

# Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Vliv abiotických stresorů a biologické rekultivace na fyziologické  
charakteristiky rostlin

Bakalářská práce

**Vedoucí práce:** Ing. František Hnilička, Ph.D.

**Autor práce:** Dagmar Dubská, DiS.

**2012**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv abiotických stresorů a biologické rekultivace na fyziologické charakteristiky rostlin vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce Ing. Františkovi Hniličkovi, Ph.D. za cenné rady a trpělivost v průběhu tvorby práce. Dále bych chtěla poděkovat starostovi města Loštic panu PhDr. Ctiradovi Lolkovi za poskytnutí informací a své rodině za podporu v průběhu celého studia.

## **Souhrn**

Ve své bakalářské práci se zabývám vlivem abiotických stresorů a biologické rekultivace na fyziologické charakteristiky rostlin. V úvodní části popisuji jednotlivé fyzikální a chemické vlivy na rostliny. V následujících kapitolách popisuji způsoby a fáze provádění rekultivačních činností. V závěrečných kapitolách hodnotím reálný průběh rekultivace zájmového území.

Klíčová slova: abiotické stresory, antropogenní vliv, rekultivace, skládka, těžké kovy,

## **Summary**

In my Bachelor I deal with the influence of abiotic stresses and biological recultivation to the physiological characteristics of plants. In the first part I describe various physical and chemical influences on plants. In the following chapters I describe methods and operational phase recultivation activities. In the final chapters I rate the real progress of reclamation in the area of interest.

Keywords: abiotic stresses, anthropogenic influence, landfill reclamation, waste dunn, heavy metals

## Obsah

1	Úvod.....	7
2	Cíl práce .....	8
3	Literární rešerše.....	9
3.1	Stres.....	9
3.2	Abiotické stresory .....	11
3.2.1	Voda a její vliv na rostliny .....	11
3.2.1.1	Nedostatek vody.....	11
3.2.1.2	Nadbytek vody.....	13
3.2.2	Teplota .....	13
3.2.2.1	Vysoké teploty .....	14
3.2.2.2	Nízké teploty.....	14
3.2.3	Záření .....	15
3.2.3.1	Vliv záření na rostliny .....	15
3.2.3.2	Ultrafialové záření .....	15
3.3	Půdní prostředí.....	16
3.3.1	Půdní reakce .....	17
3.3.2	Kyselé půdy .....	17
3.3.3	Zasolení .....	18
3.4	Toxické látky.....	19
3.4.1	Kadmium.....	20
3.4.2	Olovo.....	20
3.4.3	Hliník .....	20
3.4.4	Vliv toxických látek na rostliny.....	21
3.4.5	Příznaky poškození rostlin .....	21
3.4.6	Fytoremediace .....	22
4	Skládka.....	23
4.1	Rekultivace skládky .....	23
4.1.1	Fáze rekultivace .....	24
4.1.1.1	Fáze přípravná .....	25
4.1.1.2	Fáze provozně-technologická .....	25

4.1.1.3	Fáze biotechnická .....	25
4.1.1.4	Fáze postrekultivační .....	25
4.2	Plán .....	26
4.3	Biologická rekultivace skládky .....	27
4.3.1	Lesnická rekultivace .....	27
4.3.2	Sadovnická rekultivace .....	27
4.3.3	Zemědělská rekultivace .....	28
4.4	Zájmové území - skládka TKO Žádlovice .....	28
4.4.1	Rekultivace skládky TKO Žádlovice .....	29
4.4.2	Termíny realizace a přípravy stavby .....	29
4.4.3	Charakteristika území stavby .....	30
4.4.4	Urbanistické a stavebně technické řešení stavby .....	30
4.4.4.1	Zemní práce .....	31
4.4.4.2	Povrchová a podzemní voda .....	31
4.4.4.3	Popis změny stavby .....	31
5	Závěr .....	32
6	Seznam literatury .....	33
7	Přílohy .....	35
	Příloha 1 .....	35
	Příloha 2 .....	35
	Příloha 3 .....	36
	Příloha 4 .....	36
	Příloha 5 .....	37

## 1 Úvod

Životní prostředí rostlin je charakterizováno proměnlivými vnějšími podmínkami, které jsou pro jejich růst, vývoj a rozmnožování příznivé, anebo jsou méně příznivé, a díky tomu jsou rostliny nuceny se měnit a adaptovat se stávajícím podmínkám prostředí. Nepříznivé vlivy životního prostředí mohou zpomalovat životní funkce rostlin, poškozovat jednotlivé orgány rostlin či navodit odumření rostlin. Každý rostlinný druh toleruje určité rozpětí působení jednotlivých faktorů (Bláha et al., 2003).

Pro jednotlivé vlivy prostředí lze stanovit meze, které už nejsou pro vývoj a růst rostliny optimální, a kdy jsou nutné změny vlastností rostlin pro další úspěšné rozmnožování a vývoj. Na živé organismy nepůsobí pouze jednotlivé faktory vnějšího prostředí, ale komplex vlivů abiotických neboli fyzikálních a chemických faktorů, a biotických faktorů, které vstupují do vzájemných interakcí (Bláha et al., 2003).

Tato bakalářská práce popisuje negativní vlivy okolního prostředí tzv. stresory, způsobující změny fyziologie rostlin. Práce se dále zabývá principy rekultivačních činností, které se snaží o znovuoobnovení charakteru a funkce krajiny postižené převážně antropogenními zásahy.

## **2 Cíl práce**

Bakalářská práce se zabývá zpracováním a popisem stresových faktorů, které ovlivňují anatomii a morfologii rostlin, a to v souvislosti s prováděním dnes stále častějších biologických rekultivací. Rekultivace si klade za cíl obnovit biologické funkce v devastované či proměněné krajině. Cílem práce je vytyčit vliv abiotických stresových činitelů, a také vliv biologických rekultivačních činností na fyziologické charakteristiky rostlin.



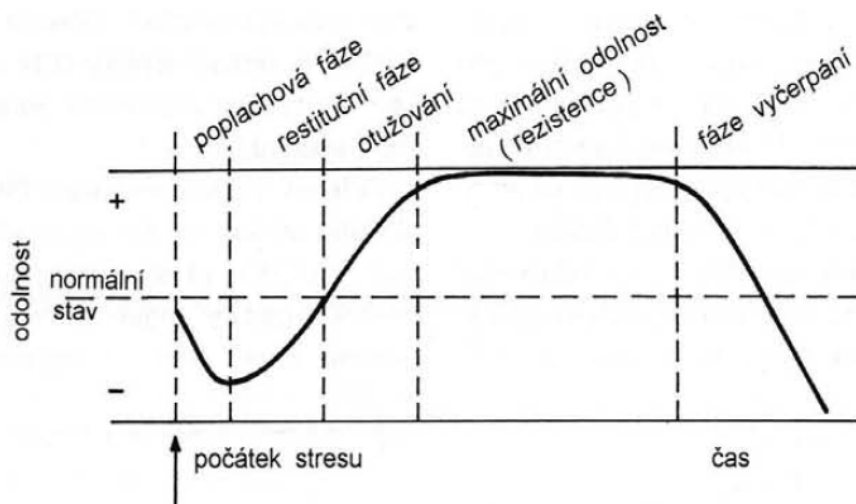
### 3 Literární rešerše

#### 3.1 Stres

Stres rostliny je stav, kdy je překročena určitá mez způsobená proměnlivostí negativních faktorů vnějšího prostředí. V mnoha případech je součástí života rostlin, které se s ním vypořádávají pomocí svých obranných mechanismů a schopností adaptace. Stres je nepříznivý stav vyvolávaný působením stresorů, a ty mohou ovlivnit vnitřní prostředí rostliny. Jedná se o negativní vnější vlivy působící na celou rostlinu. Pokud se rostlina se stresorem již setkala, má vyvinuté adaptační mechanismy, které se aktivují, a zvyšuje se odolnost rostliny vůči stresoru. Pokud na rostlinu působí abiotické nebo biotické stresory, aktivuje obranné reakce rostlina tvorbou stresových proteinů, stresových fytohormonů a osmoregulačních sloučenin s ochrannou funkcí. Abiotické faktory patří mezi nejčastější stresory prostředí vyvolávající stresové reakce (Bláha et al., 2003, Larcher, 1988).

Odolnost rostliny je většinou pasivní a dlouhodobého charakteru (např. silná kutikula na listech, výrazná impregnace buněčných stěn). Životní cykly rostliny napomáhají vyhnout se stresu. Aktivní odolnost omezuje negativní dopad stresorů až po jejich proniknutí k plazmatické membráně buněk a do symplastu. Dochází k zahájení stresové reakce (Bláha et al., 2003, Larcher, 1988).

