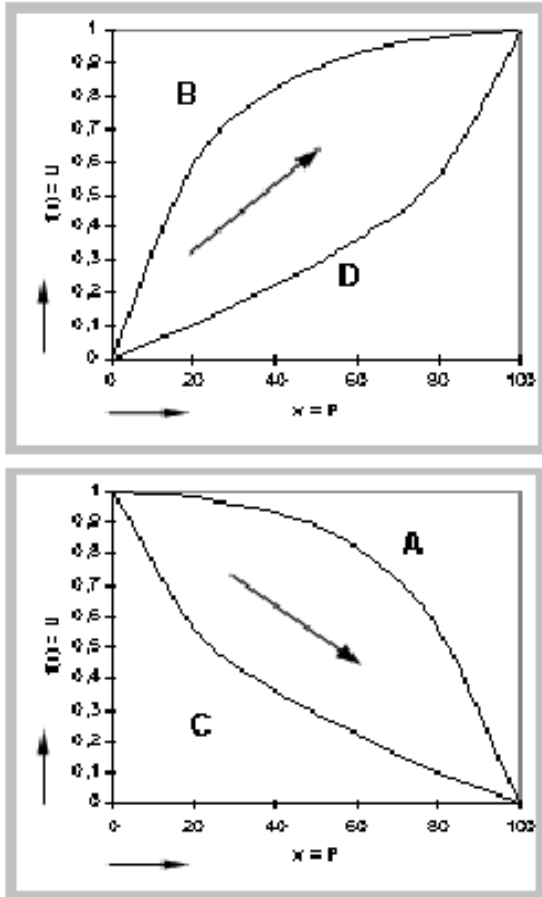
Poznámka:

Počátečním krokem aplikace metody TUKP pro analýzu hodnotícího procesu vlivu agrárních valů na vodní režim je sestavení *tabulky vstupních údajů*, tj. pro posuzování ohraničených oblastí s agrárními valy varianty V_i).

Varianty 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 formalizovanou verbálně numerickou stupnicí, kterou řešitel předem závazně definuje v tabulkové úpravě. Výsledkem prvního kroku řešení je tzv. *maticová tabulka vstupních údajů* pro množinu V_i a parametry P_j .

2.3 Určování kvalitativních multiplikátorů (vyhodnocovacích funkcí a křivek)

Plné využití výhod teorie MUT z hlediska hodnocení agrárních valů na vodní režim



Obr. 2: Prostor možných transformačních vymezených křivkami B a D pro přímou funkční závislost a křivkami A a C pro nepřímou funkční závislost

předpokládá definování hypotetických a reálných variant záměru, umožňující zavedení referenční úrovně pro proces rozhodování. Náročnější a originální (původní) část metody TUKP tvoří generování kvalitativních multiplikátorů (vyhodnocovacích křivek), pro které jsou popsány tři různé pracovní způsoby.

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 užitku je relativní, lze ke stanovenému počátku stupnice U_j přiřadit libovolnou hodnotu ukazatele P_j . Je možné normovat dílčí funkce užitku vztahy:

$$\left. \begin{aligned} U_i = f_i(P_i^0) = 0 \\ U_i = f_i(P_i^+) = 1 \end{aligned} \right\} (j = 1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

takže oborem kvalitativních multiplikátorů potom je interval $\langle 0; 1 \rangle$ a jejich definičním oborem pro případ pozitivní závislosti je $\langle P_j^0; P_j^+ \rangle$; pro případ negativní závislosti $\langle P_j^+; P_j^0 \rangle$. Ve většině případů lze vystačit s jednoduchými typy transformačních funkcí včetně transformace lineární.

Možnost volby a způsob dedukce transformačních funkcí dílčího užitku je možný podle různých (odlišných) postupů.

- Uplatnění reálné transformační funkce v souladu s předpokládanou užitností (absolutně chápanými vlastnostmi) posuzovaného parametru.
- Aplikace monotónní transformační funkce podle dříve 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. Pro *přímou závislost* transformace {+} je zvolen vztah:

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

kde střední hodnota $P_{prům}$ je definována jako $P_{prům} = 0,5(P_{max} - P_{min})$. Pro *nepřímou závislost* transformace {-} je zvolen vztah:

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

kde je $P_{prům}$... průměrná hodnota množiny ukazatelů P_j ;

k ... exponent;

$$U_j = f_j(P_j)$$

V domácí praxi je nejrozšířenější třetí pracovní postup - *odvození komparativní transformační funkce*. Opírá se 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. 3, 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 $\langle min; max \rangle$ se transformace uskuteční,
- v jakých jednotkách bude ukazatel kritéria měřen (vyjádřen),
- jaký tvar bude mít transformační funkce.

