

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



Metodika optimalizace rekultivačních a sanačních postupů pro těžbou devastované krajinné celky s důrazem na ochranu vod a ekologickou stabilitu

Projekt MZe – NAZV QH 92091

Odpovědný řešitel: Prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc.

Prosinec 2011

Autoři metodiky

Zodpovědný řešitel: Prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc.

Řešitelé: Doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.
Prof. Ing. Miloslav Janeček, DrSc.
Ing. Petr Čermák, CSc.
Ing. František Křovák, CSc.
Ing. Milan Kasl
Ing. Jana Novotná
Ing. Darina Vaššová
Ing. Michaela Hrabalíková
Ing. Eva Pánková

Obsah

1. Anotace metodiky	4
2. Přehled rekultivačních variant a hlavní kritéria hodnocení rekultivací ..	5
2.1 Kritéria klimatická a hydrologická	6
2.2 Kritéria vodohospodářská (výsyvky)	8
2.3 Kritéria vodohospodářská (zbytkové jámy)	9
2.4 Kritéria geologicko-pedologická.....	11
2.5 Kritéria krajinářská	13
2.6 Kritéria ekologická.....	15
2.7 Kritéria ekonomická.....	17
2.8 Kritéria sociální.....	18
2.9 Kritéria zdravotní a hygienická.....	19
2.10 Aplikace unikriteriálního hodnocení (příklad Radovesické výsyvky).....	20
3. Praktické použití multikriteriální analýzy pro posuzování vhodnosti rekultivačních postupů (Případová studie Radovesické výsyvky)	20
3.1 Popis a definice navrhovaných variant a hodnocených způsobů rekultivace	21
3.1.1 Varianta Va – lesnická rekultivace nepřímá, s mokřady a menším počtem vodních ploch.....	21
3.1.2 Varianta Vb – lesnická rekultivace nepřímá, se systémem retenčních nádrží	21
3.1.3 Varianta Vc – zemědělská rekultivace nepřímá (pole) s výskytem suché nádrže-poldru	21
3.1.4 Varianta Vd – zemědělská rekultivace nepřímá (trvalý travní porost), s okrasnou zelení, s několika menšími vodními plochami, vodotečí a mokřady	22
3.2 Metodický postup pro uplatnění multikriteriální analýzy.....	22
3.2.1 Stanovení pořadí hodnocených variant způsobu rekultivace pro nevážený a vážený výstup.....	28
4. Diskuse.....	33
5. Sledování vertikálních posunů Radovesické výsyvky.....	33
6. Závěry	41
6.1 Aktivity	41
6.2 Dílčí cíle.....	42
6.3 Přínosy řešení.....	43
6.4 Závěrečná doporučení pro využití metodiky	44
6.5 Odborné publikace a výstupy RIV.....	45
Literatura:.....	47
Příloha č. 1: Postup řešení multikriteriální metody vyhodnocení varianty rekultivace	49

1. Anotace metodiky

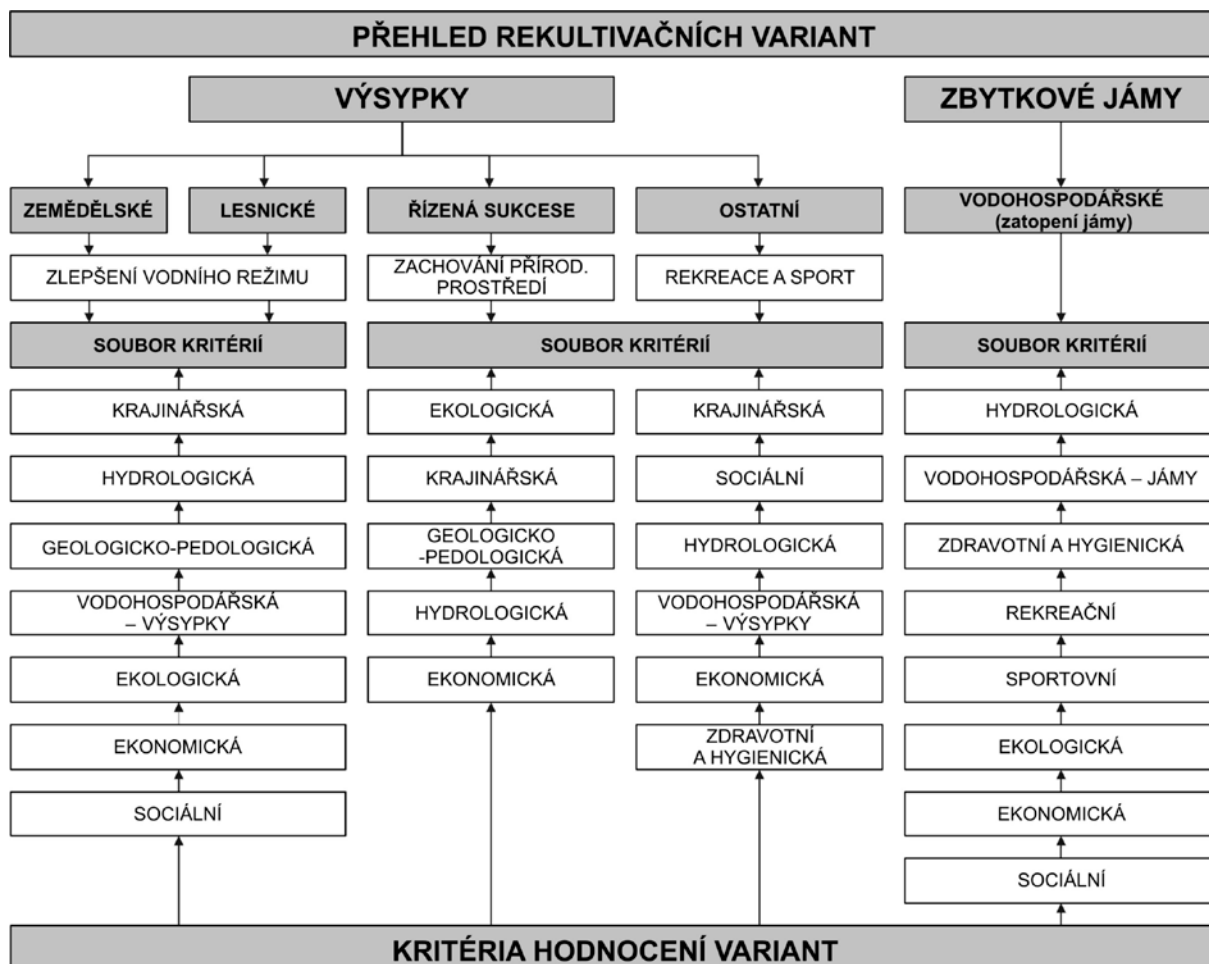
Ve tříletém období zpracování problematiky optimalizace rekultivačních a sanačních postupů pro povrchovou těžbou devastované krajinné celky byl v souladu s hlavním cílem projektu především kladen důraz na metodiku vyhodnocení různých variant rekultivačních zásahů a úlohu vody a její ochranu v budoucí, nově vytvářené krajině. Ve všech pěti aktivitách projektu byl tento úkol prioritní. Tři na sebe navazující výroční zprávy to dokladují.

V prvním roce řešení (2009) byla provedena aktualizace stávající terminologie a rešerše související platné legislativy. Dále byla dokončena analýza stávajících rekultivačních metod, navrhovaných rekultivačních postupů a jejich variant se speciálním zaměřením na problematiku ochrany vod a ekologické stability.

Ve druhém roce řešení projektu (2010) byl již navržen soubor kritérií pro hodnocení způsobů rekultivačních postupů a byly vytvářeny jejich priority. Dále byla stanovena metodika geneze transformačních funkcí k vytvoření databáze ukazatelů rekultivačních postupů (REKU). Bylo rovněž provedeno rozsáhlé měření a vyhodnocení souborů dat pedologických, hydrologických a geodetických na modelových území Radovesické výsypky, Loketské výsypky a zbytkové jámy Medard za účelem srovnávacích hydrologických bilancí obou těchto výsypky a vodohospodářské bilance plnění zbytkové jámy Medard. Odkloněním trasy řady krušnohorských potoků byla silně změněna orografie a tím i fyzicko-geografické parametry dřívějších povodí a hydrografické sítě vodních toků. Jejich revitalizační úprava je citlivým a náročným úkolem. To je součástí hydrotechnické přípravy a vodohospodářské rekultivace nových zatápěných zbytkových jam, kam patří i Medard. Důležitým přínosem řešení hydrologických bilancí obou výsypky je jejich vzájemné porovnání, které ukazuje ve třech sledovaných letech 2003 (suchý rok) a 2004, 2006 (normální roky), že Radovesická výsypka trpí suchem daleko více, než výsypka Loketská. Proto i rekultivační opatření by měla požadavkům na větší akumulaci vody vyhovět. Co se týče napouštění jámy Medard, většinou se předem jednalo o tvarování dna a svahů těchto jam, jejich izolace jílovými těsnícími zeminami ze zbytků uhelných slojí a důlních stařinových vod. Tyto vody, často s vysokým obsahem železa a manganu, jsou zdrojem kyselého prostředí a většinou se míchají se srážkovými vodami vlastního povodí a hlavně s externími dodávkami vody z Ohře, bez kterých by se požadovaná rekultivace nemohla prakticky realizovat v krátké době cca tři let.

V roce 2011 byla provedena závěrečná redukce kritérií rekultivací s výběrem těch nejdůležitějších a vyhodnocení optimálních variant navržených rekultivačních opatření metodou multikriteriálního výběru na příkladu Radovesické výsypky. Tato metoda vybírá optimální varianty, které nejlépe splňují vybraná kritéria charakterizující očekávání rekultivačního zásahu. Soubor variant a soubor kritérií se optimalizují metodou maticové algebry tak, aby vektor ukazatelů biotechnických opatření nabýval maximálních hodnot. U všech těchto variant byl vždy kladen důraz na optimální vodní režimy rekultivované krajiny (blízké přírodě) a na ochranu vod. Proto multikriteriální hodnocení vodních režimů ve prospěch akumulace a retence je dodatečně navrhováno pro Radovesickou výsypku jako optimální rekultivační varianta (Vb a Vc). Současně byly komparativně navrhovány varianty řízené sukcese na menších územích výsypky. Navíc již druhým rokem pokračovala přesná geodetická měření vertikálních posunů kontrolních kót Radovesické výsypky. Měření prokázala sedání některých lokalit výsypky až o 5 cm/rok i po cca 15 letech. V tomto měření chceme pokračovat i po formálním ukončení prací výzkumného projektu, najdeme-li finanční prostředky z jiných zdrojů.

2. Přehled rekultivačních variant a hlavní kritéria hodnocení rekultivací



Obr. 2-1: Přehled rekultivačních variant a výběr kritérií k hodnocení úspěšnosti vybrané varianty.

Přímým unikriteriálním hodnocením jsme se při výběru kritérií zabývali již v roce 2010 (Kovář, et al. 2010) s použitím souboru více než 50 různých kritérií. Tento způsob hodnocení představuje pouze součet kvantifikované míry ocenění (počet bodů), kdy se jednotlivá kritéria vzájemně neovlivňují. Toto hodnocení je tedy sice jednoduché, ale obsahuje značně subjektivní vliv ocenění jednotlivých variant rekultivací. Nicméně jsme tento způsob aplikovali na hodnocení Radovesické výsypky a porovnali ho dále s hodnocením multikriteriálním, kdy se již použitá kritéria vzájemně ovlivňují.

Seznam kritérií

- **Kritéria klimatická a hydrologická**
 - Dešťový faktor (Lang)
 - Průměrná roční srážka
 - Průměrný roční výpar
 - Hodnocení přímého odtoku (CN křivky)
- **Kritéria vodohospodářská (výsypky)**
 - Přírodě blízká hydrografická síť (revitalizační zásady)
 - Poměr vodních ploch
 - Odolnost proti vodní erozi
- **Kritéria vodohospodářská (jámy)**
 - Dotace externí vody
 - Odolnost proti abrazi břehů
 - Kvalita povrchových a důlních vod
- **Kritéria geologicko-pedologická**
 - Stabilita výsypkových těles
 - Propustnost půd a zemin
 - Složení rekultivačních zemin
- **Kritéria krajinářská**
 - Funkční systém ekologické stability
 - Obnova krajiny vzhledem k okolí
 - Zohlednění historického vývoje krajiny
- **Kritéria ekologická**
 - Ztráta biodiverzity
 - Funkce ekosystémů (stabilita, resistance, resilience)
 - Ekosystémové hospodaření
- **Kritéria ekonomická**
 - Finanční rezerva na sanaci a rekultivaci
 - Náklady různých variant rekultivací
- **Kritéria sociální**
 - Index atraktivity sídla
 - Pracovní místa (zaměstnanost)
- **Kritéria zdravotní a hygienická**
 - Porovnání podmínek před rekultivací a po ní
 - Splnění podmínek pro koupání, sport a rekreaci

2.1 Kritéria klimatická a hydrologická

Dešťový faktor (Lang) f

Langův dešťový faktor f lze určit ze vztahu (Hrádek a kol., 1989, 2002):

$$f = \frac{P}{T} \quad (1)$$

kde P je průměrná roční výška srážek (mm) a T je průměrná roční teplota (°C).

Tabulka 2-1. Klimatické oblasti v ČR:

Oblast	Langův dešťový faktor f	Pozn.	Klasifikace
I	< 60	nejsuchší	1,0
II	61–70		1,5
III	71–80		2,0
IV	81–100		2,5
V	> 100	nejvlhčí	3,0

Průměrná roční srážka P

Určení dle Klimatického atlasu ČHMÚ nebo Periodických statistických údajů ČHMÚ. Orientačně lze využít následující tabulky (Hrádek, 2002):

Tabulka 2-2. Závislost průměrné roční srážky na nadmořské výšce

Nadm. výška (m n. m.)	100	200	300	400	600	800	1000	1200
Průměr. roč. srážka (mm)	600	660	710	760	870	1000	1120	1240
Kategorie	1		2		3		4	
Klasifikace	0,5		1,0		1,5		2,0	

Průměrný roční výpar E

Odhad průměrného ročního výparu E z volné vodní hladiny je možno provést z ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ v závislosti na nadmořské výšce.

Tabulka 2-3. Závislost průměrného ročního výparu na nadmořské výšce

Nadm. výška (m n. m.)	100	200	300	400	500	600	700	800
Průměr. roční výpar (mm)	980	860	800	760	720	690	660	630
Kategorie	1		2		3		4	
Klasifikace	0,5		1,0		1,5		2,0	

Hodnocení přímého odtoku (CN křivky)

Přímý odtok zahrnuje odtok povrchový a část odtoku hypodermického. Podíly těchto odtoků se oceňují právě pomocí čísel odtokových křivek – CN. Čím větší je hodnota CN, tím je pravděpodobnější, že je přímý odtok tvořen zejména povrchovým odtokem. Základním vstupem metody CN je úhrn příčinného deště, za předpokladu jeho stejnoměrného rozdělení po ploše povodí. Objem srážek je přeměněn na objem odtoku pomocí čísel odtokových křivek CN. Jejich hodnoty jsou závislé na hydrologických vlastnostech půd, vegetačním pokryvu, velikosti nepropustných ploch, intercepci a povrchové akumulaci a součtu předcházejících srážek za pět dní před začátkem příčinného deště.

Čísla odtokových křivek CN jsou tabelizována podle:

- hydrologických vlastností půd rozdělených do čtyř skupin podle map bonitovaných půdně-ekologických jednotek (BPEJ) ČR: A, B, C a D na základě rychlostí infiltrace vody do půdy,
- využití pozemků, vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření,
- zařazení do tří vlhkostních kategorií nasycení povodí na základě pětidenního úhrnu předcházejících srážek.

Metoda CN křivek řeší přímý odtok O ze srážek S pomocí odhadu potenciální retence R na základě vztahu (US SCS, 1985, 1986, 1992; Janeček, Kovář, 2010):

$$O = \frac{(S - 0,2 \cdot R)^2}{S + 0,8 \cdot R} \quad (2)$$

Vztah mezi potenciální retencí R a číslem CN udává vztah:

$$R = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3)$$

Všechny proměnné v rovnicích (2) a (3) jsou v mm. Rozsah hodnot CN je v teoretickém rozsahu hodnot [0; 100], prakticky na povodí [40; 95] a z toho je patrné, že CN je vlastně koeficient odtoku (v řádu 10^2), jasně charakterizující povodňovou „extremitu“ povodí, tzn. čím vyšší hodnota CN, tím nebezpečnější reakce přímého odtoku na srážku. Zvláště u výsypek, které nejsou opatřeny vrchní vrstvou ornice nebo půdy s dobrou retenční kapacitou, mohou být čísla odtokových křivek poměrně vysoká. Následující kritéria určují čtyři základní kategorie hodnot odtokových křivek CN.