U stresové reakce rozlišujeme jednotlivé fáze. V první poplachové fázi rostlina rozpozná pomocí svých receptorů přítomnost stresorů, a po jejich účinku je bezprostředně zahájena. Jejich působením jsou narušeny buněčné struktury a životní funkce rostliny. Receptory rostlin se nazývají fotosenzory. Pokud rostlina nepřekročí letální mez, nastupuje fáze restituční, kdy se aktivují kompenzační mechanismy. Následuje rezistenční fáze, kdy se zvyšuje odolnost rostliny vůči působícím stresorům. V konečné fázi přežívá nebo nastává smrt z vyčerpání. Výsledkem stresové reakce je určitá úroveň adaptační schopnosti. Přechodně se může zvýšit i úroveň odolnosti vůči abiotickým stresorům. Tento jev se nazývá aklimace (Bláha et al., 2003).



Obr. č. 1 Průběh stresové reakce (Larcher, 1995)

Adaptační schopnosti ovlivňují průběh stresové reakce a projev závisí na délce působení a intenzitě stresoru, ale i na genetických vázaných předpokladech odpovědi (Larcher, 1988).

Reakce rostlin na různé typy stresorů mohou být společné. V plazmatické membráně, buněčné stěně, v cytozolu nebo v jádře rostlina obsahuje specializované proteiny vykonávající funkci receptorů. Vzniklý signál z receptorů je přenášen ke konečným efektorům. Efektory jsou nejčastěji proteiny, které výhradně ovlivňují fyziologickou funkci. Může se jednat o enzymy primárního i sekundárního metabolismu, transportní proteiny v membráně, cytoskelet, transkripční faktory ovlivňující expresi genů. Následuje vytvoření stresových proteinů. K úpravě konformací bílkovin slouží chaperony, k označení poškozených proteinů ubiquitin, k rozložení proteinů na aminokyseliny slouží proteázy. Tvoří se stresové fytohormony (kyselina abscisová, etylen, polyaminy a kyselina salicylová) a osmoregulační sloučeniny (cukry, dusíkaté látky, polyalkoholy). Aktivní formy kyslíku vznikají jako nebezpečné produkty nebo mívají kladnou úlohu jako signály či ochranné látky (Bláha et al., 2003, Larcher, 1988).

Z biologického hlediska působí stresor na různých úrovních rostliny a v různých časových dimenzích. Na úrovni organel a aktivity jejích enzymů se řádově jedná o změny ve zlomcích sekund, které podstatně ovlivní funkci organel. Na úrovni buňky či pletiva se jedná o období hodiny až týden, které je nezbytné na podchycení a změření reakce rostliny. Na úrovni individuální rostliny se konečný efekt měří po delším časovém úseku, obvykle po roce, kdy

proběhne celý životní cyklus, nebo po vegetačním období rostliny. Na úrovni celého rostlinného společenstva se jedná o mnohaletou záležitost. Na úrovni ekosystému jsou změny sledovatelné řádově až po stovkách let (Bláha et al., 2003).

Veškeré biologické regulace adaptací rostlin ve stresových podmínkách se uskutečňují vždy na molekulární úrovni. Stresory jsou významné pro vývoj jedinců a pro fylogenezi druhů. Stresové prostředí může být pro jiný druh rostlin přirozeným prostředím (Bláha et al., 2003).

## **3.2 Abiotické stresory**

### **3.2.1 Voda a její vliv na rostliny**

Voda patří mezi nejvýznamnější a nejdůležitější složku prostředí. Rostliny se převážně skládají z vody. Průměrný obsah vody v protoplazmě je kolem 85 % až 95 %. Buněčné orgány chloroplasty a mitochondrie bohaté na lipidy obsahují 50 % vody. Měkké listy obsahují 80 % až 90 % a kořeny 70 % až 95 % vody (Larcher, 1988).

V rostlinných buňkách se voda vyskytuje v různých formách. Je chemicky vázanou složkou protoplazmy a vyplňuje její jemné struktury, i v buněčné stěně. Ve formě hydratační vody se spojuje s ionty, rozpuštěnými látkami a makromolekulami. Představuje 5 až 10 % celkového obsahu vody v buňce a je nezbytná pro život. Nepatrné kolísání hydratační vody způsobuje závažné změny v protoplazmatické struktuře a smrt buňky. Jako zásobní voda se ukládá v některých skupinách buněk a ve vakuolách. V prostorech mezi buňkami a ve vodivých částech systémů cév a sítkovic slouží jako transportní prostředí (Larcher, 1988).

#### **3.2.1.1 Nedostatek vody**

Nedostatek vody – sucho, je také označován jako vodní stres. Jedná se o jeden z nejzávažnějších stresorů rostlin. Při působení tohoto stresoru se snižuje aktivita všech enzymů, a tím je zpomalen i celkový růst rostliny (Bláha et al., 2003).

Klimatické poměry a průběh počasí jsou příčinou nedostatku vody dostupné pro rostliny. Příjem vody je závislý na živinách a solí obsažených v půdě a na půdní reakci. Vodní stres bývá obvykle ovlivněn zasolením (kap. 3.3.1.2). Je zapotřebí udržovat turgescenční stav buněk k udržení maximální rychlosti růstu, to se v denních hodinách daří velmi zřídka. Turgor

má přímý vliv na růst a prodlužování buněk, na otevírání průduchů a pohyb listů a květních obalů. Příjem oxidu uhličitého otevřenými průduchy je obvykle spojen se ztrátou vody, kterou nelze hned nahradit. Nejvíce postiženým orgánem bývají listy. Při snižování turgoru dochází k redukci prodlužování listů a následně k redukci fotosyntézy (Bláha et al., 2003, Larcher, 1988).

Nejcitlivější reakce na nedostatek vody bývá zjišťována u dlouhivého růstu buněk postižených orgánů. K zastavení růstu rostliny dochází dříve než ke zjevnému vadnutí či ovlivňování hlavních metabolických procesů a důsledkem je hromadění nevyužitých asimilátů v rostlině. Méně citlivé k vodnímu stresu jsou dálkové transportní procesy, a tím je umožněno rostlinám zmobilizovat rezervy organických látek ve starších orgánech a přemístit je do mladších, nejvíce do generativních orgánů k dokončení reprodukčních procesů. Jestliže se sníží turgor ve fázi vývoje květenství, nastává redukce počtu květů. U nedostatku vody při dozrávání plodů, sníží se hmotnost semen a může se zvyšovat opad plodů. K vyschnutí jsou citlivější kořeny a odolnější jsou pupeny. V průběhu vegetačního období jsou buňky k vysušení citlivější než v období klidu (Bláha et al., 2003, Larcher, 1988).

Při růstu se zvětšuje objem buňky absorbováním vody do vakuol a zvětšením plochy buněčné stěny. V případě nedostatku vody je růst omezen ve fázi kdy na primární buněčné stěně probíhá proces vkládání stavebních látek mezi stávající, tj. při plošném růstu buněčných stěn. Zpomalený růst nastává už při nízkých ztrátách vody, při poklesu turgoru jen o 0,1 – 0,2 MPa. V případě poklesu o 0,3 – 0,4 MPa nastává úplné zastavení růstu. Při poklesu na hodnoty 0,2 – 0,8 MPa dochází ke změně aktivity enzymů, snižuje se aktivita nitrátreduktázy a zvyšuje se aktivita alfa amylázy, ribonukleázy a hydrolázy. Při těchto hodnotách také klesá syntéza proteinů, cytokininů a zpomaluje se dělení buněk. Při ještě větších poklesech okolo 1MPa dochází k tvorbě aminokyseliny prolinu, cukrů, alkoholů a dalších. Postupujícím nedostatkem vody se objevují další metabolické změny a to u fotosyntézy a transportních pochodů buňky (Bláha et al., 2003).

Některé rostliny nejsou vůči suchu odolné, ale pomocí vhodně načasované tvorby semen odolných vůči vysušení nebo orgánů dobře chráněných proti vysušení se blížícímu suchu dokáží vyhnout (Bláha et al., 2003).

### 3.2.1.2 Nadbytek vody

Při nadměrném množství vody v půdě působí přímo na kořenový systém rostlin, tak i nepřímo na půdní strukturu a funkci. Molekulární kyslík se vyčerpá a při poklesu jeho koncentrace v půdním vzduchu v okolí kořenů dochází k inhibici aerobních respiračních procesů. Zpomaluje se, až zastaví funkce elektronového transportního řetězce v mitochondriích a činnost citrátového cyklu je inhibována NADH. Rostlina nemá dostatek energie a působí na ni toxické produkty fermentace (Bláha et al., 2003, Larcher, 1988).

Aklimační reakce na náhlé snížení koncentrace kyslíku spočívá ve změnách v koncentraci fytohormonů a v syntéze stresových proteinů. Zvyšuje se syntéza kyseliny abscisové, tvorba cytokininů v kořenech se zpomaluje. Při snížení koncentrace kyslíku je tvorba etylenu zvýšena. Pokud nastane anoxie přestává se etylen tvořit. Koncentrace etylenu vzrůstá v kořenech, příčinou omezení jeho ztráty difúzí do okolí (Bláha et al., 2003, Koutecký, 2000, Larcher, 1988).