Počáteční rozvaha má mít povahu *brainstormingu*, viz tab. 1. 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 → tím lepší“), jednak pro nepřímou závislost (tj. zásada: „čím vyšší → 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) vynulovaly 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 .

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 TUKP doporučuje určovat počátek (konec) na x-ové ose standardně z desetiprocentní hodnoty rozdílu $P_{j\text{ max}} - P_{j\text{ min}}$ nazvané jako *okrajová difference* transformačního prostoru $D(P_j)$ a definované vztahem:

$$D(P_j) = 0,10 (P_{j\text{ max}} - P_{j\text{ min}}) \quad (12)$$

Pro počáteční bod stupnice platí:

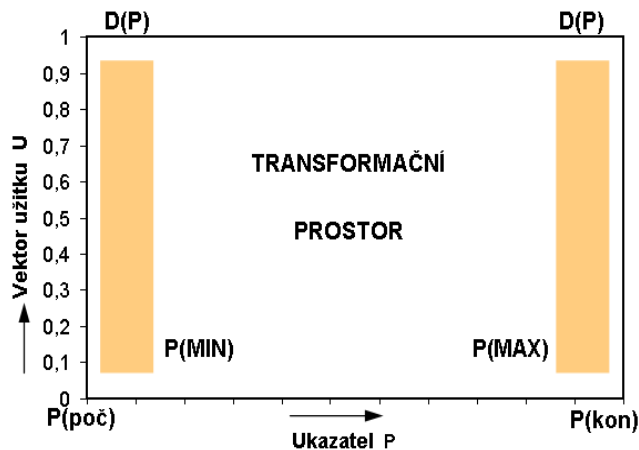
$$P_{j\text{ poč}} = P_{j\text{ min}} - D(P_j) \quad (13)$$

a obdobně je určen koncový bod vztahem:

$$P_{j\text{ kon}} = P_{j\text{ max}} + D(P_j) \quad (14)$$

Kde je $P_{j\text{ poč}}$... počátek transformačního prostoru;

$P_{j\text{ kon}}$... konec transformačního prostoru.



Obr. 3: Vymezení počátečního a koncového bodu měřítka transformačního prostoru

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 difference $D(P_j)$. 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 ze zadaných vstupních (reálných) hodnot ukazatelů P_j pro všechna V_i a vypočítané průměrné hodnotě $P_j \text{ prům}$ se přisoudí střední hodnota dílčí funkce užítku tj.:

$$U_j = f_j(P_j \text{ prům}) = 0,5 \quad (15)$$

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 mocninný typ funkce.

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 difference $D(P_j)$ může vést k vyřazení i takových ukazatelů, kterým byla přisouzena vysoká relativní důležitost. Existuje riziko, že avanturistickou volbou okrajových podmínek lze dospět k rozdílné hierarchizaci posuzovaných variant.

2.4 Určování kvantitativních multiplikátorů – Fullerova metoda párového porovnání

Druhým a zcela samostatným pracovním procesem je 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). Váha poskytuje informaci o relativní důležitosti (vlivu) jednotlivých ukazatelů kritérií v rámci dané množiny P_1, P_2, \dots, P_n .

Existují různé doporučované formalizované metody 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 indiferentních tříd.

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 **deskripty**. 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).

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

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 (okolím ovlivněné) stanovení vah, kdy hodnocení provádí členové týmu při současném kontaktu mezi sebou (viz 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 uvedených metod je podrobně uveden v dostupné literatuře.

Pro stanovení relativní důležitosti parametrů ŽP se v domácí praxi postupně uplatňuje *metoda párového hodnocení* (porovnání), kterou publikoval D. Fuller (1967). Jestliže přichází do

úvahy n parametrů, potom lze sestavit jejich kombinaci 2. třídy. Celkový počet dvojic je $n/2 (n - 1)$, který se sestavuje nejčastěji do tabulky tzv. *Fullerova trojúhelníku* podle následujícího schématu:

1	1	1	...	1	1
2	3	4	...	$(n-1)$	n
	2	2	...	2	2
	3	4	...	$(n-1)$	n
		3	...	3	3
		4	...	$(n-1)$	n
		
		
				$(n-1)$	n

Formální úpravy mohou být různé; při velkém počtu n se z úsporných důvodů pracuje v jednořádkovém trojúhelníku, nebo se volí tabelární forma.

