

# Geologické aspekty sanace, rekultivace a renaturalizace

mining sites, waste dumps,  
brownfield sites

# Řešení a nápravná opatření

- asanace: soubor preventivních a aktivních opatření vedoucích k eliminaci negativních vlivů
- rekultivace: je dobrou součástí asanace, která řeší devastaci pozemků a jejich vrácení mezi produkční plochy (území)

# Rekultivace a terminologie

česky	anglicky
ekologie obnovy	restoration ecology
obnova ekosystémů	restoration
nápravná opatření	rehabilitation
rekultivace	reclamation
(renaturalizace)	(renaturalization)
revitalizace	(revitalization)
(rekonstrukce ekosystémů)	(ecosystem reconstruction) habitat creation

# Obnova ekosystémů

## 1. přímé postupy

- zcela uměle (de novo)
- přenosem částí ekosystémů („transfery“)
- rehabilitací dosavadních ekosystémů dosevy, dosadbami, odstraněním nežádoucích druhů apod.
- řízenou sukcesí (s využitím např. aktivit uvedených výše)
- spontánní sukcesí

## 2. nepřímé postupy, změnou stanovištních faktorů

- změnou abiotických faktorů (často jednorázově)
- změnou biotických faktorů (např. „biologický boj“)
- změnou hospodaření (managementu)



# Určení způsobu rekultivace

- technická rekultivace
- biotechnická rekultivace
- biologická rekultivace

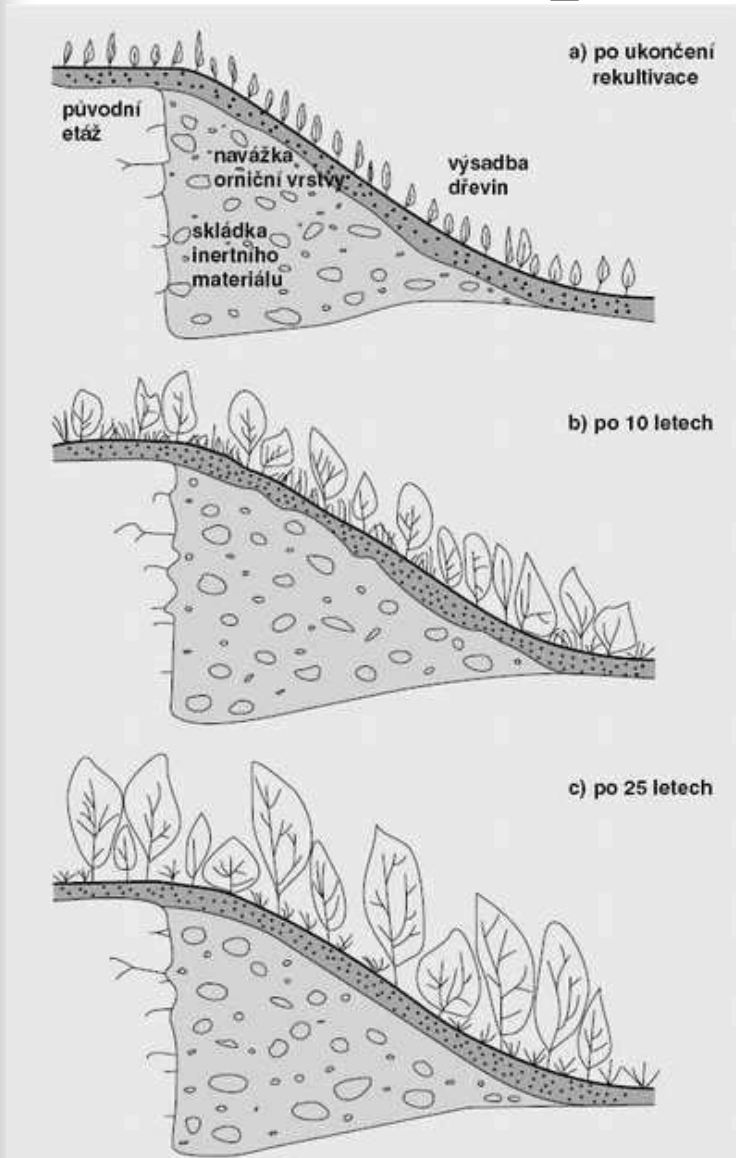
„fytotoxicita“ – důležitá informace pro úspěch řešení na daném stanovišti, extrémně vysoké koncentrace některých látek, příp. velmi nízké (nedostatek) např. živin pro rozvoj vegetace