Tabulka 2-4. Kategorie hodnot odtokových křivek CN

Hodnoty CN	Verbální klasifikace	Číselná klasifikace
< 65	dobrá retence	3,0
66–75	průměrná retence	1,0
76–85	malá retence	0,5
> 85	velmi malá retence	0,0

2.2 Kritéria vodohospodářská (výsypky)

Přírodě blízká hydrografická síť (revitalizační zásady)

Hodnocení sítě vodních toků na rekultivovaném území výsypky by se mělo provádět s dodržением stejných revitalizačních zásad jako na přírodních povodích (A–E), jimiž je pak možno přisoudit i kvantifikovanou bodovou klasifikaci. Hlavní revitalizační zásady jsou následující; splnění každé z nich přináší 1,0 bod:

- Čistota vody: hospodaření na povodích, účinnost ČOV, samočisticí proces (1 bod).
- Biologický režim: druhová/trofická struktura, migrace bioty, návaznost zón, břehové porosty, biologická diverzita (1 bod).
- Zprůtočnění koryta: přehodnocení kritérií, změny kultur tratí, místní překážky, poldry (1 bod).
- Diverzifikace: směru (vinutí trasy, meandry), podélného profilu (tůňky, peřeje), příčného profilu (geomorfologická diverzita) (1 bod).
- Pohyblivé dno: pohyb splavenin, dnové útvary, bentos (1 bod).

Poměr vodních ploch k_{VP}

$$k_{VP} = \frac{F_{VP}}{F} \quad (4)$$

kde k_{VP} je poměrný koeficient vodních ploch, F_{VP} je plocha stojaté i tekoucí vody (včetně průtočné plochy hydrografické sítě) a F je plocha výsypky. Kvantifikované hodnocení poskytuje tabulka 2-5:

Tabulka 2-5. Kategorie hodnocení vodních ploch

Hodnoty kVP (%)	Počet bodů
< 3	0,0
3–5	2,0
5–10	3,0
> 10	5,0

Odolnost proti vodní erozi (erodibilita)

Vznik, průběh a intenzita erozního procesu na výsypkách je ovlivněna jak přírodními procesy, tak i způsobem založení a vrstvení výsypky i jejím následným užíváním. Intenzita eroze je závislá na erozní účinnosti deště, povrchového odtoku a erodovatelnosti zeminy. Zachar (in Janeček, 2002) považuje za míru vyrovnané eroze ztrátu $0,75 \text{ t ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ s kolísáním mezi $0,25$ až $1,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Škodlivost eroze je možno tabelovat (Janeček, 2002, upraveno):

Tabulka 2-6. Klasifikace škodlivosti plošné eroze podle intenzity odnosu

Stupeň	Intenzita odnosu ($\text{mm} \cdot \text{rok}^{-1}$)	Verbální hodnocení	Klasifikace (body)
1	< 0,5	slabá	2,0
2	0,5–1,5	střední	0,0
3	1,6–5,0	silná	-2,0
4	> 5,0	velmi silná	-4,0

Protierozní ochrana svahů výsypek je dále zajišťována jednak složením rekultivačních zemín (viz Kritéria geologicko-pedologická) a jednak klasickým způsobem aplikace biotechnických opatření, zejména přerušáním dlouhých svahů (terasy, hrázky, příkopy aj.).

2.3 Kritéria vodohospodářská (zbytkové jámy)

Dotace externí vody

Během těžby nerostných zdrojů je vždy odvedení srážkové vody, a tím i hydrografické sítě, ze zájmového území. Proto po ukončení těžby v rámci rekultivace je nutno sít' vodotečí revitalizovat tak, aby zejména v případě hydro-rekultivace byl maximální odtok srážkové vody z povodí směřován do recipientu, kterým je zbytková jáma. Ve většině případů je však přítok vody vzhledem k ploše povodí slabý a je nutno zpravidla velký objem vody externě dotovat. Poměr objemu disponibilní vody z vlastního povodí a externí vody vyjadřuje bodové hodnocení lokality. Toto hodnocení bere v úvahu pouze přívod externí vody gravitačně, nikoliv čerpáním, což by přinášelo velké náklady. Poměr vlastní srážkové vody z povodí a celkový objem jámy vyjadřuje objemový součinitel k_o :

$$k_o = \frac{O_{pov}}{O_{cel}} \quad (5)$$

kde O_{pov} je objem srážkové vody z povodí a O_{cel} je celkový objem zbytkové jámy pro naplnění vodou. Následná tabulka vyhodnocuje „vodnost“ povodí a klasifikuje potřebu dotace externí vodou.

Pozn.: Hluboké stařinové vody, které se obvykle mísí s externí povrchovou vodou zde nejsou započítány.

Tabulka 2-7. Klasifikace potřebné dotace externí vody

Objemový součinitel k_o	Verbální hodnocení povodí	Klasifikace (body)
< 0,05	malá vodnost	0,0
0,05–0,10	střední vodnost	2,0
> 0,10	velká vodnost	4,0

Odolnost proti abrazi břehů

Abraze břehů zatopených zbytkových jam může mít různý původ, např. kolísání hladiny, zimní režim, různé antropogenní vlivy, ale zásadní vliv na vznik a rozvoj abraze břehů nádrží má vlnění eolického (větrného) původu (Šlezinger, 2004). Z hlediska působení činitelů podmiňujících vznik abraze se zejména jedná o vliv geologických a pedologických poměrů, fyzikálně mechanických vlastností pokryvných útvarů břehů a sklony svahů. Protože sklony svahů lze navrhovat v souladu s hodnotou úhlu přirozené sklonitosti materiálu (φ), výběr geologických a fyzikálně mechanických vlastností materiálu břehů je dán výsypkovou zeminou z místa těžby. Proto její přirozená odolnost je hlavním kritériem hodnocení nebezpečí abraze. Podle stupně odolnosti je možno rozdělit horniny do čtyř skupin (Novák, Iblová, Škopek, 1986), jak je uvedeno v následující tabulce. Horniny méně odolné se obvykle dále zpevňují vegetačně (oživené kamenné záhozy aj.).

Tabulka 2-8. Rozdělení hornin dle přirozené odolnosti proti abrazi

Číslo skupiny	Odolnost horniny	Původ horniny	Klasifikace (body)
1	zcela odolné	kompaktní horniny vyvěřelé, přeměněné, usazené a kamenné suti	4
2	méně odolné	povrchové zvětralé usazené horniny flyšového pásma, horniny poloskalní zvětralé	2
3	málo odolné	nesoudržné hrubozrnné sypké (eluviální písčité šterky, říční šterky, zvětralinny flyšových hornin, říční náplavy, hrubozrnné písky)	1
4	zcela neodolné	středně až jemnozrnné písky, prachové písky, písčité hlíny, sprašové hlíny, jíly a organické zeminy	0

Kvalita povrchových a důlních vod

Kvalita vody pro plnění zbytkové jámy záleží na účelu vodohospodářské rekultivace, což je dáno způsobem využití vody pro:

- chov ryb (Věst. MLVH 8/1977),
- koupání a sport (Vyhl. 135/2004 Sb., 168/2006 Sb. a 152/2008 Sb.),
- jiné účely (hospodářské, akumulací, retenční apod.).

Kvalita vod v rekultivovaných zbytkových jamách závisí především na využitelnosti současných zdrojů vody bez rizika závažných biologických (výskyt sinic, řas aj.) či chemických znečištění (havárie). Dále je velmi důležitá prognóza vývoje nových jezer za kombinovaného řízeného zatápění s využitím důlních vod a vody z říčních zdrojů. Prognóza vývoje kvality vody je tedy velmi složitou otázkou i v současně zatápěných lokalitách (Chabařovice – Milada, Most – Ležáky, Sokolov – Medard), kde se i zdroje pro zatápění značně liší. Objektivně dle složení důlních vod je snad možno pouze hodnotit možnost využití důlních vod k míchání s vodami z povrchového odtoku (externími nebo z vlastního povodí). Odčerpávání důlních vod by jistě vyvolávalo značné provozní náklady a technické problémy. Kritérium je tedy zcela principiální, jak ukazuje tabulka.

Tabulka 2-9. Možnost míchání povrchových vod s vodami důlními

Kvalita důlních vod	Verbální hodnocení	Klasifikace – body
1. Umožňuje míchání s vodami povrchovými	ano	5
2. Neumožňuje míchání s vodami povrchovými	ne	0

Pro zajištění přijatelné jakosti vody ve vznikající nádrži je zcela nezbytné zajistit: diverzitu biotopů, v povodí omezit na nejnutnější míru hnojení zemědělských a lesnických plodin a výsadeb (včetně veškerých zásahů vedoucích k eutrofizaci), věnovat pozornost vytvoření funkčního litorálního pásma, vyloučit živelné vysazování ryb, zajistit trvalý monitoring oprávněnou laboratoří.

2.4 Kritéria geologicko-pedologická

Stabilita výsypkových těles

Svahový pohyb odpovídá v inženýrské geologii svahovému gravitačnímu procesu, při kterém dochází na svahu k přemísťování – pohybu horninových hmot na nižší výškovou úroveň. Svahový pohyb je třeba odlišovat od transportu horninových hmot, přemísťovaných po svahu erozí.

Základem klasifikace jsou dvě kritéria: mechanismus pohybu a jeho rychlost, podle kterých se svahové pohyby dělí na 4 základní skupiny:

1. Plazení je velmi pomalé přetváření hornin v časové závislosti za stálého zatížení, při kterém se rozvíjí vláčné přetváření. Z geologického hlediska jde o dlouhodobý, velmi až krajně pomalý a obvykle nezrychlující se pohyb horninových hmot (1 mm/den až 0,1 mm/rok), při kterém hranice vůči intaktním horninám je v převážné míře nezřetelná, jde o pomalé tečení.
2. Sesouvání je náhlý pohyb (1 cm/měsíc až 1 km/hod).
3. Stékání je rychlý až velmi rychlý krátkodobý pohyb pokryvných horninových hmot (10 cm/hod až 15 km/hod), který v důsledku velkých a hustých vzájemných přetvoření uvnitř pohybujících se hmot odpovídá pohybu vazkých kapalin, při kterém je ztekucení působením vody obvykle součástí procesu.
4. Řícení je náhlý, krajně až velmi rychlý pohyb (100–150 km/hod) horninových hmot, při kterém oddělené hmoty hornin ztrácejí krátkodobě kontakt se svahovým povrchem.

Každá z uvedených skupin se dále rozděluje na typy svahových pohybů, které již blíže charakterizují pohybový mechanismus. Obecná klasifikace pohybů nemůže být přesně vymezena. Při určení typu svahového pohybu je třeba brát v úvahu druh pohybu a jeho mechanismus, který je rozhodující pro vytvoření výsledné morfologické formy odpovídající svahové poruše (deformaci).

Stabilita výsypkového tělesa je nutnou principiální podmínkou jeho udržitelnosti. Proto jednotlivé skupiny svahových pohybů nemohou být kvantifikovány bodově. Uvažovat by se dalo pouze o pomalém přetváření hornin ve skupině 1 (plazení) v řádu cm/rok.

Složení rekultivačních zemín

Pro různé zeminy výsypek se používají vrchní vrstvy různých skladeb podle místních materiálů a různých sklonů výsypkových těles, aby tyto rekultivační varianty plnily poslání zúrodnovací i protierozní ochrany. Příkladem může být použití čtyř rekultivačních variant (A až D) na Radovesické výsypce (Čermák, Kohel, 2003).

Rekultivační varianta „A“ (lesnická rekultivace): technologický postup vytváření antropozemě spočívá v návozu cca 0,2 m slínitých hornin na povrch výsypky, jejich zaoráním do hloubky cca 0,4 m, opětovném převrstvení takto upraveného povrchu cca 0,2 m slínitými horninami a jejich zaoráním do hloubky cca 0,4 m.

Rekultivační varianta „B“ (lesnická rekultivace): technologický postup vytváření antropozemě spočívá v návozu cca 0,3-0,4 m slínitých hornin na povrch výsypky, jejich dalším převrstvení sprašovými hlínami o celkové mocnosti cca 0,3 m a jejich zaoráním do hloubky cca 0,4 m.

Rekultivační varianta „C“ (lesnická rekultivace): technologický postup vytváření antropozemě spočívá v převrstvení povrchu výsypky humusovým horizontem (ornicí) o celkové mocnosti do 0,3 m.

Rekultivační varianta „D“ (zemědělská rekultivace – pastvina): technologický postup spočívá v návozu slínitých hornin na povrch výsypky o celkové mocnosti cca 0,3 m a jejich převrstvením humusovým horizontem (ornicí) o celkové mocnosti do 0,3 m.

Používané varianty protierozní úpravy povrchu výsypky:

1. Ornice,
2. Sprašová hlína,
3. Slítnité horniny,
4. Bentonity,
5. Písčitohlinité zeminy,
6. Šedé jíly s příměsí písku,
7. Šedé jíly,
8. Mulč z kůry o mocnosti 0,1 m,
9. Mulč z celulózových kalů o mocnosti 0,1 m,
10. Šedé jíly × kůra (1 : 1),
11. Šedé jíly × celulózové kaly (1 : 1),
12. Hlinitopísčítá zemina × celulózové kaly (1 : 1),
13. Hlinitopísčítá zemina × sprašová hlína (1 : 1),
14. Hlinitopísčítá zemina × slítnitá hornina (1 : 1),
15. Hlinitopísčítá zemina × sprašová hlína (1 : 1).

Tabulka 2-10. Fyzikální půdní vlastnosti antropozemí

Rekultivační varianta	Půdní horizont (cm)	Maximální kapilární vodní kapacita (% obj.)	Pórovitost (%)	Objemová hmotnost (g/cm ³)
„A“	0–30	34–44	46–58	1,10–1,38
„B“	0–30	34–37	45–47	1,43–1,49
„C“	0–30	35–41	52–58	1,09–1,25
„D“	0–30	36–41	47–53	1,23–1,37

Tabulka 2-11. Zařazení používaných variant protierozní úpravy povrchu výsypků do hydrologických skupin

Hydrologická skupina	Charakteristika skupiny	Posuzovaná varianta	Součinitel nasycené hydraulické vodivosti (cm/min)	Sorptivita (cm/min ^{0,5})	Klasifikace – body
I.	Velmi málo propustná	5, 7	0,00051	0 a 0,0061	0
II.	Málo propustná	2, 3, 6	0,0041	0 a 0,016	1
III.	Méně propustná	1, 11, 14, 15	0,042	0 a 0,17	2
IV.	Středně propustná	4, 12, 13	0,1	0 a 0,19	4
V.	Propustná	12, 10	0,7	0 a 0,24	5
VI.	Velmi propustná	8, 9	5,0	0 a 0,65	5

Tabulka 2-12. Kritérium vytvořených antropozemí

Zemědělská rekultivace	Technologický postup	Klasifikace – body
Antropozem humózní	překryv výsypky (promísení) slítnou horninou nebo sprašovou hlínou a ornici o celkové mocnosti do 0,3 m	4
Antropozem hlubokohumózní	překryv výsypky (promísení) slítnou horninou a ornici o celkové mocnosti více jak 0,3 m	5
Lesnická rekultivace	Technologický postup	Klasifikace – body
Antropozem	povrch výsypky vytváří (lehčí střední zemina až střední zemina)	1
Antropozem pelická	povrch výsypky vytváří (těžká zemina až velmi těžká zemina)	3
Antropozem překrytá	překryv výsypky (promísení) slítnou horninou, sprašovou hlínou ev. ornici o malé mocnosti (do 0,1 m)	5

2.5 Kritéria krajinářská

Funkční systém ekologické stability (Rukověť projektanta ÚSES)

Územní systém ekologické stability krajiny (ÚSES) definuje zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v § 3 písm. a) jako vzájemně propojený soubor přirozených i pozmeněných, avšak přírodě blízkých ekosystémů, které udržují přírodní rovnováhu. Cílem územních systémů ekologické stability je zejména: vytvoření sítě relativně ekologicky stabilních území, ovlivňujících příznivě okolí; ekologicky méně stabilní krajinu, zachování či znovuobnovení přirozeného genofundu krajiny; zachování či podpoření rozmanitosti původních biologických druhů a jejich společenstev (biodiverzity).

Tabulka 2-13. Hodnocení stupně ekologické stability – typy aktuální vegetace a stupeň jejich ekologické stability

Typ formace vegetace	Klasifikace	Klasifikace – body	Zpřesňující charakteristika
pole	orná půda	1	intenzivně využívané a každoročně orané zemědělské pozemky
TTP	přírodní	5	subalpínská, vysokohorská luční společenstva
	přírozené	4	extenzivní; s přírozeně roustoucí flórou; často charakteru lad
	polokulturní	3	s významným podílem přírozeně rostoucích druhů
	kulturní	2	intenzivní louky a pastviny, trávníky
sady, zahrady	maloplošné	3	v drobné držbě
	velkoplošné	1	v intenzivně využívané držbě
mokřady	zachovalé	5	stabilizované mokřady všeho druhu
	přírodě blízké	4	např. na antropogenních pokleslinách a zhutnělých substrátech
vodní plochy, toky	přírodní	5	s přírozeným dnem a plně vyvinutými břehy stabilizujícími rostl. společenstvy
	přírozené, přírodě blízké	4	s přírodě blízkou úpravou břehů a dna a vyvinutými břeh. společenstvy
	upravené	3	s opevněním břehů, narušovanými společenstvy, snížená kvalita vody
	umělé I.	2	s nepropustným opevněním břehů i dna, narušená společenstva, středně znečištěná voda
	umělé II.	1	zaklenuté vodní toky, silně znečištěné, s degradovanými společenstvy či bez života
skály	přírozené	5	intaktní společenstva
	narušené	4	např. narušované sešlapem
	silně narušené	3	např. iniciální stadia opuštěných lomů
liniová společenstva	přírozená	4	s původními druhy bez plevelných a rumištních
	přírodě blízká	3	s malým podílem plevelných a rumištních druhů
	ruderální	2	s převahou plevelných a rumištních druhů
lesy	přírodní a přírozené	5	přírozená a přírodě blízká dřevinná skladba
	polokulturní	4	smíšené porosty původních a nepůvodních dřevin, původní monokultury
	kulturní	3	nepůvodní monokultury
	silně degradované až devastované	2	exhalační holiny v oblastech imisní katastrofy, plochy lesních školek a semenných plantáží

(Vysvětlivky – význam pro ekologickou stabilitu: 0 – bez významu, 1 – velmi malý, 2 – malý, 3 – střední, 4 – velký, 5 – výjimečně velký)

Zohlednění historického vývoje krajiny

Časové sledování změn v krajině je založeno na sledování změn jednotlivých krajinných složek, jejich plošného zastoupení, dynamiky (rozšiřování nebo zmenšování a ústup), prostorové konfigurace. V mozaice kulturní, ale i přírodní krajiny nemusí být přitom jednotlivé plochy zcela stabilní co do způsobu obdělávání, které se může velmi rychle měnit. Pokud však zůstávají jejich plošné zastoupení, velikost, tvar a prostorová konfigurace přibližně stejné, nedochází ke změně krajinného typu a vlastností krajiny jako celku. Ke změně krajinného typu a důležitých charakteristik krajiny dochází naopak v případech, kdy odlišný typ krajinné složky se stane krajinnou matricí, kdy krajinná složka významně roste nebo ustupuje nebo když se mění velikost zrna krajiny (Lipský 2000).