Mechanismus pracovního postupu spočívá ve vzájemném porovnání všech dvojic, kde lze zpravidla snadno posoudit ve vztahu k deklarovanému cíli, který parametr je více nebo méně významný. Preferovaný parametr se označí podtržením nebo kroužkem a *zjišťuje se celkový počet získaných předností*, tento počet určuje váhu kritéria w_j . Výpočet normované váhy kritéria $w_j^{(N)}$ je shodný s metodou pořadí jak pro individuální výpočet, tak při práci v kolektivu expertů. Kontrola správnosti výpočtu vychází ze skutečnosti, že celkový úhrn získaných preferencí je dán shora uvedeným vztahem $n/2(n-1)$. Průměr posouzených vah od většího počtu expertů vyhovuje Gaussovu normálnímu rozdělení.

Za výhodu metody párového porovnávání se pokládá snadné porovnávání dvojic parametrů a možnost připuštění stanoviska, že oba parametry jsou rovnocenné, popř. nesrovnatelné. Mechanismus výpočtu nevyžaduje předcházející *tranzitivitu pořadí* a s výhodou lze řešení spojovat s jinými metodami (alokace, bodování aj.). V oblasti rozhodování tvoří model představu využívání ryze demokratických zásad, kde význam parametrů (ukazatelů kritérií) je hodnocen podle principu „každého s každým“. Z tohoto důvodu má své odpůrce mezi ignoranty formalizovaného hodnocení a zastánci intuitivního zamlženého způsobu rozhodování tuto metodu odmítají.

Poznámka:

Princip tranzitivity je definován požadavkem, aby základní struktura preferencí byla konzistentní. Lze jej formulovat následovně: Nechť A , B a C jsou tři rozhodovací alternativy. Jestliže si posuzovatel vytvořil nějaké preference v těchto alternativách, pak tyto preference by měly být konzistentní v tomto smyslu:

- (i) Považuje-li posuzovatel alternativy A a B za indiferentní a stejně tak považuje za navzájem indiferentní alternativy B a C , pak by měl považovat za indiferentní i alternativy A a C ; Symbolicky to lze vyjádřit

$$\left. \begin{array}{l} A \approx B \\ B \approx C \end{array} \right| \Rightarrow A \approx C$$

- (ii) Dává-li přednost A před B a také B před C , pak by měl dávat také přednost A před C ; symbolicky

$$\left. \begin{array}{l} A \gg B \\ B \gg C \end{array} \right| \Rightarrow A \gg C$$

- (iii) Dává-li přednost A před B a alternativy B a C považuje za indiferentní, pak by měl také dát přednost A před C ; symbolicky

$$\left. \begin{array}{l} A \gg B \\ B \approx C \end{array} \right| \Rightarrow A \gg C$$

Není-li možno v uvedeném kontextu najít pohodlný kompromis, který zabezpečuje konzistenci preferencí, pak je lépe užívat při rozhodování méně formalizovaných metod.

Na základě dlouholetých praktických zkušeností s realizací multikriteriální analýzy řešitel doporučuje aplikovat kombinovaný pracovní postup pro stanovení (konstrukci) relativní důležitosti kritérií duální metodou ALO-FUL. Podstata *duální metody* ALO-FUL 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, např. metodou pořadí, lépe metodou párového hodnocení (2.krok), uvnitř těchto skupin kritérií. Název ALO-FUL je odvozen z obou použitých dílčích pracovních postupů „standardních“ řešení (tj. ALO-*kace* a FUL-*lerovy* metody). 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 a uskutečnění ankety).

Podrobný popis metody uvedl a autorizoval J. Říha (2001). Výsledná normovaná váha kritéria je definovaná vztahem:

$$w[KAT]_j^{(N)} = \frac{w[KAT]^{(N)}}{\sum_j w[KAT]_j} w[KAT]_j \quad (16)$$

kde $w [KAT]_j^{(N)}$ je normovaná váha kategorie a $w [KAT]_j$ je neupravená či surová váha (např. počet bodů či získaných předností podle D.Fullera) 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

$$w[KAT]^{(N)} = \frac{w[KAT]}{100} \quad (17)$$

Zhodnocení výhod a nevýhod duální metody ALO-FUL se opírá o základní hodnocení obou mateřských metod, tj. o základní rysy metody alokace a metody párového hodnocení. Především to je možnost explicitního stanovení relativní důležitosti kategorií (hledisek) navzájem mezi sebou, dále vyloučení nežádoucího vlivu různého počtu kritérií (ukazatelů) v jednotlivých kategoriích tím, že o váhu kategorie se vždy dělí rovným dílem odpovídající množina ukazatelů kritérií; párové hodnocení významu uvnitř kategorie se týká podobných a tím (do určité míry) vzájemně logicky dobře porovnatelných ukazatelů (parametrů) 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 párové hodnocení ukazatelů kritérií (viz 2. krok řešení).