### 3.2.2 Teplota

Rostlinné druhy se nejvíce rozšiřují, pokud mají dostatek vody a optimální teplotu. Teplota rostlin je ovlivněna slunečním zářením, které ohřívá teplotu vzduchu, a tím i celý povrch rostliny. Jejich vlastní teplota se vyrovnává teplotě okolí. Vývojové stupně rostlin probíhají v určitém teplotním rozmezí a mají své optimální pracovní teploty. Optimální, minimální, a maximální teploty pro rostliny se mohou měnit při adaptování rostlin v prostředí. Hranici pro přežití nazýváme nejnižší a nejvyšší teploty, ve kterých rostlina přežívá. Pokud je překročena hranice aktivity, životní pochody se zpomalují až na minimální rychlost. Při překročení letální hranice dochází k trvalému poškození, a rostlina zaniká. Pro rozšíření rostlin v areálu, musí být schopny přežít v extrémních podmínkách a současně by měly být splněny tepelné nároky na kvetení, zrání a klíčení semen, které se odlišují od rozmezí pro růst a rozvoj vegetativních orgánů (Bláha et al., 2003, Larcher, 1988).

Citlivost životních pochodů rostlin vůči teplotě je různá. První účinek, který nastává, je zastavení pohybu protoplazmy, které je přímo závislé na energii dodávané dýcháním, a na dostupnosti fosfátů s vysokým energickým obsahem. Důsledkem toho se snižuje rychlost fotosyntézy. Poškození chloroplastů je doprovázeno zbytkovou a často trvalou inhibicí

fotosyntézy. V konečném stadiu se porušuje polopropustnost biologických membrán. Buněčné struktury selhávají a buněčná plazma proniká do mezibuněčného prostoru (Larcher, 1988).

### **3.2.2.1 Vysoké teploty**

Dle reakce na vysokou teplotu rostliny dělíme do skupin, které citlivěji reagují na vyšší teplotu a relativně snázející vysokou teplotu. Extrémní vysoké teploty způsobují odumírání poškozením membrán a denaturací bílkovin. Termolabilní enzymy ztrácí svou aktivitu, a tím se desorganizuje metabolismus nukleových kyselin a bílkovin a buňky mohou odumřít. Rozpustné dusíkaté sloučeniny se poté hromadí ve velmi vysoké koncentraci a unikají z buňky. Dále se tvoří toxické produkty, které metabolické procesy nejsou schopny zpracovat. V důsledku působení vysoké teploty rostlina zpomaluje dýchání, a aklimační reakce nastává za hodinu po působení stresoru (Bláha et al., 2003, Larcher, 1988).

### **3.2.2.2 Nízké teploty**

U rostlin pozorujeme citlivost na chlad, kdy teploty jsou nad bodem mrazu a mohou způsobit poškození rostliny. Doba působení je u druhů různá, a reakce na stres se neprojeví po snížení teploty pod určitou mez. Výsledkem působení stresoru je zrychlené dýchání rostliny. Pomocí dýchání se rostlina vyrovnává se vzniklým poškozením, a přizpůsobuje se okolnímu prostředí. Díky tomu se naruší rovnováha jednotlivých metabolických procesů a buňka odumírá. Citlivější na chlad jsou květní orgány v raném stádiu vývoje a v průběhu gametogeneze. Pokud chlad přetrvává, poškozují se vazby v buněčných membránách, a tím dochází ke změně vlastností fyzikálních i chemických. U vrstvy z lipidů se mění polotekutá konzistence na gel. To způsobí narušení transportních mechanismů i osmózy. Nastává úhyn buňky z nedostatku energie (Bláha et al., 2003).

Citlivost na mraz vzniká u extrémních nízkých teplot, způsobující poškození biomembrán a selhání metabolismu. Rostliny odolné vůči nízkým teplotám mohou být poškozeny tvořením ledu v pletivech. Protoplasty s vysokým obsahem vody zamrzají při podchlazení na nízkou teplotu vnitrobuněčně a buňka zaniká. Led se může vytvářet i extracelulárně, a to v mezibuněčných prostorech a mezi buněčnou stěnou a protoplastem. Začne se odčerpávat voda z protoplastů, které se zmenšují, a tím současně stoupá koncentrace rozpuštěných

látek. Redistribuce volné a vázané vody a ledové fáze trvá až do doby, než nastane v protoplazmě rovnovážný stav vodního potenciálu mezi ledem a vodou (Larcher, 1988).

Odebírá-li se voda z protoplazmy vysoušením nebo zamrznáním, jsou inaktivovány enzymové systémy napojené na membrány a přispívají k syntéze ATP a fosforylaci. Inaktivaci působí nadměrné a silně toxické koncentrace iontů solí a organických kyselin v nezamrznutém roztoku. Sacharidy a jejich deriváty, některé aminokyseliny a bílkoviny působí jako ochrana membrán a enzymů před nežádoucími teplotami (Larcher, 1988).

### **3.2.3 Záření**

Život na Zemi spočívá na toku energie vyzařované sluncem do biosféry. Záření je zdroj energie ovlivňující distribuci tepla, vody, organických látek a výsledkem je vznik prostředí umožňující udržovat život (Larcher, 1988).

#### **3.2.3.1 Vliv záření na rostliny**

Záření je pro rostlinu zdrojem energie a stimulatorem vývoje, ale může způsobit i poškození rostliny. Pro průběh fotosyntetických procesů v zelených rostlinách se využívá radiační energie vlnové délky mezi 380 a 710 nm. Fotoreceptory působící při fotosyntéze jsou tvořeny chlorofyly s maximální absorpcí v červené a modré části spektra a s přídatnými plastidovými pigmenty, které absorbují v modré a UV oblasti. Záření působí na stavbu rostlin na subcelulární, buněčné a organismové úrovni, a synchronizuje vývoj a rytmické procesy životního cyklu s diurnálními změnami světla a tmy a ročními obdobími. Rostliny jsou schopny se přizpůsobit intenzitě světla a jeho spektrálnímu složení (Larcher, 1988).

Sluneční záření a jeho spektrální složení je pro rostliny zdrojem tepelné energie a nezbytné energie pro fotosyntézu. Při extrémních hodnotách může pro rostliny představovat významný stresový faktor, stejně jako působení ultrafialového záření (Bláha et al., 2003).

#### **3.2.3.2 Ultrafialové záření**

UV záření dělíme do tří skupin podle rozsahu vlnových délek. UV záření v oblasti vlnové délky 200 až 400 nm představuje 7 % z dopadajícího slunečního záření. UV-C v rozsahu 200 až 280 nm a částečně i UV-B v rozsahu 280 až 320 nm je nejvíce absorbováno v atmosféře. UV-A

v rozsahu 320 až 400 nm je nejméně atmosférou zachycováno, záření má nejmenší škodlivý účinek na živé organismy než zbytek UV-B. V běžném případě velkou část UV záření zachytí ozonoféra, ovšem, při jejím porušení proniká k zemi výrazně větší množství tohoto škodlivého záření. UV záření způsobuje fotooxidaci, a ve vysoké míře také likvidaci nukleových kyselin, bílkovin a destrukci protoplazmy. UV záření poškozuje organizmy již na buněčné úrovni, je porušován molekulární metabolismus a protoplazma. Toto poškození je dáno porušením disulfidových vazeb v molekulách bílkovin a dimerizací thyminových skupin DNA. V případě, že se jedná o dlouhodobé působení, dojde ke změně aktivity enzymů a začnou se objevovat genové mutace, v konečném stádiu pak nastává smrt buňky. Vyšší rostliny absorbují UV záření pokožkou, ale i tak dochází k omezení fotosyntézy a růstu. Nižší rostliny jsou pak následkem UV záření ničeny a usmrcovány (Bláha et al., 2003).

Ke změnám v růstu a vývoji rostlin dochází díky poruchám v replikaci DNA a expresi genetické informace a poškození asimilačního aparátu. Viditelné změny jsou patrné u listů, kdy se jejich plocha redukuje, povrch listů může být lesklý, stonek je zakrslý. Důsledkem je snížení množství biomasy. Další projevy ovlivňují kvetení, opylení a vývoj semen. Snižuje se tvorba květů a mění se rytmy kvetení (Atwell, 1999).

U rostlin se vyvinuly dva obranné mechanismy proti škodlivému vlivu UV-B záření. Rostlina má schopnost poškození zredukovat a zároveň zamezit vstupu UV-B do asimilačního parenchymu listů (Bláha et al., 2003).

### **3.3 Půdní prostředí**

Půda je přírodní útvar, který je představován systémem minerálních látek tvořeným za účasti klimatu, povětrnostních vlivů a živých organismů, zvětráváním geologického substrátu z povrchových zvětralin zemské kůry a zbytků rostlin. Půda je velice složitý komplex anorganických a organických součástí přírody. Vzájemným působením jednotlivých složek je dána struktura, složení a vlastnosti půdy. V půdě se vyskytuje celá řada prvků pocházející z matečné horniny (Bláha et al, 2003).