Lipský (2000) rozlišuje tři stadia vývoje české krajiny na:

- a. Období prudkých změn, hrubé destabilizace krajiny – kdy dochází k rozvrácení dosavadního systému krajinného i ekonomického, zavádí se nový výrobní postup (příkladem je kolektivizaci českého venkova v 50. 60. letech).
- b. Období relativní, antropogenně podmíněné stabilizace krajiny – relativně ustálené antropogenní vstupy do krajiny (např. zemědělská malovýroba českého venkova do poloviny 20. století).
- c. Období zvratu ve vývoji – charakteristické uvolněním antropogenního tlaku, kdy krajina má více prostoru k uplatnění autoregulačních mechanismů (příkladem je pokles obdělávané plochy a spontánní zalesnění naší krajiny v době stěhování národů, v pohraničí je toto patrné po roce 1945 po odsunu německého obyvatelstva, ale i od 50. let i na plochách nevhodných pro zemědělskou velkovýrobu).

Tabulka 2-14: Změna krajiny v historickém vývoji

Vztah mezi změnou krajiny a historickým vývojem	Klasifikace – body	Upřesnění
ano	2	výrazná změna, např. velkoplošná, úplná změna struktury a využívání krajiny
ne	0	zanedbatelná vazba mezi změnou krajiny a hist. vývojem

Obnova krajiny vzhledem k okolí

Obnovu krajiny vzhledem ke svému okolí neboli **vhodnost** krajiny pro její využívání můžeme chápat třemi základními způsoby, které mohou být ve svých důsledcích zcela odlišné.

1. Může být definována jako schopnost krajiny přizpůsobit se (adaptabilita) konkrétnímu využití.
2. Z hlediska ochrany krajiny jistě správnějším výkladem tohoto pojmu je popis krajinných charakteristik a vlastností, které danou krajinnou jednotku předurčují pro určitý způsob využívání.
3. Při hodnocení vhodnosti pro uvažovaný způsob využívání ji lze definovat jako schopnost krajinné jednotky poskytnout za podmínek trvalé udržitelnosti potenciál pro konkrétní způsob využití (Sklenička 2003).

Nemusíme tuto vhodnost posuzovat pouze v měřítku krajiny jako takové, ale lze ji i posuzovat jako vhodnost konkrétních prvků v dané krajině.

Tabulka 2-15. Stupně citlivosti obnovy krajiny vzhledem k okolí

Citlivost krajiny	Klasifikace – body
krajina citlivá ke konkrétním opatřením	3
průměrně citlivá krajina	2
necitlivá krajina	0

2.6 Kritéria ekologická

Ztráta biodiverzity

Biologická diverzita vyjadřuje rozmanitost a různorodost organismů a jejich prostředí. A to většinou na třech úrovních:

1. úroveň druhů (všechny organismy na Zemi),
2. úroveň genetické variability (velikost populace, rozmanitost genů),
3. úroveň společenstev (ekosystémová diverzita, především je chápána jako faktor ovlivňující krajinnou heterogenitu) (Sklenička 2003).

Biodiverzita neboli biologická rozmanitost má tendenci se v průběhu evoluce zvyšovat. K jejímu poklesu dochází v důsledku určitých katastrof, nebo i zásahem člověka. Hlavním cílem zachování biodiverzity je uchování rozmanitosti jednotlivých biologických druhů i různorodosti prostředí, ve kterých se tyto druhy nacházejí. Proměny ve složení, zastoupení druhů se odehrávají také přirozenou cestou, v současné době však jsou výraznější ty, na které působí lidská činnost. Zachování rozmanitosti biologických druhů je nezbytné, protože udržují stabilitu ekosystémů.

Tabulka 2-16. Klasifikace zásahů do krajiny ovlivňujících biodiverzitu

Zásah do krajiny	Klasifikace – body
zvyšující biodiverzitu	3
snižující biodiverzitu	0
s nevýznamným vlivem na biodiverzitu	1

Funkce ekosystémů

Ekologická stabilita je definována různými způsoby, ovšem dle Míchala (1994) takto: „Ekologická stabilita je schopnost ekologického systému přetrvávat i za působení rušivého vlivu a reprodukovat své podstatné charakteristiky v podmínkách narušování zvenčí“. Dle odezvy systému na narušení rozlišujeme čtyři základní druhy ekologické stability: konstantnost (např. písečná vegetace dun), cykličnost (např. lesostep), rezistenci (odolnost, např. udržovaná pastvina) a resilienci (elastičnost, např. rybník). Protikladem ekologické stability je ekologická labilita, ta může být často mezistupněm k nastolení nové ekologické stability.

Tabulka 2-17. Klasifikace ekosystémů podle jejich stability

Plochy ekosystému	Klasifikace – body
velmi stabilní	3
středně stabilní	2
málo stabilní až nestabilní	0

Ekosystémové hospodaření

Hospodaření v umělých či přírodě blízkých ekosystémech by se nemělo orientovat pouze na jednotlivé druhy, ani vycházet z představy, že přírodu lze zlepšit pouze lidskou činností. S termínem ekosystémové hospodaření souvisí termíny zdraví ekosystému a ekologická integrita ekosystému. Oba kvantitativně hodnotí morfologické i funkční charakteristiky ekosystému na úrovni jedince, populací a společenstev. Lze jimi hodnotit funkci ekosystémů, míru jejich poškození a do jisté míry předvídat budoucí vývoj. Ekosystémové hospodaření používá současné metody přírodních věd, společně s technologickými a legislativními přístupy. Při hospodaření člověka je patrná společná snaha maximalizovat produkci a zároveň optimalizovat využívání dodatečné energie. Důležitá je schopnost člověka učit se z předcházejícího stavu ekosystému.

Tabulka 2-18. Klasifikace ekosystémů podle ekosystémového hospodaření

Ekosystémové hospodaření	Klasifikace – body
vyhovující	3
nevyhovující	0

2.7 Kritéria ekonomická

Finanční rezerva na sanaci a rekultivaci

Zákon č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství ve znění zákona č. 541/1991 Sb., zákona 10/1993 a zákona č. 168/1993 Sb. (dále jen horní zákon) v odst. 6 paragrafu 31 vymezuje povinnost organizace vytvářet na vrub nákladů finanční rezervu na sanaci a rekultivaci. Za sanaci a rekultivaci jsou považovány všechny práce, které organizace je povinna učinit k nápravě škod v krajině a škod vzniklých na pozemcích právníkům i fyzickým osobám těžební činností (§ 31 odst. 5 horního zákona). Sanační práce zahrnují i rekultivaci pozemků podle zvláštních předpisů (zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (zákon lesní). Může jít např. o výsadbu náhradní zeleně, popřípadě výstavbu náhradních objektů za objekty narušené těžební činností, pokud slouží k obnově funkční způsobilosti krajinného systému, včetně nákladů spojených s monitorováním dlouhodobých účinků důlní činnosti na povrch (Kovář et al. 2010).

Tvorba rezervy na sanaci a rekultivaci: finanční rezerva na sanaci a rekultivaci pozemků dotčených vlivem dobývání uhlí je vytvářena jako součin hmotnostního množství vytěženého uhlí a měrné finanční rezervy (S_x), podle vzorce:

$$R_t = Q_t \cdot S_x \quad (6)$$

kde: R_t je rezerva tvořená na vrub nákladů těžby v roce t , Q_t objem těžby v roce t a S_x je měrná rezerva na sanaci a rekultivaci k datu x .

Náklady různých variant rekultivací

Tabulka 2-19. Náklady různých variant rekultivací (Dimitrovský 1999):

Rekultivační varianta	Severočeské doly	Sokolovská uhelná
zemědělská	0,9	0,8
lesnická	1,1–1,35	0,7–1,15
vodohospodářská	1,8	1,3–2,4
ostatní	1,2	0,9

(pozn. v roce 2001 byl uveden další přehled, kde byly náklady na vodohospodářské a ostatní rekultivace daleko vyšší, např. vodohosp. rekultivace až 7 700 000 Kč/ha)

Tabulka 2-20. Orientační měrné náklady na provádění rekultivačních a sanačních prací (2007– 2009)

Rekultivační varianta	Náklady
Zemědělská rekultivace	1.100 000 – 1.200 000 Kč/ha
Lesnická rekultivace	1.600 000 – 1.700 000 Kč/ha
Vodohosp. rekultivace (malé nádrže)	5.000 000 – 5.500 000 Kč/ha
Vodohosp. rekultivace (zbytkové jámy, jezera)	
Terénní úpravy v prostoru budoucího jezera	500 000 – 600 000 Kč/ha
Těsnění sloje proti záparům a ohňům	200 000 – 300 000 Kč/ha
Opevnění břehové linie (hydroosev, geotextilie)	12 000 – 15 000 Kč/bm
Opevnění břehové linie (rozražeč vln, kamenný pohoz, technologická komunikace)	27 000 – 30 000 Kč/bm
Opevnění břehové linie zalesněním (rekreační účely)	27 000 – 30 000 Kč/bm
Napouštěcí objekty	
Přikopy se šířkou dna 1 m	4 500 – 5 000 Kč/bm
Přikopy se šířkou dna 0,5 m	3 500 – 4 000 Kč/bm
Kamenné skluzy ev. další přelivové a rozdělovací objekty dle specifických podmínek	15 500 – 17 000 Kč/bm
Ostatní rekultivace	1 100 000 – 1 200 000 Kč/ha

Zdroj: Kovář et al., 2010

Tabulka 2-21. Kritérium ekonomického hodnocení

Náklady na pořízení	Převládající rekultivace	Klasifikace - body
Vysoké	vodohospodářská	0
Střední	lesnická, zemědělská, ostatní	2
Nízké	řízená sukcese	4

2.8 Kritéria sociální

Sociální kritéria (co měřit) a jejich indikátory (v čem měřit) jsou často obtížně uchopitelné povahy, protože jsou nehmotného charakteru. To znesnadňuje jejich exaktní měření. Přesto je možné uvažovat o určitých kritériích, která jsou sociální povahy (tj. jsou vázány na činnosti lidí, na vztahy mezi lidmi, na instituce vznikající při činnostech lidí a na motivy lidského jednání), jsou měřitelná a jsou spojena s rekultivačními a sanačními pracemi.

Index atraktivity sídla

Index atraktivity sídla vyjadřuje, nakolik je sídlo atraktivní z hlediska migrace. Na atraktivitě sídla se podílí řada faktorů a mezi nimi se jedná i o faktory spojené s životním prostředím.

$$A_s = \frac{I - E}{I + E} \quad \text{na 1000 obyvatel} \quad (7)$$

kde A_s je index atraktivity sídla, I počet přistěhovalých určité období, E počet vystěhovalých za určité období, $(I - E)$ je migrační saldo a $(I + E)$ hrubá migrace.

Výsledný podíl je potřebné přepočítat na jednotnou velikost sídla – v tomto případě 1000 obyvatel.

U indexu atraktivity sídla lze uvažovat, že v případě, kde je jasné, že v sídle a okolí nedocházelo k významným změnám, které by ovlivňovaly možnosti fungování sídla (např. uzavření podniku, otevření nějakého podniku), avšak proběhla rekultivace, potom se rekultivace může určitým způsobem podílet na ovlivňování sídel (je-li například nabídka pracovních míst, která přitahuje nové obyvatele, vázána na provedené rekultivace, bude zde patrný sociální vliv této činnosti). Čím vyšších hodnot v přepočtu na 1000 obyvatel index atraktivity sídla nabývá, tím je sídlo atraktivnější. V případě měření indexu atraktivity sídla je

potřebné zaznamenat všechny možné faktory, které migraci mohly ovlivnit, a metodou skupinových rozhovorů (tzv. focus group) s představiteli sídla z nich identifikovat klíčové faktory, které migraci ovlivňovaly, aby byla patrná i síla sociálních dopadů rekultivace.

Hodnocení: slovně – přírůstek či stejný stav = 3 body, jinak 0 bodů.

Pracovní místa

Znamená-li rekultivovaná krajina udržení nebo nárůst nabídky pracovních míst v lokalitě (i při využití rekvalifikace na jiné profese), představuje rekultivovaná krajina pozitivní sociální dopad. Nemusí se jednat pouze o pracovní místa spojená se samotnou rekultivací, ale také o místa spojená s následnými činnostmi v rekultivované krajině (např. se službami pro volnočasové aktivity). Kritérium je tedy, zda daná rekultivace přináší nová pracovní místa či nikoliv, hodnocení: slovně – ano = 2 body, ne = 0 bodů.

2.9 Kritéria zdravotní a hygienická

Porovnání podmínek před rekultivací a po ní

Toto kritérium porovnává širokou škálu podmínek. Porovnání podmínek je časově rozděleno do třech kategorií, které postihují vývoj daného území, a to: před rekultivací, těsně po provedení rekultivace a samozřejmě s delším časovým odstupem po provedení rekultivace. Pro poslední variantu byl zvolen časový interval 10 let po provedení rekultivace, kdy je již sukcesní vývoj dané plochy dostatečně zralý.

Jako pomocný nástroj můžeme brát v potaz odraz provedení rekultivace v literatuře (např. počet citací) i v jiných informačních zdrojích (médiá a pozitivní/negativní ohlasy veřejnosti).

Tabulka 2-22. Klasifikace podmínek před rekultivací a po ní

Časové porovnání podmínek	Klasifikace – body	
	Převažující ohlasy	
	pozitivní	negativní
těsně po rekultivaci	2	0
10 let po rekultivaci	2	0

Splnění podmínek pro koupání, sport a rekreaci

Vyjadřuje jestli rekultivovaná krajina nabízí prostředí k využití volného času. Volný čas je významným sociálním jevem a rekultivovaná krajina zde představuje veřejný statek, který je nabízen lidem trávícím volný čas. Čím více je rekultivovaná krajina využívána k aktivitám volného času, tím vyšší jsou pozitivní sociální dopady rekultivace a tím více funguje rekultivovaná krajina jako veřejný statek.

Výpočet: Počet nabízených volnočasových aktivit v rekultivované lokalitě a počet zákazníků, kteří je využívají (za určité časové období). Dochází-li v určitém časovém hledisku k nárůstu, je patrný pozitivní sociální dopad. Rekultivovaná krajina plní funkci veřejného statku a má výrazné sociální dopady z hlediska volnočasových aktivit, typických pro post-industriální společnost (hovoří se o tzv. consumption countryside).

Problematické je ovšem splnění podmínek pro koupání, kdy je nutno respektovat určitá legislativní opatření, jež určují hygienické požadavky na venkovní koupaliště, stanovují hygienické limity ukazatelů jakosti vody a ustanovují požadavky na kontrolu vody (např. Vyhláška 135/2004 Sb. ze dne 17.3. 2004).

Splnění podmínek pro koupání, sport a rekreaci, hodnocení: slovně - ano = 2 body, ne = 0 bodů.

2.10 Aplikace unikriteriálního hodnocení (příklad Radovesické výsyvky)

Pro předběžné hodnocení rekultivace výsyvek je možno použít unikriteriální metody, která však neobsahuje optimalizaci mezikriteriálních vazeb a může být i více zatížena subjektivismem. Příklad hodnocení Radovesické výsyvky uvádí Tab. 2-23.

Tab. 2-23. Bodové ohodnocení Radovesické výsyvky

Použité kritérium	Klasifikace-body
Dešťový faktor (Lang) f	1,5
Průměrná roční srážka P	0,25
Průměrný roční výpar E	0,25
Hodnocení přímého odtoku (CN křivka)	1,0
Poměr vodních ploch Kvp	3,0
Odolnost proti vodní erozi (erodibilita)	2,0
Zařazení protierozních úprav do hydrologických skupin	2,0
Antropozemě k zemědělským účelům	4,5
Antropozemě k lesnickým účelům	5,0
Orná půda	1,0
Trvalé travní porosty	2,0
Vodní plochy, toky	2,0
Lesy	3,0
Změna krajiny v historickém vývoji	2,0
Citlivost krajiny	2,0
Zásah do krajiny	1,0
Plochy ekosystému	2,0
Ekosystémové hospodaření	3,0
Ekonomické hodnocení	2,0
CELKEM	39,5

Poznámka: Hodnocení dle sociálních kritérií je zatím předčasné.