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

$$w_j^{(N)} = \frac{w_j}{\sum_j w_j} \quad (18)$$

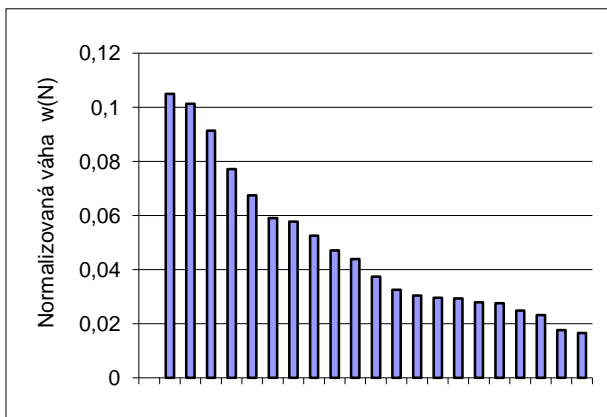
kde podle rovnice (5) musí platit $\sum_j w_j^{(N)} = 1$. Normování obecně umožňuje názorně posoudit těsnost vztahu (odchylku) mezi vahami přisouzenými různým ukazatelům.

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

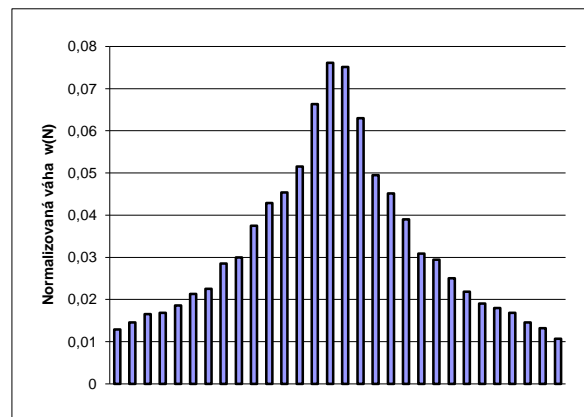
$$w_j^{(N)} = \frac{\sum_{k=1}^s w_{jk}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s w_{jk}} \quad (19)$$

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

Na obr. 4 je zobrazeno sestupné pořadí diferencované váhy parametrů. Obr. 5 je vytvořen postupným vynášením úhrnu předností od mediánu střídavě na levou a pravou stranu od nejvyšší do nejnižší hodnoty. Vrcholy sloupkového diagramu naznačují obalovou (frekvenční) křivku pro tzv. normální rozdělení náhodných chyb, která musí mít charakteristický zvonovitý tvar (Gaussova křivka). Tím se prokazuje objektivní reprezentativnost výsledku bez rušivého vnějšího (cíleného) vlivu.



Obr. 4: Sloupkový diagram hierarchického uspořádání relativní důležitosti kritérií



Obr. 5: Symetrický sloupkový diagram rozdělení priorit relativní důležitosti kritérií

Výsledné hodnocení a stanovené preference jednotlivých, navrhovaných a posuzovaných způsobů rekultivace a sanačních postupů, resp. variant, je vhodné prezentovat graficky pomocí přehledných diagramů se stručným komentářem.

Komentář a navrhovaná doporučení pro optimální variantu (způsob rekultivace) by měla formou diskuse hodnotit také ostatní varianty (způsoby rekultivace) v souvislosti s použitými kritérii a se získanými celkovými výsledky výše popsaného hodnotícího procesu.

3 Literatura

Fuller D. 1967. *Vést, nebo být veden*. Naše vojsko, Praha, ČR

Kovář P. – Štibinger J. a kol. 2008. *Metodika návrhu a výstavby optimální varianty protipovodňových a protieročních opatření (PPPO) pro zmírnění extrémních hydrologických jevů – povodní a sucha v krajině*. Číslo grantu: NPV-Mze 2005. VRK1/TP3-DP6 (1G 577040). Výroční zpráva za r. 2008. ISBN 978-80-213-1600-3. Vydavatel: ČZU Praha, FŽP, KBÚK, ČR.

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

Rektorys K. 1995. *Přehled užití matematiky*. ČSAV Praha, ČR

Říha J. 1987. *Multikriteriální posuzování investičních záměrů*. SNTL Praha, 336 stran.

Říha J. 1987. *Voda a společnost*. SNTL/ALFA Praha (340 stran).

Říha J. 2001. *Posuzování vlivů na životní prostředí*. Metody pro předběžnou rozhodovací analýzu EIA. Vydavatelství ČVUT, 477 stran. ISBN 80-01-02353-2.

Saaty L. T. 1977. *A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures*. In: Journal of Mathematical Psychology 15, 1977, No.3, p. 234.

Saaty L. T. 1990. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, Mc Graw-Hill.

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.