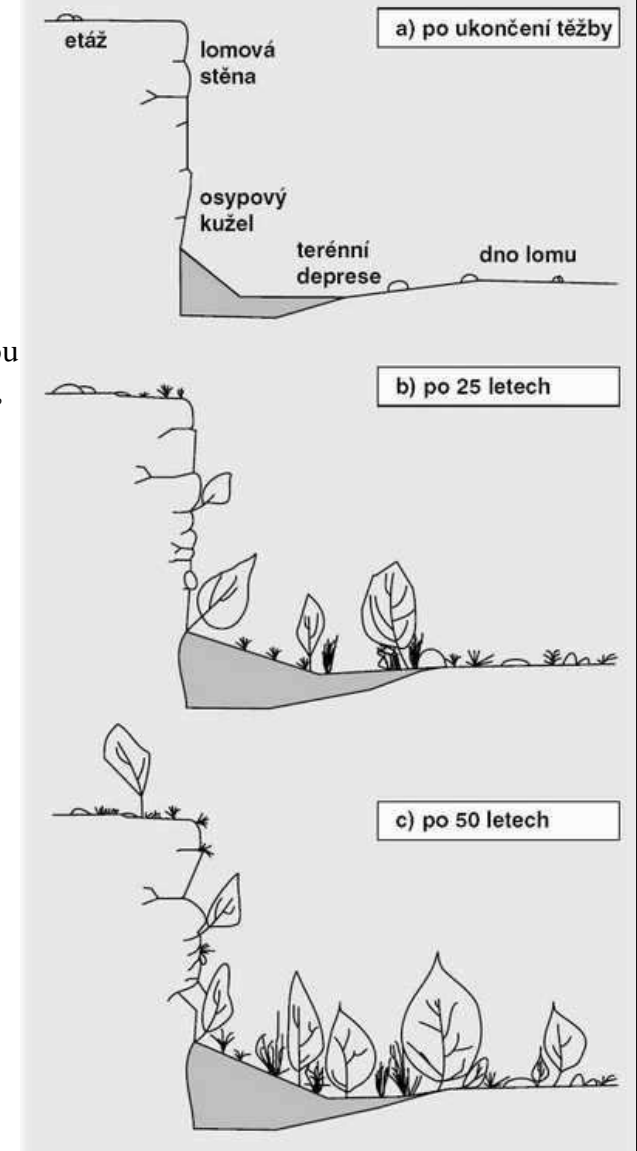
# Technická rekultivace

- má přípravnou povahu
- terénní úpravy
- hydromeliorace

# Terénní úpravy



Takto končí většina současných lomů. Pod vrstvou navážky zmizí pestrá krajina, která mohla být domovem velkého množství živých organismů.



Lom přirozeně zarůstá velmi pomalu. Extrémní stanovištní podmínky však umožňují, aby se v něm postupně začaly objevovat některé vzácné rostlinné a živočišné druhy.

# Nejstarší rekultivace (?)

## NEJSTARŠÍ REKULTIVACE V ČECHÁCH

K vyzvání polit. expositury v Jílovém ze dne 26. června 1924 č.j. 11838 zd.č.j. 2570 ze dne 30. června 1924 ve příčině doplnění schvalovacího výměru ve věci živnostensko-policejního schválení nového lomu panu Ludvíkovi Ešnerovi ve Skutči shora uvedené, činí Státní památkový úřad návrh, aby do povolovacího výměru byly zařazeny následující podmínky.