Unikriteriální hodnocení Radovesické výsyvky vychází **pozitivně** vzhledem k tomu, že tato výsyvka je svým rozsahem poměrně diverzifikovaná, co se týče kombinace variant a různého hospodářského využití pozemků, včetně lokalit řízené sukcese. Nicméně dále popsaná navržená **metoda multikriteriálního hodnocení** má své nesporné přednosti vzhledem k objektivnímu postupu automatické optimalizace.

3. Praktické použití multikriteriální analýzy pro posuzování vhodnosti rekultivačních postupů (Případová studie Radovesické výsyvky)

Použití multikriteriální analýzy je vhodné všude tam, kde se nabízejí různé rekultivační postupy na zájmové lokalitě. V dalším textu je zpracován numerický experiment, ve kterém jsou v hodnotícím procesu vzájemně posuzovány odlišné způsoby rekultivace – návrhové varianty.

Tyto jednotlivé návrhové varianty byly uvažovány v zájmové lokalitě Radovesické výsyvky a byly posuzovány podle vybraných relevantních kritérií v souladu s principy multikriteriální analýzy (Miles (1967), Kovář, Štibinger, 2007)

Jedná se zde o otevřený dynamický systém, který může být v průběhu rozhodovacího procesu upravován a kalibrován tak, aby na základě výsledků citlivostní analýzy uvažoval nejen veškeré významné charakteristiky, ovlivňující proces hodnocení, ale také aby odstranil v maximální možné míře všechny subjektivní vlivy.

Podrobný popis rekultivačních postupů na Radovesické výsypce s důrazem na ochranu vodního režimu a životního prostředí je podrobně uveden v (Kovář, et al., 2010): Optimalizace rekultivačních a sanačních postupů pro těžbou devastované krajinné celky s důrazem na ochranu vod, Projekt MZe NAZV QH92091. Pro vzájemné posouzení vhodnosti způsobů rekultivace byly vybrány následující varianty:

3.1 Popis a definice navrhovaných variant a hodnocených způsobů rekultivace

3.1.1 Varianta Va – lesnická rekultivace nepřímá, s mokřady a menším počtem vodních ploch

Při lesnické rekultivaci nepřímé dochází k překryvu s částečným promísením technicky upraveného povrchu výsypky horninami nebo dalšími zúrodnitelnými zeminami lepších zrnitostí nebo jiných vlastností. Pro tyto účely se nejčastěji využívají slítné horniny vytěžené v předpolí zasypaného prostoru výsypky a selektivně skrývané sprašové hlíny.

Velmi často dochází i k vytváření kombinovaných půdních profilů, kdy povrch výsypky upravený předchozími technologiemi je za účelem zvýšení protierozní odolnosti dále převrstven skrývkou humusového horizontu (ornicí) o celkové mocnosti 0,1 m.

Protierozně vyhovuje takto upravené území výsypky pro sklony svahu až 16 % a účelově ho dále doplňuje soustava odvodňovacích zařízení (průlehů, příkopů) a v místech terénních depresí i malé vodní nádrže (rybníky).

Celková plocha stojaté i tekoucí vody nepřesahuje 10 % z celkové rozlohy rekultivovaného území.

3.1.2 Varianta Vb – lesnická rekultivace nepřímá, se systémem retenčních nádrží

Rekultivační postupy a úpravy jsou založeny na stejných principech jako u varianty Va, celková plocha stojaté i tekoucí vody pak nepřesahuje 30 % z celkové rozlohy rekultivovaného území.

Ochranné retenční nádrže mají za úkol zadržovat velké množství vody, a tím chránit níže položené území před povodněmi a erozními účinky vody. Zřizují se hlavně v horních částech rekultivované plochy.

V zájmu jejich maximální účinnosti při zachycování splavenin je nutné, aby jejich záchytný prostor byl tak velký, aby zachytil objem vody odtékající z přívalového deště, popř. z jarního tání, s průměrnou dobou opakování alespoň 1 x za 50 let.

Zadržují-li nádrže velké průtoky poměrně čisté vody, plní funkci protipovodňovou, odstraňují-li z vody sedimentací splaveniny, mají též funkci záchytnou.

3.1.3 Varianta Vc – zemědělská rekultivace nepřímá (pole) s výskytem suché nádrže-poldru

Při zemědělské rekultivaci nepřímé (kultura pole) dochází nejčastěji k vytváření kombinovaných půdních profilů, kdy je technicky upravený povrch výsypky do sklonu 6 % převrstven slítnými horninami nebo sprašovou hlínou o mocnosti 0,2 – 0,3 m a dále upraven překryvem humusovým horizontem (ornicí) o celkové mocnosti více jak 0,3 m.

Na těchto antropozemích je dosahováno až 80 % produkce při pěstování běžných zemědělských plodin, v porovnání s původními půdami přirozenými. Takto upravené území dále doplňuje v terénní depresi zatravněná suchá nádrž-poldr, jehož plocha nepřesahuje 10 % z celkové rozlohy rekultivovaného území.

Poldry - suché nádrže, jejichž dno je možné obhospodařovat jako louku, se plní jen v době zvýšených odtoků a po pozvolném odtoku vody dochází k vysoušení nánosů a jejich prorůstání trvalými travními porosty.

Z tohoto typu nádrží není zpravidla ani nutné tak často odstraňovat nánosy. Negativní vliv nánosů vyplývající z uvolňování látek, v nich obsažených do vodního prostředí se neprojevuje tak nepříznivě jako u nádrží zatopených.

3.1.4 Varianta Vd – zemědělská rekultivace nepřímá (trvalý travní porost), s okrasnou zelení, s několika menšími vodními plochami, vodotečí a mokřady

Také při zemědělské rekultivaci nepřímé (kultura trvalý travní porost) dochází nejčastěji k vytváření kombinovaných půdních profilů, kdy je technicky upravený povrch výsypky o sklonu až 16 % převrstven slítnými horninami nebo sprašovou hlínou o celkové mocnosti 0,3 – 0,4 m a dále upraven překryvem humusovým horizontem (ornicí) o celkové mocnosti méně jak 0,3 m.

Takto upravené území dále doplňuje soustava odvodňovacích zařízení (průlehů, příkopů), účelová zeleň (stromořadí, remízky, větrolamy) a řízená sukcese (mokřady, rekultivačně upravené skupiny náletových dřevin), jehož plocha nepřesahuje 30 % z celkové rozlohy rekultivovaného území.

Za účelem stanovení optimální varianty – nejvhodnějšího způsobu rekultivace je provedeno testováním vlastností jednotlivých posuzovaných rekultivačních postupů, které byly navrženy ve čtyřech variantách.

Navržené varianty, tj. rekultivace lesnická s vodní plochou (Va), rekultivace lesnická se systémem retenčních nádrží (Vb), rekultivace zemědělská s vodní plochou (Vc) a konečně rekultivace zemědělská s kulturou trvalých travních porostů, s vodní plochou a mokřady (Vd) jsou z hlediska dosažitelného cíle rovnocenné a jsou přehledně uvedeny v tabulce 3-1.

Cílem ověřovacího procesu je vyhodnotit varianty – způsoby rekultivace z hlediska celospolečenského, s důrazem na ochranu vodního režimu a ekologické stability, pro zadaný soubor kritérií a s pomocí multikriteriální analýzy určit pořadí hodnocených variant.

Tabulka 3-1. Zadaný soubor hodnocených variant (scénářů) V_i

V_i	Označení varianty – způsobu rekultivace
V_A	rekultivace lesnická s menším počtem vodních ploch
V_B	rekultivace lesnická s retenčními nádržemi
V_C	rekultivace zemědělská s poldrem
V_D	rekultivace zemědělská s trvalými travními porosty a menším počtem vodních ploch

3.2 Metodický postup pro uplatnění multikriteriální analýzy

Pro multikriteriální posuzování variant byla vybrána relevantní kritéria v souladu s metodikou multikriteriální analýzy a s jejím teoretickým základem. Kritéria byla zařazena do čtyř kategorií v celkovém počtu devíti parametrů, viz tab. 3-2.

A – VODOHOSPODÁŘSKÁ A TECHNICKÁ KRITÉRIA

Označení a název kritéria: P1, A1 – Preference z hlediska protipovodňové ochrany po rekultivaci tělesa výsypky

Použité jednotky:

Míra spolehlivosti a bezpečnosti ve smyslu protipovodňové ochrany po rekultivaci tělesa výsypky (RJ)

Závislost transformace míry užitku:

Nepřímá

Označení a název kritéria: P2, A2 – Preference z hlediska zachycování vnějších vod, účinnost ochranného prostoru po rekultivaci tělesa výsypky

Použité jednotky:

Velikost vodních ploch po rekultivaci tělesa výsypky (% z celkové plochy rekultivace)

Závislost transformace míry užitku:

Přímá

Označení a název kritéria: P3, A3 – Spolehlivost a bezpečnost z hlediska stability tělesa výsypky po rekultivaci

Použité jednotky:

Nejvyšší dosažený sklon na povrchu tělesa po rekultivaci tělesa výsypky (%)

Závislost transformace míry užitku:

Nepřímá

B – EKOLOGICKÁ A PEDOLOGICKÁ KRITÉRIA

Označení a název kritéria: P4, B1 – Vliv na půdu a horninové prostředí po rekultivaci tělesa výsypky

Použité jednotky:

Míra ohroženosti půd před erozí po rekultivaci tělesa výsypky (RJ)

Závislost transformace míry užitku:

Nepřímá

Označení a název kritéria: P5, B2 – Dopady na biodiverzitu, vlivy na tvorbu ÚSES a ekologickou stabilitu po rekultivaci tělesa výsypky

Použité jednotky:

Míra vlivů na biodiverzitu, tvorbu ÚSES a ekologickou stabilitu po rekultivaci tělesa výsypky (RJ)

Závislost transformace míry užitku:

Nepřímá

C – EKONOMICKÁ KRITÉRIA

Označení a název kritéria: P6, C1 – Celkové náklady na realizaci rekultivace tělesa výsypky

Použité jednotky:

Jednorázové (investiční) náklady na realizaci rekultivace tělesa výsypky (mil. Kč/ha)

Závislost transformace míry užitku:

Nepřímá

Označení a název kritéria: P7, C2 – Hospodářské (předpokládané) výnosy po realizaci rekultivace tělesa výsypky

Použité jednotky:

Uvažované (předpokládané) zisky po realizaci rekultivace tělesa výsypky (Kč/ha/rok)

Závislost transformace míry užitku:

Přímá

D – SOCIÁLNÍ KRITÉRIA

Označení a název kritéria: P8, D1 – Estetická úroveň rekultivace tělesa výsypky, úroveň architektonického začlenění do krajiny

Použité jednotky:

Míra harmonie rekultivovaného tělesa výsypky s okolím (RJ)

Závislost transformace míry užitku:

Nepřímá

Označení a název kritéria: P9, D2 – Preference záměru z hlediska osídlování (migrace) obyvatel po rekultivaci tělesa výsypky

Použité jednotky:

Index atraktivity zájmové lokality (pro 1000 obyvatel) po rekultivaci tělesa výsypky (-)

Závislost transformace míry užitku:

Přímá

Tabulka 3-2. Soubor vybraných kritérií pro ověřovací projekt

P_i	kritéria / parametry	
A – vodohospodářská a technická kritéria		
P_1	A-1. Preference z hlediska protipovodňové ochrany po rekultivaci tělesa výsypky	Míra spolehlivosti a bezpečnosti ve smyslu protipovodňové ochrany po rekultivaci tělesa výsypky (RJ)
P_2	A-2. Preference z hlediska zachycování vnějších vod, účinnost ochranného prostoru po rekultivaci tělesa výsypky	Velikost vodních ploch po rekultivaci tělesa výsypky (% z celkové plochy rekultivace)
P_3	A-3. A3 – Spolehlivost a bezpečnost z hlediska stability tělesa výsypky po rekultivaci	Nejvyšší dosažený sklon na povrchu tělesa po rekultivaci tělesa výsypky (%)
B – ekologická a pedologická kritéria		
P_4	B-1. Vliv na půdu a horninové prostředí po rekultivaci tělesa výsypky	Míra ohroženosti půd před erozí po rekultivaci tělesa výsypky (RJ)
P_5	B-2. Dopady na biodiverzitu, vlivy na tvorbu ÚSESů a ekologickou stabilitu po rekultivaci tělesa výsypky	Míra vlivů na biodiverzitu, tvorbu ÚSESů a ekologickou stabilitu po rekultivaci tělesa výsypky (RJ)
C – ekonomická kritéria		
P_6	C-1. Celkové náklady na realizaci rekultivace tělesa výsypky	Jednorázové (investiční) náklady na realizaci rekultivace tělesa výsypky (mil. Kč/ha)
P_7	C-2. Hospodářské (předpokládané) výnosy po realizaci rekultivace tělesa výsypky	Uvažované (předpokládané) zisky po realizaci rekultivace tělesa výsypky (mil. Kč/ha/rok)
D – sociální kritéria		
P_8	D-1. Estetická úroveň rekultivace tělesa výsypky, úroveň architektonického začlenění do krajiny	Míra harmonie rekultivovaného tělesa výsypky s okolím (RJ)
P_9	D-2. Preference záměru z hlediska osídlování (migrace) obyvatel po rekultivaci tělesa výsypky obyvatel	Index atraktivity zájmové lokality (pro 1000 obyvatel) po rekultivaci tělesa výsypky (-)

Kvantifikace podle kritérií P1, P4, P5 a P8 bylo provedeno pomocí relativních jednotek (RJ) formalizovaného, pěti-stupňového verbálně numerického hodnocení (verbálně numerická stupnice), hodnocení je uvedeno v tab.3- 3.

Tabulka 3-3. Formalizovaná pěti-stupňová verbálně numerická stupnice pro hodnocení rekultivačních postupů (variant) se zaměřením na ochranu vodního režimu, životního prostředí a ekologické stability

<p>Poznámky:</p> <p>➔ Jde o nepřímou závislost ve prospěch ochrany vodních zdrojů, bezpečnosti, kvality ŽP, biodiverzity, ekologické stability podle zásady „čím vyšší – tím horší!“</p> <p>➔ Dvě i více variant mohou obdržet stejný počet bodů.</p>
POČET BODŮ: 1
<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomický dopad záměru (rekultivace) je akceptovatelný • Zmaření vynaložených finančních prostředků na rekultivaci je nulové • Spolehlivost a bezpečnost rekultivace je plně zaručena • Míra účinnosti protierozní ochrany půdy je po rekultivaci maximálně možná • Míra účinnosti protipovodňové ochrany je po rekultivaci maximálně možná • Soulad rekultivace (stavby) s dokumenty územního plánování je plně zaručen • Míra negativního vlivu je v důsledku realizace rekultivačních postupů nulová - žádná • Míra ohrožení je důsledku realizace rekultivačních postupů nulová – žádná • Míra narušení pohody obyvatelstva je v důsledku realizace rekultivačních postupů nulová – žádná • Míra dopadu na kulturní a duchovní hodnoty je v důsledku realizace rekultivačních postupů nulová – žádná • Míra nejistoty, neurčitosti a nejasnosti rekultivace je zanedbatelná (nejpříznivější) • Jakost, technické a estetické řešení rekultivace je výjimečně nadprůměrné – progresivní • Estetická úroveň návrhu a architektonické začlenění do krajiny jsou po rekultivaci vynikající • Dopady na biodiverzitu, vlivy na tvorbu ÚSESů a ekologickou stabilitu krajiny jsou po rekultivaci mimořádně příznivé • Výskyt škodliviny, míra narušení, kontaminace, zátěž a impakt je v důsledku realizace rekultivačních postupů téměř nulový – žádný • Bilanční stav nároků na vstupy je nejpríznivější • Míra zaměstnanosti je maximální • Riziko realizace rekultivačního postupu je téměř nulové – žádné
POČET BODŮ: 2
<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomický dopad záměru (rekultivace) je málo významný • Zmaření vynaložených finančních prostředků na rekultivaci je málo významné • Spolehlivost a bezpečnost rekultivace je velmi dobrá • Míra účinnosti protierozní ochrany půdy je po rekultivaci velmi dobrá • Míra účinnosti protipovodňové ochrany je po rekultivaci velmi dobrá • Soulad rekultivace (stavby) s dokumenty územního plánování je velmi dobrý • Míra negativního vlivu je v důsledku realizace rekultivačních postupů málo významná • Míra ohrožení v důsledku realizace rekultivačních postupů je málo významná • Míra narušení pohody obyvatelstva je v důsledku realizace rekultivačních postupů málo významná • Míra dopadu na kulturní a duchovní hodnoty je v důsledku realizace rekultivačních postupů málo významná • Míra nejistoty, neurčitosti a nejasnosti rekultivace je přijatelná • Jakost, technické a estetické řešení rekultivace je velmi dobré • Estetická úroveň návrhu a architektonické začlenění do krajiny jsou po rekultivaci velmi dobré

- Dopady na biodiverzitu, vlivy na tvorbu ÚSESů a ekologickou stabilitu krajiny jsou po rekultivaci velmi dobré
- Výskyt škodliviny, míra narušení, kontaminace, zátěž a impakt je v důsledku realizace rekultivačních postupů slabý – neškodný
- Bilanční stav nároků na vstupy je příznivý
- Míra zaměstnanosti je nadprůměrná
- Riziko realizace rekultivačního postupu je málo významné