Rostlinné živiny jsou v půdě obsaženy v roztoku, anebo vázané. V půdním roztoku je rozpuštěno méně než 0,2 % celkové půdní zásoby živin. Kolem 98 % biogenních prvků v půdě



je uloženo v opadu, humusu a těžko rozpustných anorganických sloučeninách. Tato zásoba se stává přístupná rostlinám velmi pomalu. Zbývající 2 % živin jsou vázána na půdní koloidy (Larcher, 1988).

Minerální živiny organicky vázané v biomase a půdě plní důležitou roli vytvářením a udržováním živinné zásoby, tím chrání složky ekosystému před zátěží vnějšího prostředí (Larcher, 1988).

### **3.3.1 Půdní reakce**

Půdy jsou převážně mírně kyselé až neutrální. Půdní pH se mění během roku. Významný vliv mají srážky v ročním období. U rostlinných druhů jsou rozdílná rozmezí tolerance a rozdílné fyziologické požadavky ve vztahu k půdní reakci. Půdní reakce má přímý vliv na životaschopnost rostlin. Většina cévnatých rostlin je amfitolerantní, tzn., že mohou žít při pH mezi 3,5 a 8,5. Při pH menším než 3 a větším než 9 je vážně poškozována protoplazma v kořenových buňkách cévnatých rostlin (Larcher, 1988).

### **3.3.2 Kyselé půdy**

Jedná se o půdy s nízkým pH faktorem. Tyto půdy působí na redukcii kořenové hmoty, příjem vody a živin, a také snižují možnosti jejich distribuce do jednotlivých částí rostlin. Reakce půdy není závislá jen na jejím složení, matečné hornině a dalších přirozených faktorech. V současnosti je výrazně ovlivněna činností člověka. Okyselování půd je celosvětový problém. Na Zemi se jedná cca o 1 miliardu hektarů půdy. V ČR je přibližně 30 % kyselých půd. Mezi faktory, které snižují hodnoty půdní reakce, náleží:

- kyselé deště,
- fyziologicky kyselá hnojiva,
- nedostatečné vápnění,
- nedodržování osevních sledů,
- nepoužívání strniskových meziplodin.

V přílišně kyselých půdách je uvolněno mnoho iontů Fe, Mn, Al na rozdíl od iontů Ca, Mg, K, P a Mo, které se z půdy vyčerpávají nebo jsou obsaženy v obtížně dostupných formách.

V případě nízkého pH, mají kořeny na rozdíl od rostlin pocházejících ze standardních podmínek, zcela změněnou morfologii. Většina rostlin je amfitolerantní – dokáží existovat v širokém rozsahu pH, ale nejlépe se stejně rozmnožují a vyvíjejí v určitých podmínkách (Bláha et al., 2003).

Rostliny podle tolerance k půdní reakci dělíme na tři skupiny:

- acidofyty – acidofilní rostliny pH do 6,7
- neurofyty – neurofilní rostliny pH kolem 7,0
- alkalofyty (bazifyty) – alkalofilní rostliny od 7,2

Obecně ovšem platí, že při půdním pH nižším než 5 je snížený výnos velké části plodin – jsou omezeny základní metabolické procesy (Bláha et al., 2003).

### **3.3.3 Zasolení**

V přirozených podmínkách se jedná o nepříliš často se vyskytující stresor. Slané půdy vznikají klimatickými a půdními změnami. V přímořských oblastech nebo ve vnitrozemí, kde je výpar větší než srážky. Převážně to bývají pouště a polopouště, v ČR jsou slané půdy v oblastech minerálních pramenů. Stres zasolením se projevuje na buněčné úrovni, dochází k bubření protoplazmy a zastavení růstu. Většina solí se ukládá ve vakuole. Působení solí ovlivňuje aktivitu enzymů. Dochází k poruchám asimilace dusíku, tvoří se prolin, což vede k odlišnému metabolismu bílkovin a vznikají toxické produkty. Díky zvýšenému množství solí v půdě jsou kořeny rostlin zakrnělé, či méně vyvinuté a dochází k jejich poškození. Vznikají nekrózy, které vedou k úhynu části kořene. Listy zůstávají malé, žloutnou a usychají už v průběhu vegetačního období. V pupenech také vznikají nekrózy, nebo pupeny raší opožděně, a tvoří se zakrnělé letorosty (Bláha et al., 2003).

Odolnost rostlin proti zasolení můžeme rozdělit do tří skupin:

- halofytní – snáší zasolení půdy,
- obligátně halofytní – snáší vysoké koncentrace solí a vyžadují je pro svůj další růst,
- halofóbní – slanostřezné, nesnáší větší koncentraci solí.

Základní obrana rostlin proti zasolení je osmoregulace, kdy vzroste osmotický tlak kořenů (Bláha et al., 2003).

### **3.4 Toxické látky**

Díky antropogenní činnosti se dostávají do prostředí látky jedovaté pro rostliny, které jsou jimi přijímány z ovzduší, vody či půdy. Mezi nebezpečné sloučeniny řadíme oxid siřičitý, halogenidy vodíku, ozón, oxidy dusíku, čpavek, uhlovodíky, dehtové páry, saze a prach. (Bláha et al., 2003).

Přírodním toxicky působícím podkladem může být hadec (serpentin). Půdy hadcového původu mají malé množství iontů Ca, K a Na, a velké množství uhličitanu hořečnatého. V celkově alkalickém prostředí působí poměr Ca:Mg na rostliny toxicky. V těchto případech je připojen častý výskyt těžkých kovů, jako je Cr, Ni.

Půdy, které mají vyšší koncentraci těžkých kovů (Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Se, Hg, Pb) se objevují na matečných horninách – rudách (Orcut et Nilsen, 2000).

Přítomnost těžkých kovů narušuje otevření průduchů, dýchání, omezuje fotosyntézu, růst rostliny apod. Na takových půdách rostou pouze metalofyty, jsou to specializované rostliny, které můžeme využít i jako indikátor těchto hornin.

Další faktor, který je zdrojem zvýšeného množství toxických látek v přírodě, je vulkanická činnost. Mimo výše popsané přirozené způsoby kontaminace těžkými kovy je půda nejčastěji kontaminována průmyslovou činností člověka, nebo v souvislosti s rychlým rozvojem automobilové a letecké dopravy. Nejen průmyslová, ale také zemědělská činnost člověka, zejména při používání nekvalitních průmyslových hnojiv, dodává do půdy společně s hnojivy i těžké kovy, jako je např. Cd obsažené ve fosforečných hnojivech (Bláha et al., 2003).

Pro celou řadu rostlin jsou těžké kovy toxické i v nízkých koncentracích. Ionty těžkých kovů, které se dostávají do kořenů, inaktivují enzymy a redoxní systémy, tím se omezuje růst kořenů. Zpomalení růstu je způsobeno potlačením dělení buněk a snížením jejich dlouhivého růstu. Nejvyšší koncentrace těchto kovů jsou při rozborech nacházeny v kořenech, do nadzemních částí se ionty dostávají jen částečně a utlumují fotosyntézu a výdej vody.

Je známo, že rostliny, které ukládají těžké kovy do vakuol a jejich membrán, tím chrání zbývající obsah buňky před toxickým efektem obdobným způsobem, jako membrány buněk v lidských játrech (Bláha et al., 2003).

#### **3.4.1 Kadmium**

Bláha et al. (2003) uvádí, že při působení kadmia dochází k inhibici syntézy bílkovinných komplexů fotosystému, zejména je poškozován fosfoenolpyruvát karboxyláza. Dále dochází k ovlivňování tvorby thylakoidních membrán a následnému rozkladu chlorofylových molekul či ke vzniku menších chloroplastů. Zajímavé je zjištění, že nízké koncentrace kadmia zvyšují transpiraci a stomatální vodivost, aniž by byly pozorovány změny ve fotosyntéze. Vysoké koncentrace, při nichž dochází k poškození kořenů, již transpiraci snižují (Orcut et Nilsen, 2000).

#### **3.4.2 Olovo**

Je jeden z nejvíce rizikových těžkých kovů, a nejvíce se vyskytuje ve vodě, biosféře i v půdě. V přirozených ekosystémech se vyskytuje pouze v malých množstvích ve všech rostlinách, hlavním zdrojem kontaminace olovem je ovšem činnost člověka. Rostlina přijímá olovo pasivně a příjem olova je limitovaný teplotou a reakcí půdy. Z půdního roztoku tak rostliny přijímají velké množství olova. Olovo je v těle rostlin vázáno pevně a nijak se nepohybuje. Ukládá se ve stěně buněk, a tím je znemožněn jeho pohyb v rostlině. V nízkých koncentracích může stimulovat růst, ve vyšších pak narušuje metabolismus vápníku, snižuje příjem oxidu uhličitého, omezuje příjem vody a má vliv na dělení buněk. Ve vysokých koncentracích vedou ke vzniku chlorózu – žloutnutí listů, listy zůstávají zakrnělé. Mimo vnitřní kontaminace olovem může být kontaminován i povrch rostliny. Hlavní příčinou vnější kontaminace jsou výfukové plyny a rozvoj automobilové dopravy (Bláha et al., 2003).

#### **3.4.3 Hliník**

Tento prvek se neřadí do skupiny těžkých kovů, ale svým účinkem se k jejich vlastnostem blíží. Je jedním z nejčastěji se vyskytujících kovů v zemské kůře. Rozpustnost hliníku nepřímo úměrně roste s klesajícím pH prostředí. Při nižším pH než 4,5 se v půdním roztoku objevují ionty hliníku, které jsou pro celou řadu organismů toxické již v mikromolárních

koncentracích. Proto je hliník jedním z hlavních toxických faktorů v kyselých půdách. Největší množství hliníku se ukládá v kořenech, proto mezi první příznaky stresu hliníkem patří snížení až zastavení růstu kořenů. Kořenové vrcholky postupně žloutnou, hnědnou, až zcela zčernají (Orcut et Nilsen, 2000).

Rostliny podle odolnosti vůči toxicitě dělíme na rostliny schopné vylučovat nebo akumulovat toxické látky. Rostliny, které vylučují, mají schopnost zabránit toxickým kovům vstoupit do buňky. Rostliny, které akumulují, jsou schopny pojmout vysoký obsah kovů do buňky (Bláha et al., 2003).

#### **3.4.4 Vliv toxických látek na rostliny**

Stanovení účinků některých nečistot se provádí součinem jejich koncentrace a doby jejich působení. Prahová koncentrace určuje rozmezí spodní hranice, kdy nenastávají patrné změny i při dlouhodobém vystavení znečištění. Při překročení horní hranice a při velmi krátké expozici bývá způsobeno vážné poškození. Jedná se o akutní poškození s viditelnými příznaky, např. vybělení chlorofylu, odbarvení listů, plošné nekrózy pletiv a orgánů nebo zánik celé rostliny. Tento typ poškození se většinou odehrává v bezprostřední blízkosti zdroje znečištění. Při nízkých koncentracích nečistot nemusí být poškození patrné. Poté se prokazují změny chemické, biochemické, submikroskopické a funkční (Larcher, 1988).

#### **3.4.5 Příznaky poškození rostlin**

Mezi příznaky poškození rostlin pozorujeme hromadění toxických látek, změny pH na povrchu prýtu a v pletivech, snížená nebo zvýšená aktivita enzymů, zvýšený obsah sloučenin obsahující skupinu SH a fenolů, snížená hladina kyseliny askorbové v listech, potlačení fotosyntézy, zvýšená respirace, snížená produkce sušiny, změny v permeabilitě buněčných membrán, poruchy plodnosti a poruchy vodního provozu, zhoršená mrazuvzdornost. Dlouhodobé zatížení znečišťujícími látkami se může vyvinout v chronické poškození metabolismu s nevratnými následky. Při znečištění prostředí rozpoznávání poškození není specifické. Stejná látka působí na různé rostliny odlišně a stejný symptom poškození může být vyvolán jinými škodlivinami. Způsob a míru poškození modifikují všechny současně působící vnější faktory a zátěže. Ty zesilují nebo oslabují působení škodlivých látek (Larcher, 1988).

Různé druhy a jejich odrůdy mají odlišnou citlivost ke znečištění. Citlivé druhy mohou sloužit jako indikátory a druhy velmi odolné jako akumulátory, tzn., že se v rostlinách hromadí nežádoucí látky, které nevyvolávají fyziologické změny rostliny (Larcher, 1988).

#### **3.4.6 Fytoremediace**

Její definice je využití zelených rostlin a s nimi asociovaných mikroorganismů, půdních doplňků a agronomických technik pro odstranění nebo transformaci kontaminantů životního prostředí. Při fytoremediacích se uplatňují čtyři různé procesy. První z nich je extrakce kontaminantů z půdy a z vody, druhý proces spočívá v degradaci organických sloučenin. Další proces je volatilizace organických sloučenin a některých anorganických sloučenin Hg, Se a As. Poslední proces je stimulace mikrobiálního metabolismu v rhizosféře. Vhodné rostliny pro fytoremediaci musí splňovat určité parametry. Nejvýznamnější je rychlý růst, velké množství biomasy, hluboké kořeny, lehce sběratelná nadzemní část. Těžké kovy jsou z půdy transportovány do kořenů, stonků a listů. Poté jsou rostliny sklizeny a zpracovány. Následně je kontaminovaná půda osázena dalšími rostlinami. Celý proces se opakuje, než jsou stanoveny přijatelné koncentrace kovů v půdě (Mališová, Mestek, 2009).

## **4 Skládka**

Dle zákona č. 185/2001 Sb. je technické zařízení určené k odstraňování odpadů jejich trvalým a řízeným uložením na zemi nebo do země. Uložení na skládku mohou být odstraňovány pouze ty odpady, u nichž jiný způsob odstranění není dostupný nebo by přinášel vyšší riziko pro životní prostředí, nebo riziko pro lidské zdraví, a pokud uložení odpadu na skládku neodporuje tomuto zákonu nebo prováděcím právním předpisům.

### **4.1 Rekultivace skládky**

Jedná se o činnost směřující k využití plochy skládky po jejím uzavření v souladu s územně technickou dokumentací a projektem. Rekultivace skládky se provádí dle normy ČSN 83 80 35 "Uzavírání a rekultivace skládek".

Nejrozšířenějším způsobem likvidace odpadů, vzniklých činností člověka, je skládkování. V současné době je legislativně omezen charakter odpadů, který lze na skládky uložit. U likvidace odpadu se spíše upřednostňuje jeho recyklace, nebo spalování. Vzhledem k nedostačující kapacitě spaloven je ovšem nutné některé ze současných skládek rozšířit. Po dosažení kapacity skládky je nutné provést její rekultivaci, v návaznosti na problematiku skládkování a její vliv na životní prostředí byl uveden v platnost zákon o odpadech č.237/1991 Sb. Byly také vydány technické normy ČSN stanovující základní podmínky pro sledování provozu skládek odpadů z hlediska vlivů na okolní prostředí a z hlediska bezpečností a funkční spolehlivosti jednotlivých konstrukčních prvků skládky. Mezi další nejvýznamnější ustanovení patří Zákon o odpadech č.185/2001 Sb., jenž stanovuje podmínky provozu skládky. Skládka, je podle stavebního zákona č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu ve znění pozdějších předpisů, definována jako zařízení, které je určeno k ukládání předepsaných druhů odpadů, za předpokladu splněných daných technických a provozních podmínek. Skládka by po jejím naplnění a následné rekultivaci měla splynout s okolní krajinou a neměla by nijak představovat ekologickou zátěž a mít další vliv na životní prostředí.

Rekultivace je soubor opatření, postupů, úprav a činností, které se využívají na revitalizaci půd znehodnocených přírodní, nebo převážně lidskou činností. Prvotně docházelo

ke znehodnocování půdy přírodními faktory, s krátkodobým průběhem, jako je např. výbuch sopky, nebo s průběhem dlouhodobým, jako jsou půdotvorné procesy. V současné době, ale mezi nejvýznamnější činitele znehodnocování půdy patří industrializace, těžba nerostných (neobnovitelných) přírodních zdrojů a likvidace odpadů – skládkování (Zákon č. 185/2001 Sb.). Zaměřme se na rekultivaci skládek. Rekultivace skládek jako taková, by se dala popsat, jako činnost směřující k využití stávající plochy skládky i po jejím naplnění a uzavření. Předpokladem k udělení souhlasu provozování skládky je projekt v souladu s územně technickou dokumentací řešící problematiku následné rekultivace.

Rekultivace skládky, prováděná po zaplnění její kapacity, je technicky a technologicky složitý proces. V průběhu rekultivace se řeší pokládka technických vrstev, které jsou nejvíce nákladnou částí procesu. Další oblasti, které jsou řešeny, jsou především odvodnění a odplynění. Celé těleso skládky je v konečné fázi zcela začleněno do krajiny, nebo se nadále využívá pro lesnickou či jinou činnost. Po ukončení procesu rekultivace, navazuje fáze následné péče, která v závislosti na typu skládky může trvat 30 až 40 let. V souladu se zákonem č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu a zákonem o odpadech č. 154/2010 Sb. je skládka zařízení provozované ve třech na sebe navazujících fázích provozu, včetně zařízení provozovaného původcem odpadů za účelem odstraňování vlastních odpadů a zařízení určené pro skládkování odpadů s výjimkou skladování odpadů přechodně soustředěného v zařízení k tomu určené po dobu nejvýše 3 let před jejich využitím nebo 1 roku před jejich odstraněním (Vyhláška MŽP 294/2005 Sb).

#### **4.1.1 Fáze rekultivace**

Rekultivace skládky obvykle probíhá současně s její činností (skládkováním). Rekultivace se skládá ze čtyř časově oddělených fází.



#### **4.1.1.1 Fáze přípravná**

V průběhu přípravné fáze se uplatňují záměry v dokumentaci územního plánování, její smysl je především preventivní a optimalizační. Orgán, který má na starosti územní plánování, pak ve schvalovacím řízení vydá závazné rozhodnutí. V této fázi mohou např. různá ochranná sdružení, či veřejnost, vznést námitky k plánované výstavbě (při samotné realizaci, již další připomínky nejsou zohledněny v územním rozhodnutí). Po vydání územního rozhodnutí následuje zpracování projektu, ten musí být schválen ve stavebním řízení. Současně je nutné v průběhu této fáze získat pro plánovaný záměr dostatečné finanční prostředky (Jakoubek, 1997).

#### **4.1.1.2 Fáze provozně-technologická**

Tato fáze se dá popsat jako samotné období provozu skládky. V této fázi je zásadně ovlivněn rozsah a míra devastace krajiny a tím i výsledná úspěšnost rekultivace. Pro následnou rekultivaci a tvarování skládky, je nutné již v průběhu provozně-technologické fáze dbát na dodržování postupů při odklizení zemin a na jejich rozdělení podle typů půdy. Také v této fázi probíhá instalace odplyňovacího zařízení (Jakoubek, 1997).

#### **4.1.1.3 Fáze biotechnická**

Jedná se o fázi vlastní rekultivace, ta se dále dělí na rekultivaci technickou a biologickou. Základem technické rekultivace jsou úpravy terénu, navážky zemin, hydrotechnická opatření, v případě potřeby stabilizace svahů a výstavba komunikační sítě. K těmto úpravám jsou používány stroje jako dozery, buldozery, příkopové pluhy, frézy a jiné. Důležitý úkol, který je v průběhu řešen je určení objemu zemních prací (Jakoubek, 1997).

Při biologické rekultivaci probíhají činnosti lesnické a zemědělské a jsou v ní dokončovány rekultivační práce, upravují se tak fyzikální a chemické vlastnosti půdy (viz. kap. 4.3) (Jakoubek, 1997).

#### **4.1.1.4 Fáze postrekultivační**

Je poslední (post)fází celkového průběhu rekultivace, rekultivované pozemky se předávají k užívání a dále pokračuje monitorování vlivů na okolní prostředí (Jakoubek, 1997).

## 4.2 Plán

V případě staveb, které žádají o dočasné vyjmutí ze zemědělského půdního fondu. Je vyžadován plán rekultivace, obsah takového plánu je uveden ve vyhlášce č. 13/1994 Sb., ta je dále upravena o některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. V příloze č. 7 této vyhlášky je popsán způsob zpracování tohoto plánu. Po ukončení užívání musí být půda navrácena do původního zemědělského fondu.

- Část technická - je třeba uvést množství způsobů a využití skrývaných zemin, cíl a způsob terénních úprav pozemků, výsypek a odvalů včetně příprav pozemků pro biologickou rekultivaci. Dále úpravy vodního režimu, meliorační opatření a způsob realizace provozních komunikací.
- Část biologická - je v ní potřeba navrhnout meliorační osevní postupy, intenzitu hnojení a cíl rekultivace.
- Časový postup technické a biologické rekultivace.
- Rozpočet nákladů na provedení rekultivace.
- Mapové podklady – v těchto podkladech musí být vyznačeny požadavky vymezené ve výše uvedených bodech, profily terénu před zahájením a po dokončení rekultivace včetně napojení tohoto územního celku na okolní terén (Černý L., 2005).

Zahájení rekultivace je navázáno na naplnění prostoru skládky, ale lze jej naplánovat tak, aby průběh byl postupný podle uzavírky (naplnění) jednotlivých sekcí skládky. Současně je nutné zabezpečit předepsaný způsob tvarování tělesa v souvislosti se zabezpečením dostatku rekultivačních zemin (Jakoubek, 1997).

### **4.3 Biologická rekultivace skládky**

Je součástí biotechnické fáze a je prováděna po dokončení technické rekultivace. Jde o biologická a zemědělská opatření, která mají za úkol vytvořit v technicky rekultivovaných oblastech novou svrchní vrstvu půdy, jež vytvoří plnohodnotné prostředí vhodné pro růst rostlin v co nejkratším časovém úseku. Jako nejvhodnější se jeví uplatnění těchto postupů již v průběhu skládkování, tak, aby následné začlenění tělesa skládky do krajiny bylo po jejím uzavření co nejsnadnější a její plocha mohla být využita pro výrobní, ekologické či rekreační účely v souladu s územně plánovací dokumentací. Nejvhodnějším využitím rekultivovaných ploch jsou taková řešení, která jsou i ekonomicky přínosná. Podle způsobu budoucího využití lze rozlišit biologickou rekultivaci na lesnickou, sadovnickou a zemědělskou. V závislosti na druhu biologické rekultivace je bezprostředně nutné zvolit vhodnou tloušťku rekultivační vrstvy (Jędrzejko et al., 2008, Makhnev et al., 2010).

#### **4.3.1 Lesnická rekultivace**

Jedná se o biologický způsob rekultivace, jelikož v konečné fázi je výsledkem les, který plní funkci klimatickou, vodohospodářskou a hygienickou. Les se následně může stát součástí územního systému ekologické stability, nebo ekonomicky využitelnou surovinou (Hendrychová, 2008).

Před zahájením lesnické rekultivace je nutné oživení půdy, to se provádí vyséváním melioračních rostlin, jejich hnojením a zaoráváním v průběhu až 5-ti letého období. Výsev je prováděn v podzimních měsících s minimálním 6-ti měsíčním odstupem od ukončení technické rekultivace. Volba dřevin je provedena v závislosti na stanovištních podmínkách, je dbáno na druhovou skladbu, péči, délku vegetační doby, náchylnost k chorobám, rychlost růstu, schopnost regenerace a klimatické podmínky. Využívají se pouze takové dřeviny, které svými kořeny neporuší izolační vrstvu alespoň po dobu 30-ti let. Okolí sazenic je vhodné udržovat ve stavu bez plevelu po dobu minimálně 2let. V následujících letech se probírkami a prořezávkami porosty udržují a vychovávají (Hendrychová, 2008).

#### **4.3.2 Sadovnická rekultivace**

Za sadovnickou rekultivaci je označováno ozelenění uzavřené skládky, v místech kde se nepočítá s výraznějším rekreačním využitím, nebo ozelenění, které bude tvořit lesopark, či okrasný park, určený k rekreačním účelům občanů (ČSN 83 8035, 1998). Tento typ

rekultivace je využíván v blízkosti lidských sídel, a je ve větší míře využívána výsadba keřů a zatravnování. Výsadba dřevin je analogická předchozímu typu rekultivace, je nutné střídat výšky dřevin, uplatňovat skupinovou výsadbu a využívat takové druhy, které nenaruší odvodňovací systém a izolační vrstvu pod vrstvou zeminy (ČSN 83 8035, 1998).

#### **4.3.3 Zemědělská rekultivace**

Pokud zrekultivovaná plocha úrovně skládky navazuje na zemědělskou půdu, je využíván tento typ rekultivace. Tento typ rekultivace je následně využíván pouze pro pěstování energetických plodin, jelikož je nutné dodržovat podlimitní úroveň nežádoucích látek a to zejména těch toxických. Limity stanovené u energetických plodin jsou mírnější. Při zemědělské rekultivaci je využíváno hnojení jak průmyslovými, tak i organickými hnojivy (ČSN 83 8035, 1998).

#### **4.4 Zájmové území - skládka TKO Žádlovice**

Území kolem skládky „rekultivace skládky TKO Žádlovice“ náleží geologicky tzv. Zábřežskému kristaliniku. Podloží tvoří mozaika drob, drobových slepenců a břidlic bonzovského souvrství, které je součástí flyšové formace spodnokarbonského stáří. Půdy jsou převážně oligobazické kambizemě z přemístěných zvětralin. Území není geomorfologicky příliš členité, je tvořeno plošinami holoroviny smírnými táhlými svahy exponovanými k východu (Machar, 2006).

Oblast krajinného rázu je vymezena jako vizuálně uzavřený krajinný celek, omezený okraji lesních komplexů a horizontem mírně klesajícího svahu směrem k Žádlovicím. Osou oblasti krajinného rázu je silniční komunikace Žádlovice-Pavlov. Jedná se o pahorkatiny krajinný tip kulturní krajiny z vyváženého podílu lesů a zemědělské půdy. Krajinnou dominantu oblasti tvoří na jejím severním okraji lesní komplex Horka, na jihu lesní komplex Rodlenu. Nad mořskou výškou oblasti se pohybuje kolem 335 m. n. m. Vlastí lokalita skládky TKO vybíhá jako relativně málo nápadné těleso z komplexu rozsáhlého lesa, a tvoří jeho zdánlivě přirozené pokračování až k silniční komunikaci (Machar, 2006).

Historická a kulturní charakteristika krajinného rázu lokality TKO Žádlovice je podmíněna faktem, že se jedná o uměle vzniklé těleso antropogenní činnosti. Historická i kulturní charakteristika krajinného rázu lokality je spjata s dobou vzniku skládky. Dokumentuje stav odpadového hospodářství v dané době, kdy zcela převažujícím způsobem legálního

odstraňování odpadů je jejich ukládání nařízené skládce zabezpečené z hlediska rizik kontaminace podzemní vody a okolní půdy (Machar, 2006).

#### 4.4.1 Rekultivace skládky TKO Žádlovice

Stavba „rekultivace skládky TKO Žádlovice“ řešila uzavření stávající skládky, na které bylo ukončeno skládkování. Jedná se o zrušenou skládku III. kategorie, která se upravila, překryla krycí vrstvou, povrch se osel a osázel stromy a keři, čímž tato lokalita v budoucnu přimkne k sousednímu lesnímu pozemku jako přechod mezi rolemi. Celkový objem uzavřené skládky činí 5398 m<sup>3</sup> – včetně krycích vrstev. Celková plocha uzavřené skládky 4775 m<sup>2</sup> (Jakoubek, 1997).

#### 4.4.2 Termíny realizace a přípravy stavby

Zpracování projektu rekultivace skládky byl do roku 1997.

Schválení projektu rekultivace skládky bylo do března roku 1997.

I. fáze

- ukončení technické rekultivace do 12/1998
- ukončení biologické rekultivace do 04/1999

V I. fázi rekultivace byly vysázeny ve stromovém patře *Sorbus Torminalis L.* (jeřáb břek), *Pinus Silvestris L.* (borovice lesní), *Betula Verrucosa* (bříza bílá), *Carpinus Betulus L.* (habr obecný), *Larix Decidua* (modřín opadavý). V keřovém patře *Prunus Spinosa L.* (trnka obecná), *Rhamus Cathartici L.* (řešetlák počistlivý), *Rosa Canina L.* (růže šípková).

II. fáze

V roce 2003 byla skládka uzavřena a provoz skládky po dobu výstavby nebyl prováděn.

Ve II. fázi rekultivace byly vysázeny ve stromovém patře, *Fraxinus Excelsior* (jasan ztepilý), *Aler Platanoides* (javor mlíč), *Tilia Cordata* (lípa malolistá), *Tilia Platyphylla* (lípa velkolistá), *Quercus Petraea L.* (dub zimní). V keřovém patře *Corylus Avellana L.* (líška obecná), *Prunus Spinosa L.* (trnka obecná), *Rhamus Catharticus L.* (řešetlák počistlivý), *Rosa Canina L.* (růže šípková), *Cornus Mas L.* (dřín obecný), *Cornus Sanquinea L.* (svída obecná), *Ligustrum Vulgare L.* (ptačí zob).

Ermakov et al. (2005) uvádí, že osídlení místními rostlinami je nejstabilnější, z důvodu schopnosti se přizpůsobit podmínkám prostředí, a možnosti vzniku tolerance k působení toxických látek.

#### **4.4.3 Charakteristika území stavby**

V současné době je skládka uzavřena a skládkování ukončeno. V minulosti zde probíhalo řízené ukládání odpadu charakteru TKO, přičemž v roce 1996 byl skončen provoz dle „zvláštních podmínek“. Na povrchu skládky je uložen především odpad charakteru stavební sutě, jež je i v ploše rozhrnut (Jurnečková, 2010).

V lokalitě skládky je vybudován monitorovací systém vrtů a vlastní skládka je technicky vybavena jímkou na infiltrát, který do ní přivádí drény z tělesa skládky umístěnými na odizolovaném dnu. Povrchovou vodu eliminují obvodové záchytné příkopy z betonových žlabovek, svádějící vodu pod hrázku čela skládky. Vlastní areál byl oplocen pletivem na ocelových sloupcích, na vjezdu opatřen uzavíratelnou branou (Jakoubek, 1997).

#### **4.4.4 Urbanistické a stavebně technické řešení stavby**

Účelem stavby bylo, rekultivovat uzavřenou skládku odpadu čímž došlo k odstranění negativních dopadů na životní prostředí.

Cílem stavby „rekultivace skládky TKO Žádlovice“ bylo v první fázi uzavření již zavezené skládky, a uvedení jejího povrchu do souladu s okolním terénem tj. jak po stránce konfigurace, tak po stránce vegetačního pokryvu. Ve druhé fázi byla rekultivace zbylé plochy areálu skládky technická a biologická. Celá stavba „rekultivace“ řeší úpravu vlastního tělesa skládky, tj. soustředění odpadů a následně překrytí tělesa skládky uzavírajícími vrstvami. (Jakoubek, 1997).

Skladba vrstvy byla dána požadavkem nepropustnosti, a dále vytvořením půdního profilu pro vegetační pokryv, který je zde navržen v celé ploše k osetí a osázení dřevinami. Zatravněný a osázený povrch byl vyspárován, aby se po povrchu odvedlo co nejvíce srážkové vody vně tělesa skládky. Podél skládky byly ponechány navržené záchytné příkopy podchycující povrchovou vodu s pozemků nad skládkou (Machar, 2006).

Veškerá tato opatření byla navržena s cílem minimalizovat průsak vod do tělesa skládky a zabránit tak jejímu promývání.

#### **4.4.4.1 Zemní práce**

Zemní práce v I. fázi se týkaly upravení stávajícího tělesa skládky odpadu do příslušného sklonu a následného překrytí skládkového tělesa. Ve II. fázi se stávající volný prostor z areálu skládky rekultivoval technicky a biologicky. Rekultivační materiál byl získán z regionu. Podmínkou překryvné vrstvy byl obsah humózních částic, který podmiňoval uchycení setí a vegetace.

#### **4.4.4.2 Povrchová a podzemní voda**

Je eliminována. Povrchová voda je eliminovaná tvarem tělesa skládky a přítok cizích povrchových vod je vyloučen stávajícími záchytnými příkopy, jež jsou opevněny žlabovkami a osety na vrstvu humusu, zaústující se do prostoru pod skládkou. Podzemní voda do tělesa skládky neprosakuje. Každým rokem se odebírají vzorky vody ze dvou vrtů a jsou stanoveny přípustné hodnoty akreditovanou laboratoří dle platné legislativy (Jurnečková, 2010)

#### **4.4.4.3 Popis změny stavby**

Změna vycházela ze stávajícího stavu skládky a spočívala v navýšení kubatury zeminy uložené nad úrovní těsnící folie, a tím ve zvýšení horní hrany násypu oproti původní dokumentaci. K terénním úpravám byla použita zemina ze stavby: „ČD-DDC Modernizace železniční tratě Červenka - Zábřeh“. Materiál byl vzorkován akreditovanou laboratoří, a o každých započatých 5000 m<sup>3</sup> zeminy. Vodný výluh vyhovoval limitním hodnotám třídy I. Materiál byl navážen po vrstvách tloušťky maximálně 40 cm. Hutněn byl pojezdem zemních strojů. Odtokové poměry zůstaly zachovány, stejně jako následná biologická rekultivace povrchu rekultivované skládky. Výpažnice stávajícího monitorovacího vrtu byla prodloužena nad úroveň upraveného svahu. Projekt navrhoval změnu původní dokumentace projektu „rekultivace skládky TKO Žádlovice“. Biologická rekultivace zhutnělého násypu tělesa skládky byla osetí plochy travní směsí a výsadba porostu dřevin (stromů i keřů) s cílem vytvořit porost charakteru lesa. Druhovú skladbu dřevin neobsahuje geograficky nepůvodní druhy (Jakoubek, 1997).

## 5 Závěr

Abiotické stresory mají přímý vliv na fyziologické charakteristiky rostlin. V případě biologické rekultivace, která může být potencionálním zdrojem některých stresorů, je nutné nepodcenit žádnou ze čtyř jejich fází, a zabezpečit dodržování technologických postupů v průběhu celého procesu rekultivace. Cílem je vytvořit vhodné prostředí pro obnovení růstu rostlin a také minimalizovat dopad předchozí činnosti člověka. Veškerá opatření musí být navržena a následně pak realizována tak, aby se odpady, a z nich se uvolňující látky uložené v zájmovém území, nedostávaly, nebo jen minimálně dostávaly do půdního prostředí rekultivovaných pozemků. Zejména je nutné udržovat podlimitní stav toxických látek, které by se mohly při porušení izolační vrstvy uvolnit mimo těleso skládky. Dalším podstatným faktorem je vhodná volba typu rekultivace v závislosti na klimatických podmínkách oblasti. Podle typu rekultivace je pak volena tloušťka rekultivační vrstvy. Neméně důležitá je i správná volba při výběru rostlin. Nejvhodnějším způsobem využití rekultivovaných ploch je takové řešení, které má pro majitele těchto pozemků citelný ekonomický přínos. Vliv jednotlivých stresorů na ekosystém probíhá obvykle souběžně. Tyto faktory se následně odrážejí v celkové produkci. Obecně by se dalo říci, že s mírou kvalitního provedení rekultivace klesá potenciál výskytu nepřírodných stresujících faktorů, které působí na rostlinu.



## 6 Seznam literatury

Atwell, J. B., Kriedemann, P. E., a Turnbull, C. G. 1999. Plants in action: adaptation in nature, performance in cultivation. South Yarra, [Vic.]: Macmillan Education Australia. 664 s. ISBN 07-329-4439-2.

Bláha, L., Bocková, R., Hnilička, F., Hniličková, H., Holubec, V., Möllerová, J., Štolcová, J., Zieglerová, J. 2003. Rostlina a stres. 1.vyd. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. 156 s. ISBN 80-865-5532-1.

Černý L. 2005. Technická zpráva. Dokumentace změny stavby před dokončením. 4s.

Česko. Vyhláška Federálního výboru pro životní prostředí, ministerstva životního prostředí České republiky a Slovenské komise pro životní prostředí, kterou se mění a doplňuje vyhláška federálního ministerstva pro technický a investiční rozvoj č. 84/1976 Sb., o územně plánovacích podkladech a územně plánovací dokumentaci č. 377/1992 Sb. ze dne 17.července 1992. In Sběrka zákonů České republiky. 1992, částka 76, s. 2091-2098.

Česko. Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) ze dne 11. května 1996. In Sběrka zákonů České republiky. 2006, částka 63, s. 2226-2290.

Česko. Vyhláška MŽP č. 13/1993 Sb. ze dne 29. 12. 1993, kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu.

Česko. Vyhláška MŽP č. 383/2001 Sb. ze dne 17. 10. 2001, O podrobnostech nakládání s odpady.

Česko. Vyhláška MŽP 294/2005 Sb. ze dne 11. 7. 2005, O podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady.

Česko. Zákon č. 185/2001 Sb. Ze dne 15. 5. 2001, Zákon o odpadech.

ČSN 83 8030 – Skládování odpadů – základní podmínky pro navrhování a výstavbu skládek. Praha: Český normalizační institut, 2002. 11 s.

ČSN 83 8035 -Uzavírání a rekultivace skládek. Praha: Český normalizační institut, 1998. 16 s.

Ermakov, E. I., Panova, G. G., Stepanova, O. A. 2005. Strategy of Biological Reclamation of Chemically Polluted Ecosystems. Russian Journal of Ecology, 36 (3), 171-178.

Hendrychová, M. 2008. Reclamation success in post-mining landscapes in the Czech Republic:A review of pedological and biological studies. Journal of Landscape Studies, 1, 63 - 78.

Jakoubek J. 1997. Rekultivace skládky TKO Žádlovice.

Jędrzejko, K., Olszewski, P. 2008. Charakterystyka gatunków flory naczyniowej na terenie likwidowanej kopalni węgla kamiennego " Jan Kanty" w Jaworznie (GOP). Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko / Główny Instytut Górnictwa, 2, 19-35.

Jones, H. G., Flowers, T. J., Jones, M. B. 2008. Plants under stress, Cambridge University Press, Cambridge, p. 256.

Jurnečková R. 2010. Žádlovice – monitoring skládky TKO. Závěrečná zpráva, 5 s.

Larcher W. 1988. Fyziologická ekologie rostlin. Academia, Praha. 368 s. ISBN 03/15-4725 21-102-88.

Larcher, W. 1995. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. 3rd ed. New York: Springer-Verlag. 506 s. ISBN 03-875-8116-2.

Machar I. 2006. Rekultivace skládky TKO Žádlovice. Změna stavby před dokončením.

Maiti, S. K. 2010. Bioremediation of copper mine waste: a case study from Mosaboni copper mines, Eastern India. International Journal of Environment and Pollution, 43 (1-3), 78 - 89.

Makhnev, A. K., Makhneva, N. E. 2010. Landscape-ecological and population aspects of the strategy of restoration of disturbed lands. Contemporary Problems of Ecology, 3 (3), 318 - 322.

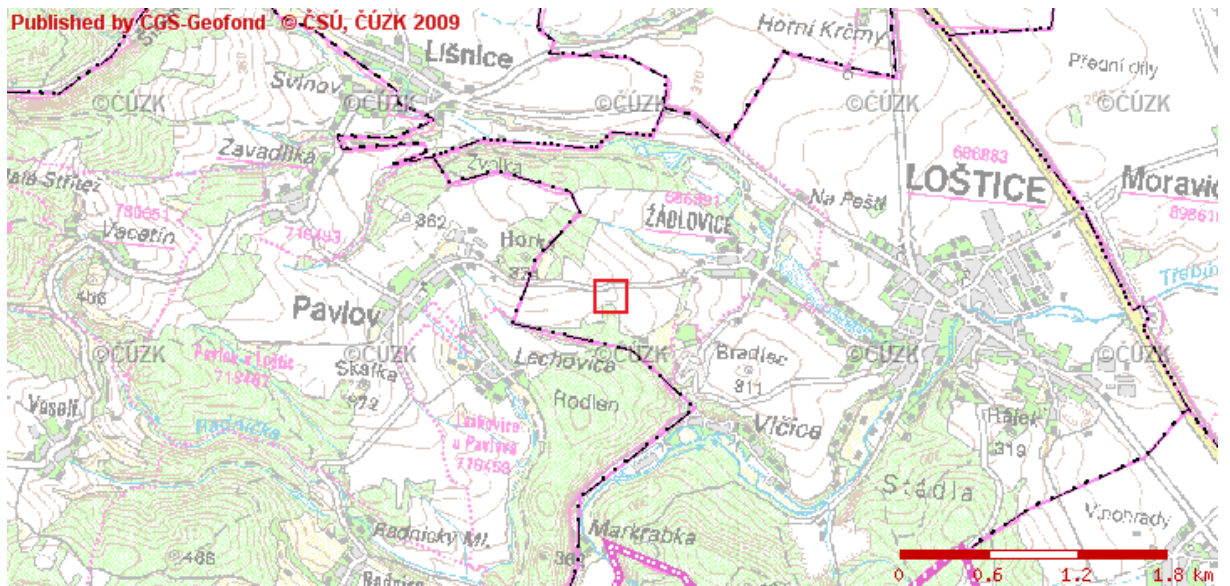
Mališová, K., Mestek, O. Speciační analýza stopových prvků v listech vrby. Chemické listy 103 [online]. 2009 [cit. 2012-04-11], s. 180 - 184. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2009\\_14\\_s180-s184.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2009_14_s180-s184.pdf).

Nilsen, E. T., Orcutt D. M. a Hale M. G. c1996 - c2000. The physiology of plants under stress. New York: Wiley, 704 s. ISBN 0471170089.

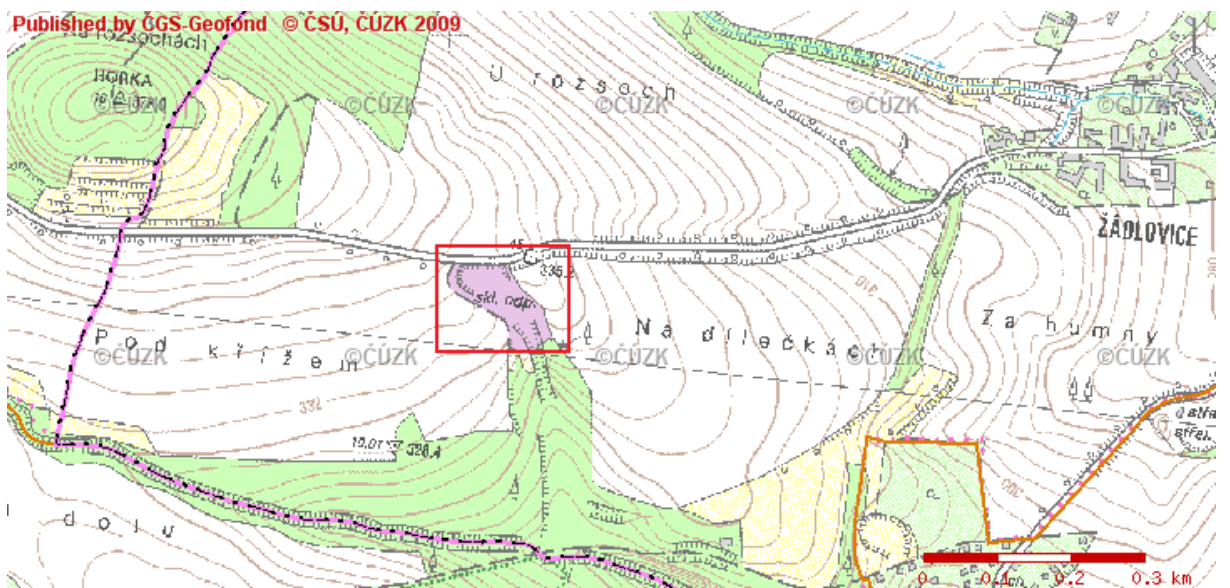
Zheleznova, G. V., Kuznetsova, E. G., Evdokimova, T. V., Turubanova, L. P. 2005. Monitoring of Vegetation Development in Technogenically Disturbed Areas of the Usinskoe Oil Field, Russian Journal of Ecology, 36 (4), 243 - 248.

## 7 Přílohy

### Příloha 1



### Příloha 2



### Příloha 3



### Příloha 4



Příloha 5