1. Vzhledem k dobrozdání Státního geologického ústavu nesmí lámáním kamene být nijak dotčeny stěny nad břehem Sázavy, zvláště vypínající se charakteristické skalní výběžky, které nejen samy o sobě, ale s přílehlou skalní stěnou musí zůstat zachovány.
2. Je nepřípustno, aby ústí lomu směřovalo k řece. Lom naopak budiž otevřen stranou tak, aby tyto skalní výběžky i s přílehlou stěnou tvořily při řece nadále malebnou kulisu a zůstal tak zachován důležitý činitel v obraze krajiny.
3. Otevřením lomu a postupujícím lámáním kamene budiž co nejméně dotčen stávající lesní porost.

Státní památkový úřad, který zároveň vzdává díky za vzornou péči o přírodní památky, žádá zároveň za zaslání výměru dle tohoto dobrozdání upraveného.

Pozn.: Tato anonymní noticka byla uveřejněna v časopise Krása našeho domova z roku 1925, s. 135. Domnívám se, že představuje první publikovaný návrh na začlenění nově otevíraného lomu do krajiny, tak aby byl zachován její ráz a malebnost. Vývoj směřující k ochraně krajinného rázu byl po roce 1948 přerušen, takže dnes se s potížemi vracíme k některým principům ochrany přírody a krajiny, které byly teoreticky a často i prakticky prosazeny již koncem 20. let.

Václav Cílek, sborník Zlatý kůň,

nakladatelství Zlatý kůň, Praha 2000, s. 110



# Bez rekultivace



Lom Malá Amerika v Českém krasu. Vápenec se v tomto jámovém lomu přestal těžit zhruba před půl stoletím. Těžba zde dosáhla hloubky pěti pater (spodní jsou zatopena). Chodbou s okny, která vidíte na snímku, vedla důlní železnice. Lomové stěny i odvalové haldy postupně zarůstají, ve štolách přezimuje několik druhů netopýrů. Snímek © Stanislav Vaněk



# Biotechnická rekultivace

mokřady a jejich funkce:

- adsorpce – iontová výměna
- spotřeba látek (rostlinami) a fytoremediace
- filtrace
- biologická transformace (bakterie oxidující Fe, Mn, redukce sulfátu, ...)
- geochemické procesy (srážení pyritu, redukce/oxidace)

mikroorganismy oxidující S nebo Fe:

*Thiobacillus ferrooxidans* (S, Fe),

*T. novellus*, *Desulfavibrio sp.*, *Salmonelis sp.* (S),

*Leptothrax sp.*, *Gallionella sp.* (Fe)

# Akumulace prvků rostlinami

## - metal 'hyperaccumulators'

Hyperaccumulators are naturally occurring plants that accumulate certain metal(s) in their stem and leaves at least 100 times greater than normal non-accumulator plants found on the same metal-enriched soils.

They can hyperaccumulate arsenic, boron, cadmium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel, selenium, thallium or zinc.



*Stackhousia tryonii*

obsahuje Ni do 4%  
suché hmoty listů –  
kořeny rostliny  
vytváří  
organometalické  
komplexy

Depending on their ore deposits, different countries have specialist 'hyperaccumulator' plants. The Republic of Congo, for instance, has 24 species of plant that absorb large amounts of copper and several of which also hyperaccumulate cobalt.

Hyperaccumulator plants have the potential to clean up thousands of hazardous waste sites, including those comprised of radioactive wastes.

Fytoextrakce spočívá ve vysetí či vysázení vybraných rostlin na kontaminovanou plochu. Po akumulaci kontaminantů v rostlině jsou rostliny sklizeny a dále zpracovány tepelně, mikrobiálně nebo chemicky.