POČET BODŮ: 3

- Ekonomický dopad záměru (rekultivace) zasluhuje pozornost
- Spolehlivost a bezpečnost rekultivace je uspokojivá
- Míra účinnosti protierozní ochrany půdy je po rekultivaci dobrá
- Míra účinnosti protipovodňové ochrany je po rekultivaci dobrá
- Soulad rekultivace (stavby) s dokumenty územního plánování je uspokojivý
- Míra negativního vlivu je v důsledku realizace rekultivačních postupů průměrná
- Míra ohrožení v důsledku realizace rekultivačních postupů je průměrná
- Míra narušení pohody obyvatelstva v důsledku realizace rekultivačních postupů je průměrná
- Míra dopadu na kulturní a duchovní hodnoty je v důsledku realizace rekultivačních postupů průměrná
- Míra nejistoty, neurčitosti a nejasnosti rekultivace je uspokojivá (vyhovující, průměrná)
- Jakost, technické a estetické řešení rekultivace je průměrné
- Estetická úroveň návrhu a architektonické začlenění do krajiny jsou po rekultivaci uspokojivé
- Dopady na biodiverzitu, vlivy na tvorbu ÚSESů a ekologickou stabilitu krajiny jsou po rekultivaci příznivé
- Výskyt škodliviny, míra narušení, kontaminace, zátěž a impakt je v důsledku realizace rekultivačních postupů průměrný - na hranici přípustného limitu
- Bilanční stav nároků na vstupy je vyrovnaný – průměrný
- Míra zaměstnanosti je průměrná
- Riziko realizace rekultivačního postupu je průměrné

POČET BODŮ: 4

- Ekonomický dopad záměru (rekultivace) je významný a je na hranici přijatelnosti
- Spolehlivost a bezpečnost rekultivace je přijatelná
- Míra účinnosti protierozní ochrany půdy je po rekultivaci přijatelná
- Míra účinnosti protipovodňové ochrany je po rekultivaci přijatelná
- Soulad stavby (rekultivace) s dokumenty územního plánování je podmíněně možný
- Míra negativního vlivu v důsledku realizace rekultivačních postupů je přijatelná
- Míra ohrožení v důsledku realizace rekultivačních postupů je přijatelná
- Míra narušení pohody obyvatelstva je přijatelná
- Míra dopadu na kulturní a duchovní hodnoty v důsledku realizace rekultivačních postupů je přijatelná
- Míra nejistoty, neurčitosti a nejasnosti rekultivace je velká
- Zabezpečenost dodávky vody je v důsledku realizace rekultivačních postupů nízká - přijatelná - podmíněně možná
- Jakost, technické a estetické řešení rekultivace je podprůměrné
- Estetická úroveň návrhu a architektonické začlenění do krajiny jsou po rekultivaci přijatelné
- Negativní dopady na biodiverzitu, negativní vlivy na tvorbu ÚSESů a ekologickou stabilitu krajiny jsou po rekultivaci přijatelné
- Výskyt škodliviny, míra narušení, kontaminace, zátěž a impakt je v důsledku realizace

<p>rekultivačních postupů silný - časově nepravidelný, dočasný</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bilanční stav nároků na vstupy je napjatý • Míra zaměstnanosti je podprůměrná • Riziko realizace rekultivačního postupu je přijatelné
POČET BODŮ: 5
<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomický dopad záměru (rekultivace) je nepřijatelný • Spolehlivost (např. seismická odolnost) a bezpečnost rekultivace je nepřijatelná • Míra účinnosti protierozní ochrany půdy je po rekultivaci nepřijatelná • Míra účinnosti protipovodňové ochrany je po rekultivaci nepřijatelná • Soulad stavby (rekultivace) s dokumenty územního plánování je v přímém rozporu - nepřijatelný • Míra negativního vlivu v důsledku realizace rekultivačních postupů je velká - nepřijatelná • Míra ohrožení v důsledku realizace rekultivačních postupů je nepřijatelná • Míra narušení pohody v důsledku realizace rekultivačních postupů obyvatelstva je nepřijatelná • Míra dopadu na kulturní a duchovní hodnoty důsledku realizace rekultivačních postupů je nepřijatelná • Míra nejistoty, neurčitosti a nejasnosti rekultivace je výjimečně velká • Jakost, technické a estetické řešení rekultivace je neuspokojivé - neúplné - nevyhovující – nepřijatelné • Estetická úroveň návrhu a architektonické začlenění do krajiny je po rekultivaci nevhodné • Negativní dopady na biodiverzitu, negativní vlivy na tvorbu ÚSESů a ekologickou stabilitu krajiny jsou po rekultivaci nepřijatelné • Výskyt škodliviny, míra narušení, kontaminace, zátěž a impakt v důsledku realizace rekultivačních postupů je silný - časově pravidelný, periodicky se opakující • Bilanční stav nároků na vstupy je výjimečně napjatý • Míra zaměstnanosti je nejmenší • Riziko realizace rekultivačního postupu je nepřijatelné

Parametry P, které jsou uvedeny v maticové databázi Tab. 3-4, tvoří výsledky hodnocení jednotlivých variant Va, Vb, Vc a Vd pomocí souboru kritérií ($P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9$).

Podklady pro odhady těchto parametrů P byly získány podrobnou analýzou a rozborem řady materiálů souvisejících s problematikou a technologií rekultivace Radovesické výsypky během téměř tří let řešení projektu. Především v oblasti pedologie a hydrologie bylo čerpáno z prací Čermáka, Dimitrovského, Svobody, Kašpárka, Pöpperla, Kováře, Janečka aj. (Čermák, Kohel, 2003), (Svoboda, Horáček, 1994), (Pöpperl, et al. 2008), (Kašpárek, 2001,a,b), (Kovář et al., 2006, 2010), (Janeček, 2002). V oblasti ekologie a řízení sukcese pak z prací Pracha a Řehoře (Prach, 2010, Řehoř 2006).

Ze starších prací jsme čerpali z prací Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM (Guttwaldová, Růžička, 1994) a Hydroprojektu (Chour et al., 1998) a (Benešová, Chour, 2001).

Zvláštní důraz byl kladen na požadavek, aby „kvalita“ vyhodnocených dat byla pokud možno stejná pro všechny varianty, přestože by bylo možné údaje některých variant stanovit a odhadovat s větší přesností.

Tabulka 3-4. Maticová databáze vstupních údajů (parametrů P) pro posuzované varianty V_i

P _i	Va	Vb	Vc	Vd	rozměr
P ₁ ↘	1,5	1,0	2,0	3,0	[RJ]
P ₂ ↗	8,5	18,2	6,3	8,8	[%]
P ₃ ↘	17,1	14,8	4,8	16,2	[%]
P ₄ ↘	2,0	1,5	1,0	2,5	[RJ]
P ₅ ↘	2,0	2,0	3,5	1,0	[RJ]
P ₆ ↘	1,75	2,10	1,35	1,20	[mil. Kč/ha]
P ₇ ↗	1500	1500	5200	2000	[Kč/ha/rok]
P ₈ ↘	1,5	1,5	3,0	1,0	[RJ]
P ₉ ↗	0,176	0,200	0,142	0,052	[-]

Poznámky:

Symbol ↗ značí přímou závislost transformace míry užítku.

Symbol ↘ značí nepřímou závislost transformace míry užítku.

Pro kritérium P₂ „Množství zachycené vody“ platí zásada „čím vyšší → tím lepší!“ tj. čím bude větší množství zachycených povrchových vod, tím bude navrhovaná varianta z tohoto úhlu pohledu prospěšnější.

Jedná se tedy v tomto případě o přímou závislost transformace míry užítku.

Naproti tomu např. pro kritérium P₆ „Investiční náklady (cena) realizace rekultivace tělesa výsypky“ nemůže platit zásada „čím vyšší → tím lepší!“ Naopak, čím vyšší bude cena výstavby navrhované varianty, tím bude tato varianta méně výhodná. V tomto případě se tedy jedná o nepřímou závislost transformace míry užítku.

3.2.1 Stanovení pořadí hodnocených variant způsobu rekultivace pro nevážený a vážený výstup

Stručná charakteristika zadaného souboru variant je uvedena v tab. 3-1 a aktuální soubor kritérií je uveden v tab. 3-2. Kvantifikované hodnoty jednotlivých kritérií pro posuzované varianty jsou uvedeny ve formátu maticové tabulky vstupních údajů v tab.3-4.

Vlastní řešení multikriteriální analýzy je provedeno metodou postupných kroků s pomocí aplikace definovaného teoretického základu.

V souladu s popsányými postupnými kroky řešení představují tab. 3-1 a tab. 3- 2 stěžejní výstup. Jako první krok řešení pro množinu V_i a parametry P_j byla vytvořena verbálně numerická kvantifikace parametrů (tab. 3-3).

V rámci druhého kroku byly ze vstupních dat generovány transformační funkce užítku $U = f([P, P_k, P_p]^k)$, pro které byl použit mocninný vztah a to pro přímou i nepřímou závislost transformace.

Při určování hodnot $U = f([P, P_k, P_p]^k)$ bylo použito následujících výrazů:

$$d = (P_{\max} - P_{\min}) / 10$$

kde P_{\min} je P minimální, P_{\max} je P maximální

$$P_p = P_{\min} - d$$

$$P_k = P_{\max} + d$$

kde P_p resp. P_k je P počáteční resp. P koncové.

Pro stanovení hodnot funkce užítku $U(-)$ platí vztah

$$U = \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (7)$$

pro přímou závislost transformace míry užítku. Pro nepřímou závislost transformace míry užítku platí výraz:

$$U = 1 - \left[\frac{P - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (8)$$

Ve výrazech (7) a (8) je neznámou exponent (mocninný parametr) k (-), který se určí tímto způsobem.

Minimální hodnota ukazatele U je 0, maximální pak 1, tedy průměr by měl odpovídat $U_{\text{prům.}} = (0 + 1) / 2 = 0,5$. Této hodnotě pak bude odpovídat průměr parametrů P příslušného kritéria jednotlivých variant $V(i)$, označený P_a . Platí tedy:

$$0,5 = \left[\frac{P_a - P_p}{P_k - P_p} \right]^k \quad (9)$$

Ze vztahu (3) lze stanovit hodnotu exponentu k (-) pomocí rovnice

$$k = \ln 0,5 / \ln \left[\frac{P_a - P_p}{P_k - P_p} \right] \quad (10)$$

Tento postup platí pro přímou (rovnice (7)) i pro nepřímou (rovnice (8)) závislost transformace míry užítka.

Hodnoty parametrů (P_{\min} , P_{\max} , d , P_p , P_k , P_a , k) pro posuzované varianty Va, Vb, Vc a Vd a pro použitý soubor kritérií (P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 , P_6 , P_7 , P_8 , P_9) jsou přehledně uvedeny v tab. 3-5.

Tabulka 3-5. Hodnoty parametrů transformačních funkcí

Kritéria	Parametry transformačních funkcí						
	P_{\min}	P_{\max}	d	P_p	P_k	P_a	k
P1 – protipovodňová ochrana	1	3	0,2	0,8	3,2	1,875	0,863
P2 - vodní plochy	6,3	18,2	1,19	5,11	19,39	10,49	0,704
P3 - stabilita výsypky	4,8	17,1	1,23	3,57	18,33	13,22	1,633
P4 – ochrana před erozí	1	2,5	0,15	0,85	2,65	1,75	1
P5 – biodiverzita	1	3,5	0,25	0,75	3,75	2,12	0,888
P6 – náklady na rekultivaci	1,2	2,1	0,09	1,11	2,19	1,6	0,877
P7 - výnosy z rekultivace	1500	5200	370	1130	5570	2550	0,607
P8 - začlenění do krajiny	1	3	0,2	0,8	3,2	1,75	0,748
P9 – migrace obyvatel	0,052	0,2	0,0148	0,0372	0,2148	0,1425	1,326

Výsledkem druhého kroku řešení je tabulka transformovaných hodnot dílčí funkce užítka U_j (tab. 3-6) pro soubor variant $V(i)$ kde U_s představuje součet hodnot dílčích funkcí užítka U_j pro příslušnou variantu $V(i)$.

Tabulka 3-6. Dílčí funkce užitku U_j pro varianty V_i hodnocené souborem kritérií se stejným významem (nevážený výstup)

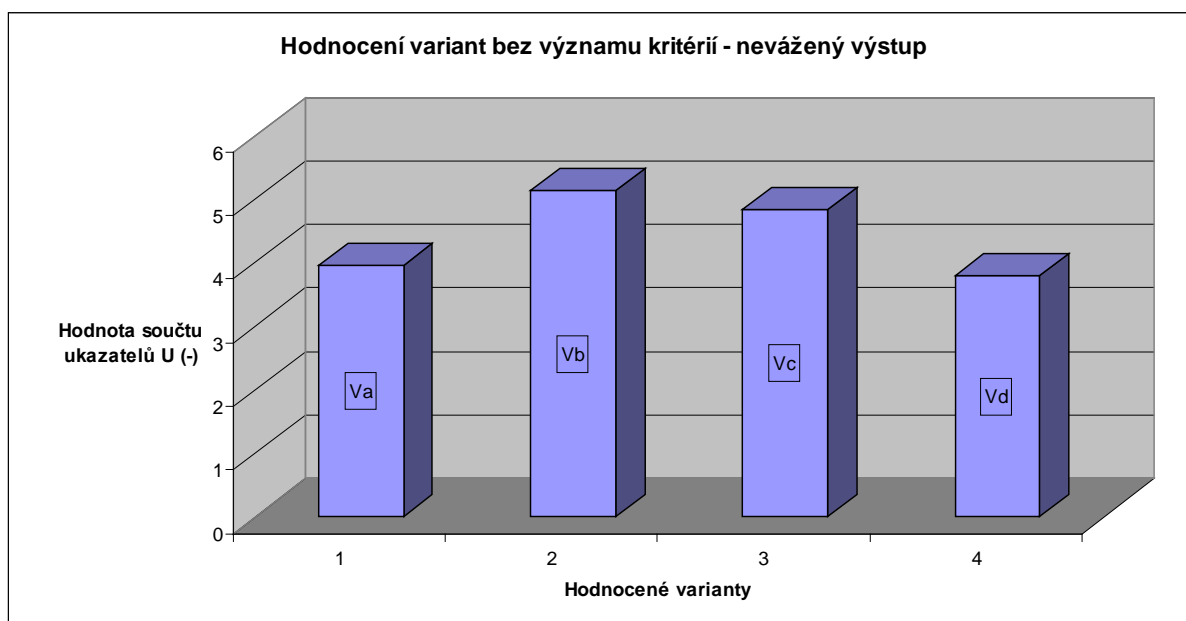
Hodnoty vektorů $U_j = f_j(P_j)$ pro nevážený výstup				
Kritérium	VARIANTA $V(i)$			
	Va	Vb	Vc	Vd
j				
P1	0,645	0,882	0,450	0,072
P2	0,363	0,940	0,173	0,385
P3	0,132	0,360	0,982	0,224
P4	0,361	0,638	0,916	0,083
P5	0,540	0,540	0,074	0,890
P6	0,368	0,073	0,732	0,886
P7	0,220	0,220	0,948	0,371
P8	0,602	0,602	0,063	0,844
P9	0,721	0,891	0,496	0,037
U_s	3,952	5,146	4,834	3,792
Pořadí	3.	1.	2.	4.

Na 1. místě je varianta Vb lesnická rekultivace se systémem retenčních nádrží, 2. místo v pořadí náleží variantě Vb tedy rekultivaci zemědělské, 3. místo variantě Va, což je rekultivace lesnická a 4., poslední místo zaujímá varianta Vd, představující rekultivaci zemědělskou s trvalými travními porosty.

Zdá se, že jsou patrné, zřetelné rozdíly mezi „první skupinou“ (tvořenou variantami Vb, Vc) a „druhou skupinou“ (tvořenou variantami Va, Vb).

V první skupině jsou varianty – rekultivační postupy s protipovodňovou ochranou, s „rain-harvestingem“, s opatřením pro zachycování vody a hospodaření s vodou (nádrže – Vb a poldr – Vc), se zařízením pro šetření vody. Ve druhé skupině tato opatření nejsou.

Z hodnocení podle kritérií se stejným významem vyplývá, že jsou upřednostňovány rekultivace s opatřeními pro zachycování vody (zmírňování hydrologických extrémů, záplav, sucha) přitom je vhodnější (užší specifikace) rekultivace lesnická než zemědělská.



Obr. 3-1: Pořadí hodnocení variant souborem kritérií se stejným významem (nevážený výstup)

Další postup spočíval ve stanovení hodnoty kvantitativního multiplikátoru w_j pro každý parametr P_j . Váha kritérií byla stanovena přímo pomocí souhrnného párového hodnocení zjištěním počtu získaných předností a následně výpočtem w_j .

Podrobně je tento postup popsán v pracovním schématu (viz teoretické podklady pro použití multikritériální analýzy) pro určení relativní důležitosti kritérií metodou párového porovnání.

Výsledkem třetího kroku řešení jsou normované hodnoty relativní důležitosti kritérií w_j pro soubor parametrů P_j viz první sloupec v pracovním schématu Fullerova trojúhelníku v tab. 3-7.

Tabulka 3-7. Diagram Fullerova trojúhelníka s hodnotami kvantitativních multiplikátorů w_j (-)

	počet preferencí, pořadí									
P1 - protipovodňová ochrana	1*	1*	1*	1*	1*	1*	1*	1*	1*	8, 1)
$w_1=8/36=0,222$	2	3	4	5	6	7	8	9		
P2 - vodní plochy		2	2*	2*	2	2*	2*	2*		5, 4)
$w_2=5/36=0,139$		3*	4	5	6*	7	8	9		
P3 – stabilita výsypky			3*	3*	3	3*	3*	3*		6, 3)
$w_3=6/36=0,166$			4	5	6*	7	8	9		
P4 – ochrana před erozí				4	4	4*	4*	4*		3, 6)
$w_4=3/36=0,083$				5*	6*	7	8	9		
P5 – biodiverzita					5	5*	5*	5*		4, 5)
$w_1=4/36=0,111$					6*	7	8	9		
P6 – náklady na rekultivaci						6*	6*	6		7, 2)
$w_6=7/36=0,194$						7	8	9		
P7 – výnosy z rekultivace							7	7*		1, 7-8-9)
$w_7=1/36=0,027$							8*	9		
P8 – začlenění do krajiny								8		1, 7-8-9)
$w_8=1/36=0,027$								9*		
P9 – migrace obyvatel										1, 7-8-9)
$w_9=1/36=0,027$										
počet preferencí celkem										36

* označení preference

Největší váha byla přisouzena těmto kritériím (resp. parametrům):

1. místo: P1 (protipovodňová ochrana, $w_1 = 0,222$)
2. místo: P6 (náklady na rekultivaci, $w_6 = 0,194$)
3. místo: P3 (stabilita výsypky, $w_3 = 0,166$)

Na posledním místě s hodnotou $w_7 = w_8 = w_9 = 0,027$ se shodně umístila kritéria P7 (výnosy z rekultivace), P8 (začlenění do krajiny) a P9 (migrace obyvatel).

Následně s využitím údajů $w_j^{(N)}$ a hodnot vektorů $U_j = f_j(P_j)$ pro nevážený výstup v Tab. 4 se pro každou posuzovanou variantu V_i definovala hodnota souhrnné funkce užítku U_i , tzn. podle algoritmu aditivního modelu transformační mocninné funkce se pomocí rovnice (9) vypočítala hodnota mnohazměrného parametru U_i . Podle zásady „čím vyšší \rightarrow tím lepší!“ bylo identifikováno pořadí priorit variant, tzn. hierarchizace v sestupném pořadí pro diferencovaný význam (váhy) kritérií (standardní řešení).

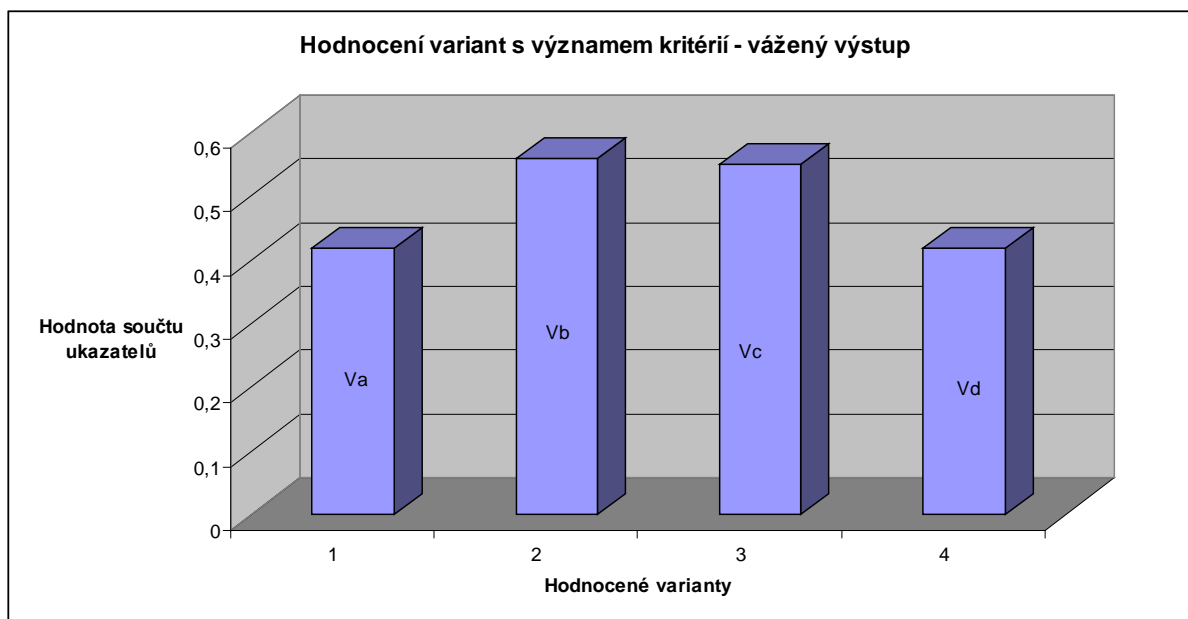
$V_b \rightarrow V_c \rightarrow V_d \rightarrow V_a$ (V_d a V_a se prakticky neliší)

Výsledkem čtvrtého kroku je *tabulka souhrnných hodnot funkce užítku U_i* pro všechny posuzované varianty V_i (viz tabulka 6 a obr.1) a výsledná hierarchizace. Jinými slovy, varianta V_b , představující lesnickou rekultivaci s vybudovaným systémem retenčních nádrží je upřednostněna před dalšími porovnávanými variantami rekultivace.

Závěrečný krok lze omezit na zjištění, že varianta V_b , tj. návrh lesnické rekultivace se systémem retenčních nádrží je upřednostněna před ostatními variantami (V_a , V_c a V_d) a to jak pro model rovnocenného významu kritérií (tab.3-4, obr.2), tak pro model diferencovaného významu kritérií (tab.3-8, obr.3-2).

Tabulka 3-8. Dílčí funkce užítku U_j pro soubor variant $V(i)$ hodnocený kritérii s rozdílným významem (w)

Hodnoty vektorů $U_j = f_j(P_j)$ pro vážený výstup				
Kritérium	VARIANTA $V(i)$			
J	V_a	V_b	V_c	V_d
P1	0,145	0,196	0,100	0,016
P2	0,050	0,130	0,024	0,053
P3	0,020	0,060	0,163	0,037
P4	0,030	0,053	0,076	0,007
P5	0,060	0,060	0,008	0,099
P6	0,071	0,014	0,142	0,172
P7	0,005	0,005	0,021	0,010
P8	0,016	0,016	0,002	0,023
P9	0,020	0,024	0,013	0,001
U_s	0,417	0,558	0,549	0,418
Pořadí	3.	1.	2.	4.



Obr.3-2. Hodnocené varianty V_i souborem kritérií s rozdílným významem (w) (vážený výstup).

4. Diskuse

V obou případech, jak pro nevážený výstup (bez rozdílu významu kritérií), tak i pro vážený výstup (s diferencovaným významem kritérií) bylo pořadí hodnocených variant stejné:

Vb – lesnická s retenčními nádržemi

Vc – zemědělská s poldrem

Je to zřetelně vidět z obrázků grafického zobrazení. Hypotéza by mohla znít že „budou první“ lesnické rekultivace a pak s odstupem zemědělské, ale to se v tomto případě nepotvrdilo.

Společné přínosy Vb a Vc

Protipovodňovou ochranu, rain-harvesting, opatření pro zachycování vody a hospodaření s vodou (nádrže – Vb a poldr – Vc), což bylo upřednostněno.

Skupina, kde jsou varianty – rekultivační postupy s protipovodňovou ochranu, s „rain-harvestingem“, s opatření pro zachycování vody a hospodaření s vodou (nádrže – Vb a poldr – Vc), a to pro lesnickou i zemědělskou rekultivaci, je vhodnější, protože je upřednostněna před rekultivacemi, kde tyto systémy nejsou.

Z hodnocení podle kritérií se stejným i rozdílným významem vyplývá, že jsou upřednostňovány rekultivace s opatřeními pro zachycování vody (zmírňování hydrologických extrémů, záplav, sucha). Přitom je vhodnější (viz EU Common Agricultural Policy) rekultivace lesnická než zemědělská.

Tak, jak vyplývá z použití multi-kritériální analýzy konkrétního případu, je prioritní určit cíl rekultivačních opatření pro zachycování vody (nádrže, poldry, zmírňování hydrologických extrémů, záplav, sucha) a potom následně upřesnit způsob rekultivace (lesnická - vhodnější či zemědělská - ve srovnání s lesnickou méně vhodná).

5. Sledování vertikálních posunů Radovesické výsypky

V rámci tohoto výzkumného projektu (NAZV Mze ČR č. QH 92091) bylo v půlročních intervalech prováděno geodetické měření vertikálních posunů na Radovesické výsypce (viz. Obr. 5-4).

Na výsypkách, které vznikly přesuny velkého množství zeminy při povrchové těžbě hnědého uhlí, při minimálním nebo žádném hutnění navezeného materiálu (viz Obr. 5-1), lze předpokládat, že bude docházet k jejich vertikálním posunům. S ohledem k možné budoucí výstavbě na rekultivované Radovesické výsypce je třeba zjistit, jak se z výškového hlediska chová terén Radovesické výsypky vzhledem ke stabilnímu okolí mimo výsypku.

Jednou z možností jak lze zjistit předpokládané poklesy terénu výsypky bylo vytvoření polygonového pořadu, který vycházel z pozorovacího bodu o známé a stabilní nadmořské výšce mimo výsypku. Dalšími body byly body pozorované na zmíněné výsypce. Polygonový pořad byl zakončen na pozorovacím bodě o známé a opět stabilní nadmořské výšce mimo výsypku. Pro pozorování vertikálních posunů výsypky slouží určování nadmořských výšek jednotlivých pozorovaných bodů zapojených do výškového polygonového pořadu v určených půlročních časových intervalech. Tím se získala souvislá řada pozorování, která jednoznačně prokázala velikost a časovou posloupnost vertikálních posunů.

Nultá etapa sledování vertikálních posunů na uvedené výsypce proběhla v srpnu a září 2010, kdy byla provedena stabilizace pozorovacích bodů a zaměření výškového polygonového pořadu. Bylo vytvořeno 23 pozorovaných bodů z toho 21 v prostoru výsypky. Vhodnou, finančně nenáročnou, **stabilizací pozorovaných bodů** byla silnostěnná železná trubka o min. 0,5 m délky, která byla zaražena do úrovně terénu, obetonována do hloubky 0,3 m směsí opraných kamenů a betonu a označena červenou reflexní barvou. Pro snadnější nalezení byl ve vzdálenosti 0,3 m od trubky zatlučen dřevěný kolík s číslem příslušného pozorovaného bodu, který byl shora též označen červenou reflexní barvou.

Pro zpřesnění stabilizace pozorovaných bodů z výškového hlediska byly na obetonované trubky a žulové mezníky při měření důsledně kladeny mince (10 Kč) (viz obr. 5-2). Mince (10 Kč) se osvědčily i při přesné centraci geodetické totální stanice.

Pozorovací body byly dva, mimo oblast výsypky. Jeden, 220, na jedné straně výsypky, druhý, 234, na straně opačné. Jednalo se o body stávajícího státního polohového bodového pole stabilizované žulovými mezníky, jejichž nadmořská výška byla určena s přesností na 10^{-2} m nivelační metodou v roce 2003 resp. 2008 KÚ Liberec. Tato uvedená nadmořská výška byla vlastním nivelačním měřením zpřesněna na 10^{-3} m od nejbližších státních výškových bodů a zároveň tím byla ověřena jejich dlouhodobá výšková stabilita. Vytvořený výškový polygonový pořad, o délce 7 780 m s převýšením 191 m, splnil požadované výškové kritérium $\Delta_h = 2 \cdot 10^{-5} \times \sqrt{r}$ [km], kde r je délka výškového pořadu.

Vlastní **zaměření polygonového pořadu**, který napříč výsypkou propojuje pozorovací bod mimo výsypku přes pozorované body na výsypce k pozorovacímu bodu opět mimo výsypku, bylo provedeno geodetickou totální stanicí japonské firmy TOPCON GTS 105N v. č. 6H1200. Vodorovné úhly byly změřeny metodou v řadách a skupinách. Pro zpřesnění měření byly použity dvě skupiny. Vodorovné délky a převýšení bylo nutno měřit v obou polohách dalekohledu vždy tam a zpět. Výsledkem byl aritmetický průměr z naměřených veličin. Při výpočtu polohových souřadnic y , x bodů polygonového pořadu bylo splněno kritérium pro hlavní polygonový pořad $\Delta_p = 0,011 \times \sqrt{\Sigma s} + 0,12$ [m], kde Σs je součet všech stran v polygonovém pořadu.

První etapa sledování vertikálních posunů na uvedené výsypce proběhla během dubna 2011. Při rekognoskaci první etapy sledování vertikálních posunů bylo zjištěno, že byl pozorovaný bod 706 zničen, proto byl v jeho blízkosti umístěn náhradní pozorovaný bod 706.1 stabilizovaný výše zmíněným způsobem.

Druhá etapa sledování vertikálních posunů na uvedené výsypce proběhla během října 2011. Při rekognoskaci druhé etapy sledování vertikálních posunů byly všechny sledované body nalezeny, proto proběhlo zaměření pouze výškového polygonového pořadu, kdy se měřily pouze vodorovné délky a převýšení.

Použitá metodika měření a výpočtu trigonometrické nivelace je původní. Byla detailně popsána v odborné literatuře.

Vylepšením při měření bylo využití kontrastního červenobílého terče umístěného za koutový hranol (viz Obr. 5-3), který je veden jako užitný vzor UV 21632 „Pomůcka pro geodetická měření“. Bez této pomůcky by byla téměř nemožná kvalitní výšková měření na vzdálenosti přesahující 500 m.

V některých případech, kdy je během opakovaných etap měření znemožněna přímá viditelnost mezi sousedními pozorovanými body, je vhodné použít jiný užitný vzor UV 22974 „Pomůcka pro geodetická měření“. Jedná se o tyč z lehkého kovového materiálu o čisté délce 1 metr, která se přišroubuje na teleskopickou výtyčku užívanou pod odrazné koutové hranoly při elektronickém měření délek pomocí geodetické totální stanice. Zvýší se tak o metr (při použití dvou tyčí o dva metry) poloha odrazného koutového hranolu nad terénem. Tyč je po 0,2 m úsecích pro lepší viditelnost červenobíle zbarvená.

Závěrem lze konstatovat, že sledování vertikálních posunů na Radovesické výsypce proběhlo bez problémů. Na Obr. 5-4 je uvedena mapa Radovesické výsypky doplněna výškovým polygonovým pořadem. Výšky byly počítány v řádu mm, ale prokazatelné vertikální posuny vzhledem k metodě měření jsou pouze ty, které, dosahují centimetrových hodnot. Pro názornost jsou uvedeny nadmořské výšky pozorovaných bodů 701 – 705, 706.1, 707 – 723 v přehledné tabulce (Tab. 5-2).

Z porovnání nadmořských výšek pozorovaných bodů mezi nultou, první a druhou etapou sledování lze konstatovat, že prokazatelné vertikální posuny větší než 1cm (v tabulce jsou uvedeny zesíleně), při ročním intervalu sledování vykazují následující pozorované body **703** (+16mm), **709** (-17mm), **710** (-18mm), **711** (-22mm), **712** (-27mm), **714** (-32mm), **715** (-39mm), **716** (-35mm), **717** (-25mm), **718** (-57mm), **719** (-78mm), **720** (-75mm), **721** (-55mm), **722** (-112mm), **723** (-78mm).

Podle původního předpokladu nedošlo k prokazatelným ročním vertikálním posunům u pozorovaných bodů 701, a 702, které jsou umístěny mimo výsypku. U pozorovaných bodů 701, 702, 716, 717 a 718, kde byl mezi nultou a první etapou zaznamenán zdvih 17mm, 13mm, 21mm, 30mm a 13mm, došlo mezi první a druhou etapou k poklesům, což by mohlo naznačovat i sezónní pohyby některých pozorovaných bodů.

Pokles přesahující 50mm vykazovaly pozorované body 718 - 723, které jsou umístěny na nejmladší, přírodní části výsypky. Největší pokles 112mm na celé výsypce byl na pozorovaném bodě 722.

Vzhledem k dosaženým výsledkům při pozorování vertikálních posunů bude žádoucí, provést následující třetí etapu měření opět za půl roku, v dubnu 2012, budou-li finanční prostředky.

Tab. 5-1: Tabulka nadmořských výšek (Bpv) pozorovaných bodů a jejich vertikálních posunů

Číslo pozorovaného bodu	Nadmořská výška pozor. bodu 0. etapa	Nadmořská výška pozor. bodu 1. etapa	Rozdíl výšek mezi 0. a 1. etapou	Nadmořská výška pozor. bodu 2. etapa	Rozdíl výšek mezi 1. a 2. etapou	Rozdíl výšek mezi 0. a 2. etapou
701	231,774	231,791	+17 mm	231,778	-13 mm	+4 mm
702	235,767	235,780	+13 mm	235,773	-7 mm	+6 mm
703	248,852	248,867	+15 mm	248,868	+1 mm	+16 mm
704	251,888	251,896	+8mm	251,887	-9 mm	-1 mm
705	259,953	259,944	-9 mm	259,948	+4 mm	-5 mm
706.1		293,444		293,448	+4 mm	
707	294,873	294,883	+10 mm	294,869	-14 mm	-4 mm
708	299,988	299,987	-1 mm	299,985	-2 mm	-3 mm
709	324,842	324,833	-9 mm	324,825	-8 mm	-17 mm
710	330,827	330,825	-2 mm	330,809	-16 mm	-18 mm
711	329,735	329,729	-6 mm	329,713	-16 mm	-22 mm
712	346,729	346,719	-10 mm	346,702	-17 mm	-27 mm
713	358,246	358,257	+11 mm	358,240	-17 mm	-6 mm
714	360,358	360,363	+5 mm	360,326	-37 mm	-32 mm
715	373,364	373,363	-1 mm	373,325	-38 mm	-39 mm
716	366,935	366,956	+21 mm	366,900	-56 mm	-35 mm
717	401,940	401,970	+30 mm	401,915	-55 mm	-25 mm
718	402,286	402,299	+13 mm	402,229	-70 mm	-57 mm
719	408,202	408,186	-16 mm	408,124	-62 mm	-78 mm
720	414,390	414,369	-21 mm	414,315	-54 mm	-75 mm
721	414,150	414,141	-9 mm	414,095	-46 mm	-55 mm
722	407,855	407,810	-45 mm	407,743	-67 mm	-112 mm
723	396,795	396,736	-59 mm	396,717	-19 mm	-78 mm



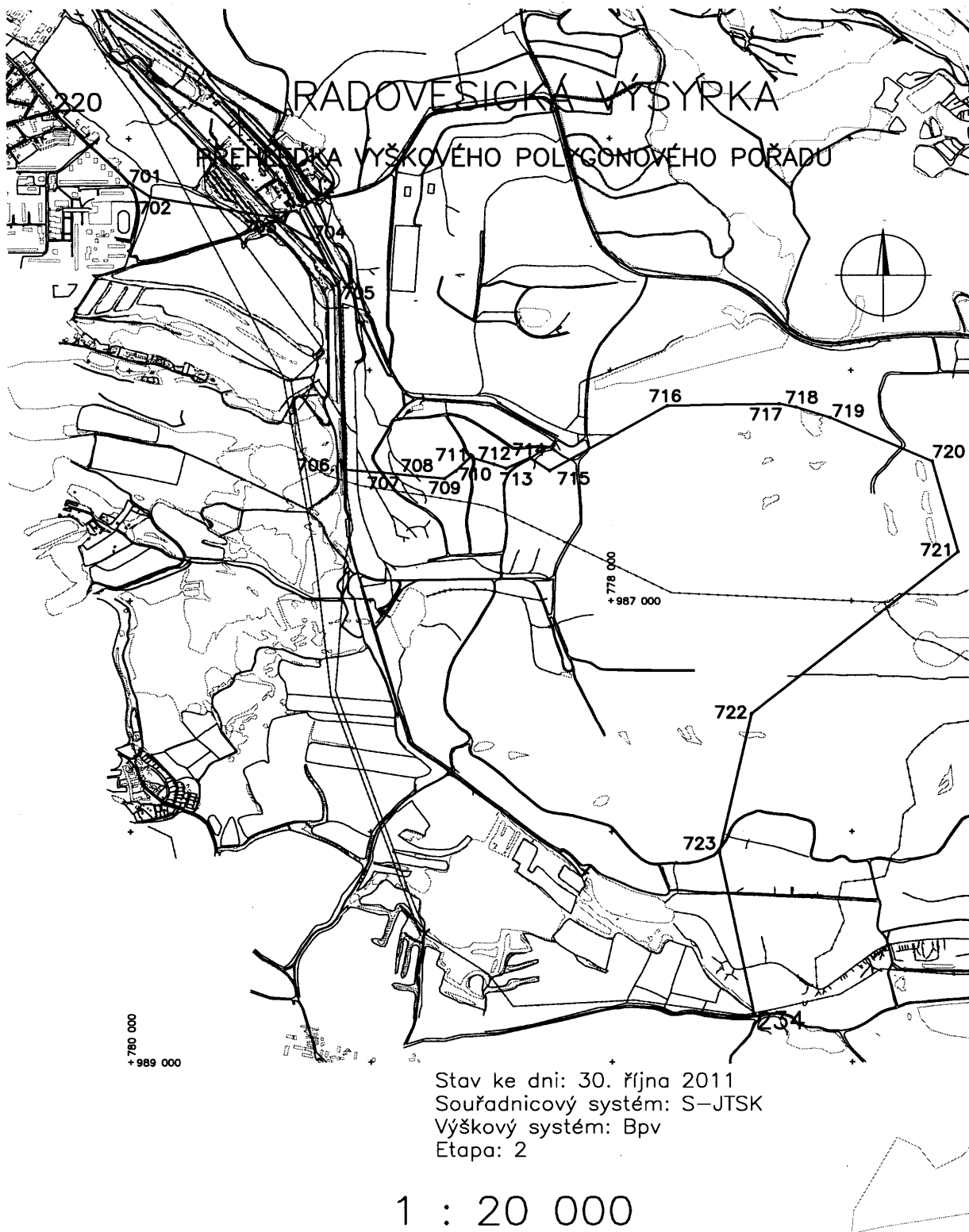
Obr. 5-1: Pohled na centrální část Radovesické výsypky



Obr. 5-2: Detailní pohled na stabilizovaný pozorovaný bod 717 s umístěnou mincí



Obr. 5-3: Využití kontrastního červenobílého terče umístěného za koutový hranol



Obr. 5-4: Výškový polygonový pořad

6. Závěry

Metodika projektu MZe NAZV QH92091 „Optimalizace rekultivačních a sanačních postupů pro těžbou devastované krajinné celky s důrazem na ochranu vod a ekologickou stabilitu“ byl řešen v období 2009 – 2011. Jeho hlavním cílem je tvorba metodiky pro rekultivační a sanační postupy. Projekt má ve třech letech řešení celkem 5 aktivit a 4 dílčí řešení. Splnění těchto aktivit a dílčích cílů projektu bylo dosaženo v plánované době následně:

6.1 Aktivity

A901 Aktualizace stávající terminologie a souvisejícího názvosloví (2009)

Byla provedena revize stávající terminologie a aktualizovány definice a základní pojmy souvisejícího názvosloví. Byl rovněž aktualizován seznam zákonů, norem, směrnic a myšlenek (viz. Periodická zpráva 2009).

A902 Současný stav rekultivačních krajinných celků devastovaných těžbou v ČR a výběr modelových území (2009)

Byly podrobně popsány rekultivační metody (zemědělské, lesnické, vodohospodářské, řízené sukcese a ostatní), různé kombinované varianty, stanovení jejich kritérií a parametrů se zaměřením na problematiku ochrany vod a ekologickou stabilitu.

Byla současně vytipována modelová území (Radovesická výsypka, Loketská výsypka a zbytková jáma Medard) (viz. Periodická zpráva 2009).

A01/10 Návrh souboru kritérií pro hodnocení způsobů rekultivačních a sanačních postupů (2010)

Byl vytvořen obecný soubor kritérií pro hodnocení všech způsobů rekultivačních postupů v různých formách, definitivní úprava pak vysvětluje řešení. Dále byla vytvořena databáze, obsahující jak obecné požadavky rekultivací, tak i specifické požadavky pro modelová území (viz. Periodická zpráva 2010).

A02/10 Návrhy pro analýzu a vyhodnocení rekultivačních a sanačních postupů (2010)

Byly vytvořeny zásadně dva návrhy, jednak pro rekultivaci výsypek a dále pro vodohospodářskou rekultivaci zbytkových jam. V této souvislosti byla analyzována podrobně Radovesická výsypka a Loketská výsypka, dále koncipována stádia jejich hydrologické bilance a vodohospodářské bilance zbytkové jámy Medard. Dotažené výsledky byly velmi konkrétní (viz. Periodická zpráva 2010).

A1/11 Dokončení finálního výběru kritérií rekultivačního postupu a databáze ukazatelů. Generováním vybraných funkcí určení optimalizačních variant rekultivačních a sanačních postupů (2011)

V závěrečném roce řešení projektu bylo provedeno upřesnění kritérií pro přímé hodnocení (unikriteriální) i pro aplikaci multikriteriální metody hodnocení optimálních variant navrhovaných biotechnických opatření na příkladu Radovesické výsypky. Vždy byl u výběru kritérií i návrh variant opatření kladen důraz na optimální vodní režimy rekultivované krajiny a na ochranu vod. Podle rozsahu kritérií byly testovány soubory ukazatelů pro jednotlivá posuzovaná opatření. Hodnota komplexního ukazatele, která dosahuje maximální hodnoty, je optimální variantou navrženého opatření. Výpočty s použitím maticového počtu jsou

automatizovány a řešeny aplikací vlastního PC software, který je jedním z RIV – výsledků tohoto projektu.

6.2 Dílčí cíle

V001 (1.1.2009 – 31.12.2009)

Aktualizace stávající terminologie a související platné legislativy. Popis a analýza současného stavu rekultivací krajinných celků devastovaných těžbou v ČR. Výběr modelových území.

Byla aktualizována stávající terminologie v oboru rekultivací (85 hesel) a tabelována veškerá aktuální platná legislativa ve formě seznamu zákonů, vyhlášek, vládních nařízení a sdělení, týkajících se rekultivací a souvisejících činností. Dále byl zhodnocen současný stav rekultivací krajinných celků devastovaných povrchovou těžbou v ČR a byl proveden rámcový výběr dvou hlavních modelových území. Byly vyhodnoceny současné rekultivační metody (zemědělské, lesnické a hydrotechnické) a byl proveden výběr rozsáhlých souborů dat hydrologických a pedologických a připraveno měření hydraulických vlastností půd v zájmových lokalitách a provedena rekognoskace modelového povodí Medard–Libík. Rovněž byla vybrána modelová území:

- Radovesická výsypka (převážně zemědělská a lesnická rekultivace, vodní režimy výsypky),
- zbytková jáma Medard (převážně vodohospodářská rekultivace),
- Loketská výsypka (převážně zemědělská a lesnická rekultivace, vodní režimy výsypky).

V002 (1.1.2010 – 31.12.2010)

Vytvoření souboru kritérií pro hodnocení jednotlivých způsobů rekultivačních a sanačních postupů. Tvorba databáze parametrů rekultivace. Stanovení vybraných charakteristik horninového a geografického prostředí určeného k rekultivaci.

V003 (1.1.2010 – 31.10.2010)

Generování vhodných transformačních funkcí pro vytvoření databáze ukazatelů rekultivace, stanovení priorit rekultivace, vyhodnocení výsledků terénních a laboratorních šetření. Předpokládá se verifikace výsledků s důrazem na ochranu vod.

Ve druhé roce řešení výzkumného grantu NAZV QH 92091 byly zpracovány dva dílčí cíle. Ve V002 byl zpracován soubor kritérií pro hodnocení způsobu rekultivačních a sanačních postupů (kap. 2 Periodické zprávy) a byly vytvořeny jejich priority (kap. 3).

Ve V003 byla stanovena metodika geneze transformačních funkcí k vytvoření databáze ukazatelů rekultivačních postupů REKU. Dále bylo provedeno rozsáhlé měření a vyhodnocení souborů dat pedologických, hydrologických a geodetických zejména v modelových územích.

V roce 2010 bylo pokračováno ve sběru a přípravě hydrologických dat povodí Medard – Libík a byla řešena hydrologická bilance tohoto povodí. Bylo rovněž provedeno vyhodnocení stávajících rekultivačních úprav Radovesické výsypky včetně vyhodnocení jejího vodního režimu a případných protierozních opatření včetně návrhu zlepšení infiltrační funkce a hydraulických vlastností odtokových ploch. Dále bylo také započato s vytvářením databáze parametrů rekultivace s rozlišením jejich technologií. Byl navržen postup pro generování transformačních funkcí (maticová algebra), jejichž pomocí bude řešen problém automatické optimalizace nalezení optimálních variant různých rekultivačních postupů. Bylo rovněž započato s vytvořením algoritmu pro budoucí software řešení. Tento postup řešení obsahuje Příloha č.1.

V004 (1.1.2011 – 31.02.2011)

Vytvoření metodiky rekultivace a rekultivačně–revitalizačního modelu, určující optimální varianty pro rekultivační a sanační postupy v rámci obnovy těžbou devastovaných krajinných celků. Ověření výsledků na modelovém území.

V roce 2011 bylo provedeno vyhodnocení optimální varianty navržených rekultivačních opatření metodou multikriteriálního výběru. Tato metoda je implementována při splnění kritérií respektování přírodních procesů a kritérií vodohospodářských, ekologických, krajinářských, ekonomických a sociálních. Při řešení projektu zůstává důraz na optimálních vodních režimech rekultivované krajiny a na ochraně vod.

Při srovnání unikriteriální a multikriteriální metody je evidentní převaha metody multikriteriální s její otevřenou variantností a také nyní se skutečností, že se podařilo v průběhu řešení sestavit algoritmus a PC software, který jsme pro potenciální uživatele zveřejnili na web-stránce Fakulty životního prostředí ČZU v Praze:

<http://fzp.czu.cz/vyzkum>

6.3 Přínosy řešení

V001 (1.1.2009 – 31.12.2009)

Aktualizace stávající terminologie a související platné legislativy. Popis a analýza současného stavu rekultivačních krajinných celků devastovaných těžbou v ČR. Výběr modelových území.

- Dílčími cíly jsou kompletní legislativa a odborná literární rešerše na informativní úrovni. Přínosem je vytvoření studijních materiálů s odkazy na další doplňování a rozvoj této databáze..
- Modelová území byla vybrána tak, aby byl vytvořen standardní pohled na problematiku vodních režimů výsypek sušších (Radovesická výsypka) i vlhčích (Loketská výsypka) oblastí a zbytkovou jámu, která má externí zdroj vody k napouštění v krátké době do cca tří let (jáma Medard). Tato „databáze“ reprezentativních lokalit poskytuje informace o zdařilých variantách rekultivačních, které byly využity v dalších časových aktivitách řešení.

V002 (1.1.2010 – 31.12.2010)

Vytvoření souboru kritérií pro hodnocení jednotlivých způsobů rekultivačních a sanačních postupů. Tvorba databáze parametrů rekultivace. Stanovení vybraných charakteristik horninového a geografického prostředí určeného k rekultivaci.

- Základním přínosem bylo koncipování současné studie o stavu Radovesické výsypky, o založení úspěšných rekultivačních variant s ohledem na zlepšení vodního režimu a neúspěšných zásahů, málo odolávajících extrémním hydrologickým jevům (povodňovým průtokům). Mezi úspěšné varianty je možno považovat varianty Vb (lesnická varianta s retenčními nádržemi) a Vc (zemědělská varianta s poldrem), které obě výrazně podporují žádoucí zlepšení vodních režimů výsypek. Na druhé straně jsou některé revitalizační úpravy vodotečí lokality Radovesické výsypky málo odolné proti zvýšenému povrchovému odtoku a vodní erozi (devastace koryt ve vyšších sklonech nivelety).

- Dalším důležitým přínosem je metodika výpočtu hydrologické bilance modelem WBCM a rozšíření této bilance na vodohospodářskou, tj. nutnost výpočtu potřebného objemu vody pro zatopení zbytkové jámy vodou z vlastního povodí a externí vodou. Součástí této metodiky je i dosažení požadované kvality vody, řešené míchání vody z externího zdroje povrchového přítoku s důlními stařinovými vodami a tím ušetření finančních zdrojů na odčerpávání stařinových vod.

V003 (1.1.2010 – 31.10.2010)

Generování vhodných transformačních funkcí pro vytvoření databáze ukazatelů rekultivace, stanovení priorit rekultivace, vyhodnocení výsledků terénních a laboratorních šetření. Předpokládá se verifikace výsledků s důrazem na ochranu vod.

- Přínosem tohoto dílčího cíle je dokončení transformační funkce k vytvoření databáze rekultivačních postupů REKU. Tento přínos je finalizován až v následujícím roce (2011) dílčím výsledkem V004.
- Hlavním přínosem V003 jsou však měření a výpočty hydrologických bilancí Radovesické a Loketské výsypky a jejich vzájemné porovnání. Loketská výsypka v suchých letech (např. 2003) netrpí suchem tolik, jako výsypka Radovesická. Srovnání výsledků let suchých (2003, 2007) a let normálních (2004, 2006) to potvrzuje. Proto i multikriteriální hodnocení vodních režimů ve prospěch akumulace a retence vody (malé nádrže, poldry, infiltrační opatření vegetačně cenných lokalit) je navrženo pro Radovesickou výsypku jako optimální rekultivační varianta Vb a Vc.

V004 (1.1.2011 – 31.02.2011)

Vytvoření metodiky rekultivace a rekultivačně–revitalizačního modelu, určující optimální varianty pro rekultivační a sanační postupy v rámci obnovy těžbou devastovaných krajinných celků. Ověření výsledků na modelovém území.

- Metodika multikriteriálního výběru optimálních variant rekultivačních technologií Radovesické výsypky poskytuje přínos v omezení subjektivity posuzovatele a nabídce pokud možno objektivního výběru optimální varianty. Ve srovnání s unikriteriálním výběrem, kde není vzájemné propojení variant, má tato metodika nesporné přednosti. Její předností je také algoritmizace řešení do finálního software, veřejně publikovaného na web-stránce <http://fzp.czu.cz/vyzkum>.
- Finálním přínosem je dvouletý cyklus přesného geodetického měření procesu sedání masivu Radovesické výsypky (místně přes 120 m výšky vrstvení zakladačem). Tato výsypka na některých místech i po cca 15 letech své existence a procesu své stabilizace zaznamenává sedání o více než 0,010 m za 2 roky. Toto měření nebylo původně předmětem výzkumného projektu, ale z důvodů potřeby úprav vodního režimu je toto měření nutností. Je evidentní, že stále není možné zakládat na této výsypce konvenční stavby tradičně založené do základové spáry bez finančně nákladných stabilizačních opatření. V měření budeme pokračovat i po ukončení projektu, budou-li jiné finanční prostředky.

6.4 Závěrečná doporučení pro využití metodiky

Metodika hodnocení rekultivačních postupů obsahuje dvě možnosti výběru. Především je nutno dle tabulky (Obr. 2-1) „Přehled rekultivačních variant a výběr kritérií k hodnocení úspěšnosti vybrané varianty“ vyhledat o jakou variantu v hodnocení jde (zemědělské, lesnické, vodohospodářské, řízená sukcese, ostatní) a dále je nutno vybrat, zda se jedná o rekultivace výsypek nebo zbytkových jam. Ve druhé etapě je třeba zvolit soubor

odpovídajících kritérií (krajinařská, hydrologická, ekologická, ekonomická, sociální a další) a nakonec rozhodnout jaké možnosti je třeba přisoudit prioritu. Je to buď možnost **hodnocení unikriteriální**, tj. využití kritérií v jednom souboru, kdy tato jednotlivá kritéria se vzájemně neovlivňují (viz. kapitola 2) a přisoudit jednotlivým kritériím body dle Tab. 2-1 až 2-22. Potom lze jednotlivé klasifikační body sečíst a komparaci porovnávat různé alternativy. Tab. 2-23 slouží jako příklad pro unikriteriální možnost hodnocení Radovesické výsypky.

Druhou možností je více sofistikované **hodnocení multikriteriální**, popsané v kapitole 3. Tato možnost obsahuje již hodnocení vzájemně propojených variant a kritérií, které se řeší na základě metody nejmenších čtverců, tj. s použitím maticové algebry. Tato metoda je relativně méně subjektivní při srovnání s metodou hodnocení unikriteriálního a má tedy vyšší objektivitu. Její postup je přehledně popsán v Příloze č. 1 „Postup řešení multikriteriální metody vyhodnocení varianty rekultivace“. V kapitole 3 jsou popsány a vyhodnoceny čtyři varianty rekultivace Radovesické výsypky v případové studii, z níž jasně vyplývá přednost variant s retencí a akumulací vody při rekultivaci výsypky (V_b a V_c) pro vážený i nevážený postup.

Pro snazší řešení maticovou algebrou byl tento postup algoritmizován a programován pro PC a je k dispozici pro volné použití na web-stránce Fakulty životního prostředí ČZU v Praze: <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software>

6.5 Odborné publikace a výstupy RIV

V závěrech tohoto projektu uvádíme přehled publikací a RIV výstupů řešitelů z doby řešení projektu, které mají přímý vztah k řešené problematice. Jsou uvedeny publikace v impaktovaných, recenzovaných časopisech, sbornících, a dalších výstupech, zpracovaných na řešitelském pracovišti:

Vědecké časopisy s IF (J_{imp})

VRANA, I., VANÍČEK, J., KOVÁŘ, P., BROŽEK, J., SHADY, A., 2012: A New Fuzzy Group Agreement-Based Approach for Multi-Expert Decision Making in Environmental Issues. Case Study of Flood Impact Mitigation on the Němčický Catchment. *Environmental Modelling and Software*. ISSN 1364-8152, No.2, (in print).

KOVÁŘ, P., VRANA, I., VAŠŠOVÁ, D., 2012 Stakeholder Group Consensus based on Multi-Aspect Hydrology Decision Making. *Environmental Modelling and Software*. ISSN 1364-8152, (in print).

Vědecké časopisy recenzované – svět. uznávané databáze (SCOPUS) (J_{neimp})

KOVAR, P. VASSOVA, D., 2010: Impact of Arable Land to Grassland Conversion on the Vegetation–period Water Balance of Small Agricultural Catchment (Němčický Stream). *Soil and Water Research* 5, 2010 (4), s. 128-138.

KOVÁŘ, P., KADLEC, V., 2009: Use of rainfall-runoff model KINFIL on the Hukava catchment. *Soil and Water Research* 4, 2009 (1), ISSN 1801-5395, pp.1-9.

Vědecké časopisy recenzované v angličtině (J_{rec})

KOVAR, P., NOVOTNA, J., VASSOVA, D., 2010: Using a Water Balance Model for Hydro- Restoration of Mining Pits. *Scientia Agriculturae Bohemica* 41, 2010 (4), s. 206-212.

Vědecké časopisy recenzované české (J_{rec})

- KOVÁŘ, P., NOVOTNÁ, J., VAŠŠOVÁ, D., 2011: Využití modelu hydrologické bilance pro hydromeliorace. *Vodní hospodářství* roč.61, Vh 4/2011, ISSN 1211-0760, str.143-148.
- SKÁLA, P., 2010: Obrátíme list mapy. *Geodetický a kartografický obzor*, roč.56/98, č.12, ISSN 0016-7096, str.255-258..
- JANEČEK, M., KOVÁŘ, P., 2010: Aktuálnost „Metody čísel odtokových křivek – CN“ k určování přímého odtoku z malého povodí. *Vodní hospodářství* Vh 7/2010, ISSN 1211-0760, str. 8-11.
- KADLEC, V., KOVÁŘ, P., 2008: Využití zrážkovo-odtokového modelu KINFIL na povodí Hučavy. *Zprávy lesnického výzkumu* sv.53, č.3, 2008, str.211-222.

Vědecké konference, kongresy: Článek ve sborníku (mimo RIV) (O)

a) v zahraničí – mezinárodní konference, kongresy

- KOVÁŘ, P., VAŠŠOVÁ, D., 2011: How to mitigate harmful impact of floods. Case study of the Nemcicky catchment. Conference CASEE, Godollo, Hungary, *Proceedings of Szent Istvan University, Special issue*, ISSN 1586-4502, p.45-54
- KOVAR, P. VASSOVA, D., 2009: Simulation of Water Balance in Land Use Change Scenarios on the Nemcicky Catchment, Czech Republic. *Proceedings of International EU/USA Conference Water Policy 2009*. PowerPrint, ISBN 978-80-213-1944-8, edited by P.Kovar, P.Maca and J.Redinova, pp.111-114.
- KOVÁŘ, P., KŘOVÁK, F., 2009: Úpravy odtokových poměrů v lesích (Technical Forest Amelioration), Mezinárodní konference „*Forest, Landscape and Forestry Management*“, Kostelec n. Č. 1. 10/2/2009, FLD ČZU, CD-ISBN 978-80-213-1894-6, pp. 108-116.
- KOVAR, P., 2008: Impact of Land Use and Management on Hydrological Regime. *Workshop on Natural Disaster Prevention*, June 18.-27.2008. Sborník přednášek (tisk+CD Rom, 18 str.)

b) v ČR – ostatní konference: Článek ve sborníku (mimo RIV): (O)

- KOVÁŘ, P., 2008: Modelování hydrologické bilance na experimentálním povodí Němčického potoka. Konference Krajinné inženýrství 2008. Česká společnost krajinných inženýrů. *Sborník ČSKI*, 18.-19.9.2008, ČZU v Praze.
- KOVÁŘ, P., KŘOVÁK, F., 2010: Závislost hydrologické bilance na hospodářském využití povodí. *Sborník konference Hydrologické dny 2010*, Hradec Králové, ISBN 978-80-866690-84-1, str. 247-253.
- DIMITROVSKÝ, K., KUPKA, I., ŠTIBINGER, J., KASL, M., 2010: Categorization processes of landscape rehabilitation affected by minimizing and industrial activities. 12th Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production *SWEMP 2010*, Praha, květen 2010, ISBN 978-80-213-2076-5, str. 73-80.

Specializované mapy (N)

- TOLLINGEROVÁ, D., HRABALÍKOVÁ, M., CHAMOUT, L., *Soubor účelových map k metodice stanovení vodních režimů v podmínkách rekultivovaných povodí*. Výzkumný grant MZe ČR NAZV 92091 „Optimalizace rekultivačních a sanačních opatření“.

<http://fzp.czu.cz/vyzkum/mapy.html>

Patent (P)

CHAMOUT, L., KADLEC, V., 2010: Pomůcka pro geodetické měření. ČZU a VÚMOP Praha, MTP: G01C15/02, č. přihlášky PV 2010-592, datum podání : 30.7.2010.

Užitný vzor (Fuzit)

CHAMOUT, L., KADLEC, V., 2011: Pomůcka pro geodetické měření. ČZU a VÚMOP Praha, MTP: G01C15/02, PUV č. přihlášky 2010-23049, č. zápisu 21632, datum podání: 30.7.2010, datum zápisu: 17.1.2011.

Certifikované metodiky a postupy (N)

KOVÁŘ, P., ŠTIBINGER, J., 2011: *Metodika multikriteriální optimalizace rekultivačních a sanačních opatření*. Výzkumný grant MZe ČR NAZV 92091 „Optimalizace rekultivačních a sanačních postupů s důrazem na ochranu vod a ekologickou stabilitu“.

Software (S)

KOVÁŘ, P., KŘOVÁK, F., ŠTIBINGER, J., 2011: *Varianty rekultivace*. <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software>

Literatura:

- Benešová, J., Chour, V., 2001: Vodohospodářské řešení rekultivace a revitalizace Podkrušnohorské uhelné pánve (1998-2001). Zpráva VaV/510/2/98-01, MŽP ČR, 89 str.
- Dimitrovský, K. 1999: Zemědělské, lesnické a hydrické rekultivace území ovlivněných baňskou činností. ÚZPI 14/1999 Metodiky pro zemědělskou praxi, ISSN 1211-9199, 66 str.
- Guttwaldová, J., Růžička, K., 1994: Koncepce vodohospodářského řešení Podkrušnohorské mostecké oblasti (Expertiza), VÚV TGM, 32 str.
- Čermák, P., Kohel, J. 2003: Hodnocení půdotvorného procesu antropozemí severočeské hnědouhelné pánve, jejich kategorizace a využití. Studie, výstup z řešení etapy výzkumného záměru MZE-M07-99-01-05. Praha: VÚMOP. 63 s.
- Hrádek, F. et al. 1989: Hydrologie. Učební text VŠZ v Praze.
- Hrádek, F. et al. 2002: Hydrologie. Praha: Lesnická fakulta ČZU. 280 s. ISBN 80-213-0954-4.
- Chamout, L., 2009: Trigonometrické nivelace pro určování nadmořské výšky bodů kombinované měřické sítě. Stavební obzor č. 6, 2009, str. 185-187.
- Chour, V., a kol., 1998: Vodohospodářské řešení rekultivace a revitalizace Podkrušnohorské uhelné pánve (1998-2001). Zpráva VaV/510/2/98-01, MŽP ČR, 136 str.
- Janeček, M. 2002: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: ISV publ. ISBN 85866-85-8. 201 s.
- Janeček, M., Kovář, P. 2010: Abstrakt metody čísel odtokových křivek CN k určování přímého odtoku z malého povodí. Vodní hospodářství, roč. 2010, č. 7, str. 8 -11.
- Kašpárek, L. 2001a: Obnova funkce krajiny narušené těžbou. Hydrologické podklady pro řešení tvorby krajiny (Mostecko). VaV 640/3, DÚ 02, VÚV T. G. M., Praha.
- Kašpárek, L. 2001b: Obnova funkce krajiny narušené těžbou. Hydrologické podklady pro řešení tvorby krajiny (Sokolovsko). VaV 640/3, DÚ 02, VÚV T. G. M., Praha.

- Košková, R., Sláma, J., Kos, Z. 2002: Předpokládaný vliv změny klimatu na vodohospodářské plnění jam povrchových dolů. *Stavební Obzor* 7/2002, s. 206–208.
- Kovář, P. a kol.. 2010: Zpráva za rok 2010 – Optimalizace rekultivačních a sanačních postupů pro těžbou devastované krajinné celky s důrazem na ochranu vod a ekologickou stabilitu. Grant MZe – NAZV QH 92091. Praha: ČZU.
- Kovář, P., Štibinger, J., 2007: Metodika návrhu a výstavby optimální varianty proti povodňových a protierozních opatření (PPO) pro zmírnění extrémních hydrologických jevů – povodně a sucha v krajině. *Výzkumná zpráva 2007, DTP CZU Praha*, ISBN 978-80-213-1600-3, 81 str.
- Kovář, P., Štibinger, J. a kol., 2010: Optimalizace rekultivačních a sanačních postupů pro těžbou devastované krajinné celky s důrazem na ochranu vod, Projekt Mze NAZV QH92091.
- Lipský, Z. 2000: Sledování změn v kulturní krajině. Praha: ČZU. ISBN 80-213-0643-2.
- Míchal, I. 1994: *Ekologická stabilita*. Brno: Veronica.
- Novák, L., Iblová, M., Škopek, V. 1986: *Vegetace v úpravách vodních toků a nádrží*. SNTL Praha.
- Pöpperl, J., Dimitrovský, K., Prokopová, D., Štibinger, J.,: *Teorie obnovy vodního režimu krajiny devastované báňskou činností*. Sborník FLD ČZU Praha
- Prach, K. (ed.) 2010: *Výsypky*. In: *Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi*. České Budějovice: Calla.
- Pretel, J. 2006: Climate change and its impact on water regime. *Journal of Water Resources*, s. 227–230.
- Rukověť projektanta – Místního územního systému ekologické stability. Metodika pro zpracování dokumentace. Praha: Český ústav ochrany přírody, MŽP ČR.
- Řehoř M. 2006: Komplexní hodnocení sukcesních ploch a geologických parků. Výstup z řešení projektu MŠMT Praha, MSM4456918101, VÚHU, a.s. Most, 1/2006, 48 s.
- Sklenička, P. 2003.: *Základy krajinného plánování*. Praha: Vydavatelství Naděžda Skleničková. ISBN 80-903206-0-0.
- Svoboda, I., Horáček, R. 1994: *Bilance vody pro zatápění zbytkových jam po těžbě uhlí v severočeském a sokolovském revíru*. R-Princip Most, s.r.o., 19 s.
- Šlezinger, M. 2004: *Břehová abraze – příspěvek k problematice zajištění stability břehů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2. vyd.
- U.S. SCS. 1986: *Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55 (updated)*, USA (13 pp.).
- U.S. SCS. 1992: *Soil Conservation. Program Methodology, Chapter 6.12: Runoff Curve Numbers*, USA (13 pp.).

Příloha č. 1: Postup řešení multikriteriální metody vyhodnocení varianty rekultivace

Členění priorit jednotlivých kritérií dle důležitosti není snadnou záležitostí a bývá ztíženo jistou mírou subjektivity. Proto na tomto místě uvádíme přehled dalšího postupu analýzy.

K optimalizaci nejlepších kritérií a nejlepší varianty navržených biotechnických opatření, která bude součástí finální metodiky (2011), je použita **Metoda multikriteriálního výběru optimální varianty**, která nejlépe splňuje kritéria přírodních procesů, vodohospodářská, ekologická, krajinářská, ekonomická a sociální. Tato metoda vychází z teorie „kardinálního užitku“ Multiattribute Utility Theory (Miles, 1967) a je založena na následujícím postupu (ve stručném vyjádření, Kovář, Štibinger, 2009):

1. Vytvoření **souboru variant** biotechnických opatření ke zlepšení vodního režimu krajiny BTO(i). Tyto varianty jsou obvykle agroekologické (zemědělské), lesnické, přírodní (sukcese), hydrické a ostatní.
2. Vytvoření **souboru kritérií**, která by vybraná optimální varianta BTO (i) co nejlépe splňovala. Tato kritéria jsou obvykle:
 - KR(1)... kritéria přírodních procesů
 - KR(2) ... kritéria vodohospodářská
 - KR(3) ... kritéria ekologická
 - KR(4) ... kritéria krajinářská
 - KR(5) ... kritéria ekonomická
 - KR(6) ... kritéria sociální
3. Vytvoření matice hodnot parametrů $P(i,j)$ s rozměry počtu řádku (i) rovnajícím se počtu BTO(i) a počtu sloupců (j) rovnajícím se počtu kritérií KR(j) (obvykle 5-6).
4. Vytvoření matice ukazatelů $U(i,j)$ z matice parametrů $P(i,j)$ generováním transformační funkce f , aby $U(i,j) = f(P(i,j))$
a $U(i,j) < 0, 1 >$

Tyto transformační funkce bývají nejčastěji mocninové (Kovář, Štibinger, 2009).

5. Určení komplexních ukazatelů, vektoru z matice $U(i,j)$ jako $U(k)$ pro jednotlivé posuzované návrhy biotechnických opatření BTO(i), kdy:

$$U(k) = \sum_1^n BTO(i) \rightarrow \max$$

Hodnota komplexního ukazatele $U(k)$, která dosahuje maximální hodnotu označuje optimální variantu biotechnického opotřebení BTO(i). Tato metoda je jednou z nejlepších metod optimalizace variant se širokou škálou kritérií.