# Akumulace prvků



*Sunflowers bred to absorb strontium and cesium bloom on a pond near Chernobyl.  
Source: Phytotech*

půdní typ	arzen v půdě [mg/kg]	arzen v rostlině [mg/kg]	
		2 týdny	6 týdnů
obsah	6	755	438
kontaminovaná půda As <sup>1</sup>	400	3 525	6 805
nízký obsah As <sup>2</sup>	50	5 131	3 215
střední obsah As <sup>2</sup>	500	7 849	21 290
vysoký obsah As <sup>2</sup>	1 500	15 861	22 630

Křídelnice, *Pteris vittata*





# Fytoremediace

Fytoremediace je remediační metoda definovaná jako technologie využívající rostlin k fixaci, akumulaci a rozkladu nebezpečných kontaminantů, tj. k jejich odstranění z životního prostředí. Metoda zahrnuje využití vegetace pro *in situ* remediace půdy, sedimentů a vody. Vybrané rostliny se využívají k extrakci toxických kovů, včetně radioaktivních izotopů, i k odstranění některých organických látek z uvedených abiotických složek. Pro úspěšnou remediaci je nutná biologická přístupnost kontaminantů z vody a půdy do rostliny, která je dána zejména rozpustností látky, typem půdy a stářím kontaminace.



# Biologická rekultivace

## ■ působení prvních rostlin – průkopníků:

- ochrana půdy před působením vnějších klimatických činitelů rostlinným pokryvem
- upevnění půdy kořenovým systémem
- uvolnění těžce přístupných živin

## ■ zemědělská

## ■ ovocnářská

## ■ lesnická

# Lesnická rekultivace

- **1. dřeviny s významem převážně melioračním:**  
bez červený, bez černý, kustovnice, pámelník, čimišník, svída, netvařec, malina, ostružina, brslen, krušina obecná, řešetlák, trnka, čilimník obecný, rakytník úzkolistý, meruzalka horská, meruzalka zlatá, dřín, hloh, šípek, srstka, jasmín, zimoléz, šeřík, ptačí zob, tavolník kalinolistý, žanovec, stromy: akát, bříza bílá, jeřáb, jíva, osika, střemcha, škumpa.
- **2. dřeviny charakteru přípravného, melioračního i hospodářského:**  
olše černá, olše šedá, javor mléčný, javor horský, javor jasanolistý, lípa stříbrná, lípa malolistá, dub červený, jírovec, vrba (*Salix calliata*, *S. purpurea*, *S. caprea*, *S. cordata* aj.), jabloň planá, hrušeň planá, třešeň ptačí.
- **3. dřeviny s významem převážně hospodářským:**  
topoly euroamerické (*P. robusta*, *P. serotina*, *P. regenerata*, *P. monilifera* aj.), topoly balzámové (*P. balsamifera*, *P. trichocarpa*, *P. berolinensis* aj.), dub letní, dub zimní, jilm, jasan, ořešák vlašský, modřín, v místech bez kouřových škodlivin v ovzduší i borovice.

# Renaturalizace

- komplexnější náprava
- vede k lepšímu zhodnocení příslušných ploch oproti stavu před těžbou - cílem je kompenzace zásahu do přírody, musí směřovat k vytvoření společenství odpovídajícího lokalitě a klimatu

## Může probíhat:

- volně
- uměle zahájená a pak volně
- kontrolovaná (plánovaná, zahájená, řízená a následná péče)

## Faktory ovlivňující návrat přírodního prostředí:

- a) vzdálenost zdrojového biotopu
- b) přítomnost živin
- c) dostatek vláhy
- d) celkové mikroklima (tepelná a světelná expozice, kolísání teplot, kolísání vlhkosti vzduchu, ...)





# Objekty a jevy podléhající nápravě

- Hlubinná těžba - doly
- Důlní poklesy
- Výsypky (odvaly)
- Odkaliště
- Jámové lomy
- Stěnové lomy
- Zbytkové lomy
- Pískovny, těžební jezera
- Výtoky kyselých vod z uhelných a jiných dolů a migrace kovů
- Technologické roztoky

# Zajištění odkališť



Above: Tailings Storage Facility 2 showing the tailings beach and rehabilitated slopes of the waste rock embankment.

zlepšení stability svahu

Jakým způsobem působí zarůstání na zlepšení stability?

# Kyanidy

Kyanidy se vyrábí jako HCN (kyselina kyanovodíková) a NaCN. 80% HCN se spotřebuje při výrobě plastů, 85% NaCN spotřebuje těžební průmysl při extrakčních technologiích.

- toxicita

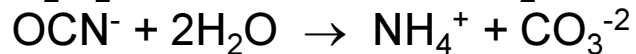
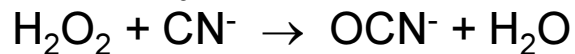
- přírodní degradace kyanidů - oxidace

HCN – vyprchá velmi rychle, značná část do 72 hodin

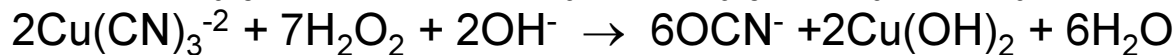
Kyanidy kovů ( $\text{Cu}(\text{CN})_3^{-2}$ ,  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{-4}$ ,  $\text{Zn}(\text{CN})_4$ ,  $\text{Ni}(\text{CN})_4$ ) – rozkládají se hůře

# Peroxidový proces

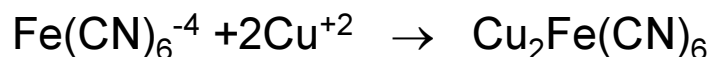
oxiduje: volné kyanidy, WAD kyanidy (weak acid dissociable) – přecházejí na kyanáty [OCN<sup>-</sup>], ty jsou dále hydrolyzovány a vznikají biologicky rozložitelné látky, amoniový iont a karbonát:



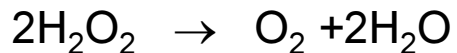
Těžké kovy jsou současně vysráženy jako hydroxidy:



kyanidový komplex Fe, který je často přítomný v roztocích při zpracování Au rud se sráží:

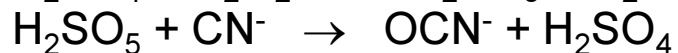
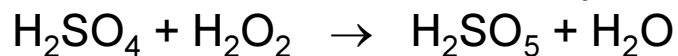


Peroxid musí být dodáván ve větších objemech protože se rozkládá:



Peroxid se může přidávat přímo do odkaliště, ale pro větší bezpečnost procesu je třeba použít technologickou kolonu (obr.), limit kyanidů pod 0,2ppm

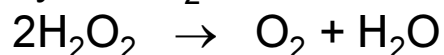
Efektivnější proces z hlediska nákladů je použití kyseliny peroxysíranové pro částečnou detoxifikaci před vypuštěním rmutu do odkaliště:



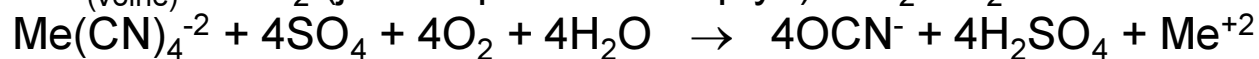
další detoxikace – přirozená degradace v odkališti

# Proces SO<sub>2</sub>/vzduch

Používá se při velmi nízkých obsazích kyanidů ve rmutu. Jeho výhody spočívají ve využití O<sub>2</sub> z rozkladu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v roztoku odkaliště nebo kolony:



oxidace:



(Me<sup>+2</sup> = Zn<sup>+2</sup>, Cu<sup>+2</sup>, Ni<sup>+2</sup>, Cd<sup>+2</sup>, ...)

pH procesu se udržuje okolo pH=7-10

Dále je přítomno malé množství Cu jako katalyzátor

neutralizace:



srážení většího množství kovů v roztoku:

