



Lekce 8: Degradace půdy

Martin Ivanov, Ústav geologických věd PŘ.F. Masarykovy
univerzity, Brno

1. Kvalita půdy

Kvalita půdy = zdraví půdy

růst rostlin + biologická aktivita

koloběhy živin

pohyb vody v životním prostředí

pufrace vzhledem k cizorodým látkám v půdě

Indikátory kvality

fyzikální – textura, hloubka půdy, hydraulická vodivost, vodní kapacita, objemová hmotnost, pórovitost, struktura

chemické nebo fyz. chemické – obsah a kvalita humusu, obsah dusíku, kationtová výměnná kapacita, pH, vodivost, obsah živin, nasycenost sorp. komplexu

biologické – C, N biomasy mikroorgan., respirace, aktivita půdních enzymů...

Podmínky pro indikátory kvality

korelace s procesy v ekosystému

integrace fyzik., chem., biol. vlastností

snadná měřitelnost v polních podm.

citlivost ke změnám klimatu

1. Kvalita půdy

Parametr/ funkce	produkční	filtrační a akumulární	transformační	asanační	pufrační	prostředí pro organismy
hloubka	++	++	+	++	++	+
svažitost	+	++	+	+	-	-
zrnitost	++	++	++	++	++	++
organický uhlík	++	++	++	+	++	++
sorpční komplex	++	++	++	+	++	++
pH	++	++	++	++	-	++
objemová hmotnost	++	++	++	++	++	++
obsah přijatelných živin	++	+	+	+	++	++
lehce mineralizovat. N	++	-	++	-	-	++
				-	-	++
					-	++
					+	-
					+	-

- Eroze
- Acidifikace
- Ztráty organické hmoty
- Zasolení
- Ztráty živin
- Intoxikace atd.



- Pestré osevní postupy
- Péče o organickou hmotu půdy
- Optimální výživa rostlin, využití organických hnojiv
- Šetrné způsoby hospodaření
- Protierozní ochrana atd.

Obr. 1: Ovlivnění kvality půd

2. Znehodnocování půdy

Znehodnocování půdy

Antropogenní činnost

Prvotně přírodní faktory

geochemické anomálie (např. nadm. výskyty Pb - Sloven. rudohoří; Cr, Ni, Mg na hadcích)

miner. podz. a sezonně mineral povrch. vody - > 1 g.l⁻¹ miner. látek v podz. vodě – aridní obl. Asie + Austr.

vulkanická činnost

destrukce povrchu kontinentů – soliflukce, vodní + větrná eroze

permafrost - kryoturpace

půdotvorné procesy (illimerizace – kompakce podpovrch. horiz.)

- odstranění vegetace
- změna vegetace
- těžba surovin
- nevhodná meliorace
- výstavba vodních děl
- nadměrné změny teploty půdy
- toxické + škodlivé látky
- chov zvířat
- polutanty – voda, vzduch + záplavy
- zátarasý + bariéry
- aktivita obyvatelstva

2. Znehodnocování půdy

Tabulka 3: Znaky znehodnocené půdy

Skupiny	Individuální znaky
---------	--------------------

Tabulka 4: Celosvětový rozsah a stupeň degradace půd podle typu degradace – rozsah v milionech hektarů (Oldeman, 1994)

Mechanismus, typ degradace	stupeň slabý	střední	silný	celkem
voda – eroze	343	527	224	1094
větr – eroze	269	254	26	549
chemická degradace				
- ztráta živin	93	103	43	239
- salinizace	35	20	21	76
- znečištění polutanty	4	17	1	22
- acidifikace	2	3	1	6
fyzikální degradace				
	44	27	12	83
celkem	749	911	305	1965

Tabulka 6: Průměrné plochy odlesněné a zalesňované půdy v některých rozvojových zemích v letech 1981–1985 v tisících hektarů

Stát	Odlesněná plocha	Zalesňovaná plocha
Brazílie	1480	449
Indonésie	600	131
Kolumbie	820	8
Malajsie	255	20
Mexiko	595	22
Nigérie	300	26
Pobřeží slonoviny	290	6
Thajsko	252	0
Zair	182	0

Regionální znehodnocování půdy

Tabulka 5: Podíl příčinných faktorů na typu degradace půdy (v %) (upraveno podle údajů Oldeman, 1994)

Typ degradace	odlesnění	využívání vegetace	nadměrná pastva	zeměděl. technologie	prům. technologie	celkem
vodní eroze	24,0	1,9	16,3	13,5	–	55,7
větrná eroze	2,2	4,3	16,9	4,4	–	27,8
chemická degradace	3,1	0,5	0,7	6,8	1,2	12,3
fyzikální degradace	0,1	-	0,7	3,4	–	4,2
celkem	29,4	6,7	34,6	28,1	1,2	100,0

Tabulka 7: Aridizace a zasolování půdy (% plochy) v kontinentální Africe (Hulme, Kelly, 1993)

Zóny	1931–1960	1961–1990	Rozdíl
Hyperaridní	15,1	16,8	+ 1,7 (50 mil. ha)
Aridní	22,7	22,8	+ 0,1 (3 mil. ha)
Subaridní	20,8	20,3	- 0,5 (14,5 mil. ha)
Subhumidní	8,9	8,4	- 0,5 (14,5 mil. ha)
Humidní	32,6	31,7	- 0,9 (24 mil. ha)

2. Obnova kvality půdy

Antropizace půdy

Pozitivní – zlepšení kvality, kladný vliv na půdní mikroorg., rostliny, lidi

Negativní – zhoršení kvality, škodlivé působení na biotu, znehod. produkční schopnosti, filtrační, akumulární, transformní funkce

Revitalizace půdy

Fyzikální, chemické nebo biologické opatření vedoucí k oživení půdy a obnově jejích základních funkcí (organická hnojiva, vysazování vhodných rostlin, zavlažování desertifikovaných území)

Meliorace půdy

Trvalejší zásah do půdy za účelem většího výnosu plodin (hloubková rigolace, odvodnění, sádrování sekundárně zasolených půd, hnojení)

Renaturalizace půdy

Návrat půdy do původního stavu před nevhodným antropogenním zásahem (zalesnění louky, zatravnění rozorané louky...)

Rekonstrukce půdy

Antropogenní restaurace, obnova destrukcí narušené (sesuvy) půdy

2. Obnova kvality půdy

Asanace půdy

Úprava antropogenně znehodnocené půdy (infikace, intoxikace, zamoření, znečištění)



Paliativní metody

Snižování rozpustnosti rizikových látek v půdním roztoku = imobilizace tvorbou těžce rozpustných sloučenin. Neřešena dekontaminace



Metody asanace

Fyzikální – odstranění znečištěné vrstvy, tepelná sterilizace infikované půdy, odplavování, ředění, promývání

Chemické – vápnění nebo okyselení intoxikované půdy, rozpouštění a vyluhování rizikových látek kyselými nebo alkal. vyluhovadly

Biologické – mikrobiologické preparáty, vybrané druhy rostlin na intoxikované půdě (odčerpání akumul. škodlivin)

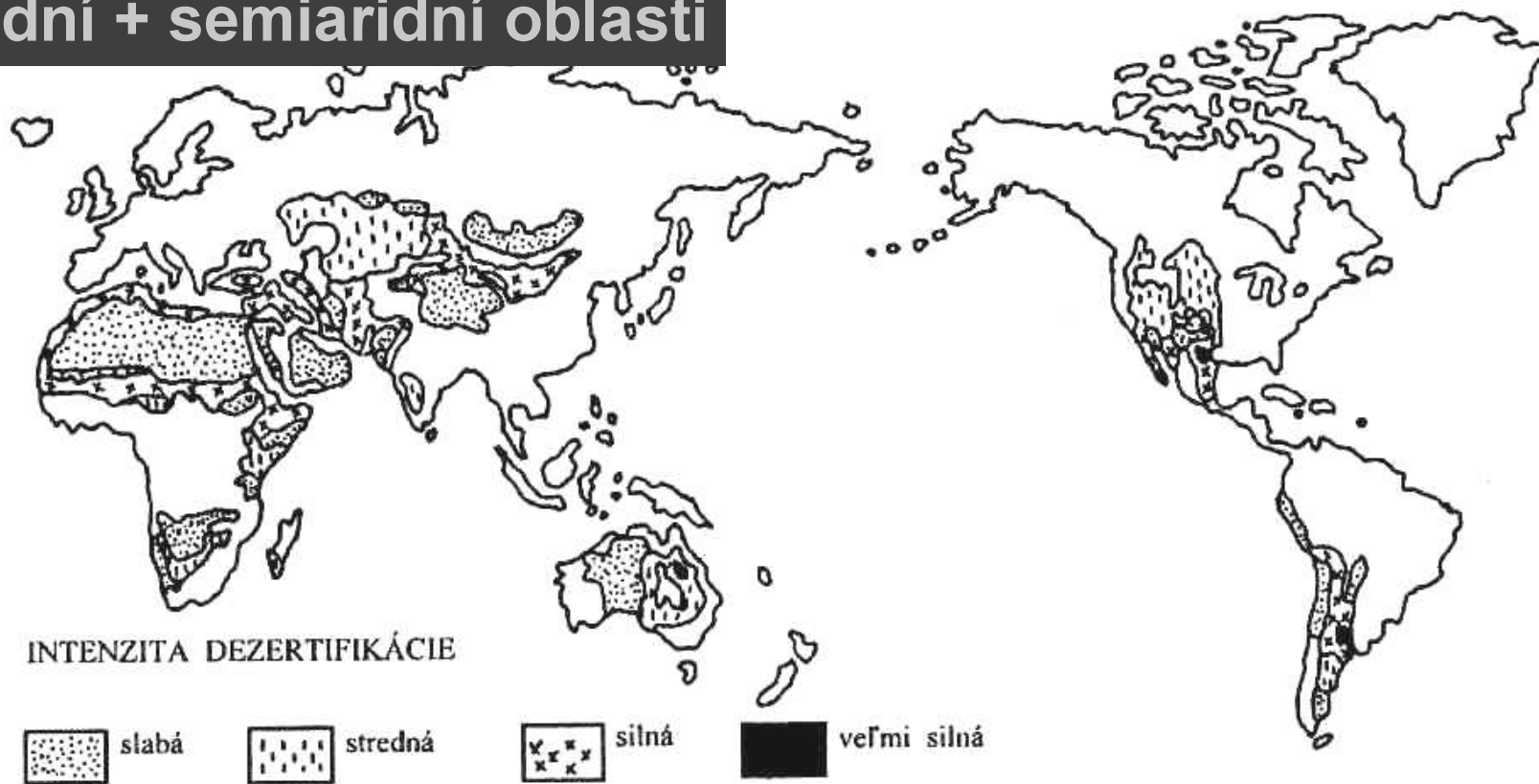
Remediační metody

Snižování množství rizikových prvků a látek do povolených koncentrací – vyplavování, ředění rašelinou. Výsledkem je dekontaminovaná půda.

2. Fyzikální procesy

Desertifikace půdy

1/3 aridní + semiaridní oblasti



Obr. 21. Dezertifikácia aridných oblastí v roku 1984 (Environmental Agency 1994).

2. Fyzikální procesy

Příčiny desertifikace – kromě CO₂

- Nadměrná pastva – hlavní příčina
- Kultivace marginálních oblastí
- Destrukce lesní vegetace v aridních oblastech
- Nesprávné zavlažování aridních oblastí (zasolování)
- Utužení půdy technikou
- Povrchová těžba bez následných krajinných úprav

Prognóza desertifikace



17 %

Prognóza oteplování

Do r. 2075 pro náš region: v zimě teplota vyšší o 3-7°C, v létě o 1-4°C (roční průměr 2-4°C).

r. 2030 – v létě teplota o 1,3°C vyšší, srážek o 3,6% méně – 900 000 hektarů bude trpět suchem (někteří předpokládají závlahy až na 90% našeho území)

2. Fyzikální procesy

Nadměrná eroze půdy

Tabulka 8: Množství plavenin protékajících velkými světovými řekami (El-Swaify, Dangler, 1982).

Řeka	Země	Roční tok plavenin (mil. t)	Eroze (t/ha)
Žlutá řeka	Čína	1600	479
Ganga	Indie, Nepál	1455	270
Amazonka	Brazílie, Peru atd.	363	13
Irrawaddy	Barma	299	139
Sapt Kosi	Indie, Nepál	172	555
Mekong	Vietnam, Thajsko atd.	170	43
Červená řeka	Čína, Vietnam	130	217
Nil	Sudán, Egypt, atd.	111	8
Mississippi	USA	300	93

Tabulka 10: Ztráty dusíku z půdy v roce 1975 (Petr, Dlouhý et al., 1992)

Ztráta v tunách	Československo	Česká republika
vyplavením	157 135	107 334
erozí	253 072	154 212
uvolněním do ovzduší	112 064	71 104
celkem	522 271	332 650

Typy eroze

vodní

říční + mořská fluviální

větrná (eolická)

ledovcová (glaciální) +
sněžná (nivální)

antropogenní

Zrychlená eroze

10x až 1000x rychlejší než
normální

2. Fyzikální procesy

Vodní eroze — ČR – 54% orné půdy: 43% - 3-7°;
9,8% - 7-12°; 0,7% - > 12°

Index erozní
ohroženosti



Potenciální smyv

< 1

Přípustný smyv

Neohrožená půda

K – faktor erodovatelnosti: zrnitost,
obsah humusu, struktura, propustnost

Erodovatelnost

Náchylnost půdy k erozi. Vychází se ze zrnitosti:

$$E_p = \% \text{ písku} + \% \text{ prachu} / \% \text{ jílu}$$

Půdní druh	K	Půdní typ	K
písčítá půda	0,10–0,20	kambizem	0,25
hlinitopísčítá	0,21–0,30	černozem	0,45
písčitohlinitá	0,31–0,40	hnědozem	0,50–0,55
hlinitá	0,41–0,50	luvizem	0,60
jílovitohlinitá, jílovitá	0,51–0,70		

2. Fyzikální procesy

Protierozní opatření

- **agrotechnická** – ochranné obdělávání půdy (více edafonu)
- **technická** – terénní úpravy, sběrné příkopy, nádrže, terasy...

Organismy	Konvenční systém	„No-till“ systém
hlístice	3 008	2 473
menší druhy členovců	49 430	95 488
větší druhy členovců	14	78
žížaly	149	967

Rozpad půdní struktury a pedokompakce

stmelení částic

Koloidy humusu, Fe, Al + soli karbonátů.
Koagulace: Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}

rozpad částic

Negativní činnost člověka – zemědělství.
Peptizace: Na^+ , H^+ , K^+

Rozpad struktury u zemědělských půd: mnoho monokultur, málo pícnin (víceletých), nevhodné mechanické obdělání, podpora acidifikace (málo vápnění, hnojení kyselými hnojivy), málo organických hnojiv, nadměrná závlaha, těžké mechanismy, podpora zrychlené eroze, mnoho draselných hnojiv, sekundární zasolení

2. Fyzikální procesy

Utžení půdy (pedokompakce)



Evropa – 33 mil.
hektarů

Antropogenní pedokompakce: těžké
mechanizační prostředky. Běžný
traktor – působí do hloubky cca 0,5 m.

ČR – 45% zeměděl.
půd (15% genet.)

*Tabulka 13: Mezní hodnoty kritických vlastností zhutnělých půd
(dle půdních druhů) (Lhotský, 2000)*

	J	JV, JH	H	PH	HP	P
obj. hmotnost red. (g.cm ⁻³)	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
pórovitost (%)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
min. vzdušnost (% obj.)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
penetrační odpor (MPa)	2,8–3,2	3,3–3,7	3,8–4,2	4,5–5,0	5,5	6,0
při vlhkosti v %	28–24	24–20	18–16	15–13	12	10

J – jíł, JV – jílovitá, JH – jílovitohlinitá, H – hlinitá, PH – písčitolhinitá,
HP – hlinitopísčitá, P – písčitá

2. Fyzikální procesy

Faktory ovlivňující zhutnění

zrnitost půdy

jílovité + prachovité: slabá odolnost
štěrkovité, písčité, kamenité: silná

vláha půdy

provlhčení – umožnění
pedokompakce, až do limitní meze

množství OL

luvizemě (< 1% humusu): malá
schopnost odolávat pedokompakci

karbonáty

podpora půdní struktury. Kyselé půdy
s nepříz. strukturou = slabá odolnost

Omezení pedokompakce:

Osev správnými plodinami, organické hnojení, vápnění,
šetrné zpracování půdy za vhodné vláhý, omezení přejezdů
přes půdu, regulace vodního a vlhkostního režimu půdy.

	slabé	střední	silné
Litozem	x		
Ranker	x		
Rendzina	x	x	
Pararendzina		x	x
Regozem	x	x	
Fluvizem	x	x	x
Kolvizem	x	x	
Smonice			x
Černozem	x	x	
Černice	x	x	x
Šedozem	x	x	x
Hnědozem	x	x	x
Luvizem		x	x
Kambizem	x	x	x
Pelozem			x
Andozem	x		
Kryptopodzol	x		
Podzol	x		
Pseudoglej			x
Stagnoglej		x	x
Glej		x	x
Solončak			x
Slanec			x
Organozem	x		

3. Rizikové látky v půdách

Acidifikace a alkalizace půd

Acidifikace

pokles množství uhličitánů, primárních silikátů a výměnných bazických kationtů; akumulace Al^{3+} , Fe^{3+} , síranů

Alkalizace

zvýšení obsahu bazických kationtů (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) a jejich solí v půdě

Bazické složky (schopné disociovat vodíkový ion)	Kyselé složky (schopné asociovat vodíkový ion)
Pevné fáze	
uhličitany	sulfidy
silikáty	nedisociované kyselé skupiny jílových minerálů a organické hmoty
kationty alkalických kovů a kovů alkalických zemin (bazické kationty) ± výměnné, vázané na slabě kyselé pozice na povrchu minerálů a organické hmoty	kationty kovů, tvořící slabé hydroxidy (Al, Mn, Fe, těžké kovy – kyselé kationty Ma), ± výměnné, vázané na kyselé pozice na povrchu minerálů a organické hmoty
	výměnný a fixovaný NH_4^+
	hydroxosírany hliníku a sírany sorbované na hydroxidy hliníku
	organicky vázaný dusík ($\text{N}_{\text{org}} \rightarrow$ nevratná reakce $\rightarrow \text{HNO}_3$)
	organicky vázaná síra ($\text{S}_{\text{org}} \rightarrow$ nevratná reakce $\rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$)
V roztoku	
OH^- ($\text{OH}^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}$)	H_3O^+ ($\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$)
HCO_3^- ($\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$)	H_2CO_3 ($\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$)
NO_3^- ($\text{NO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow$ nevratná reakce $\rightarrow \text{N}_{\text{org}}$, $1/2 \text{N}_2\text{O}$, $1/2 \text{N}_2$)	NH_4^+ ($\text{NH}_4^+ \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$, $\text{NH}_4^+ \rightarrow$ nevratná reakce $\rightarrow \text{N}_{\text{org}} + \text{H}^+$)
SO_4^{2-} ($\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow$ nevratná reakce $\rightarrow \text{S}_{\text{org}}$, H_2S v plynné formě).	kyselé kationty ($\text{Ma} + n\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ma}(\text{OH})_n + n\text{H}^+$)
	organické kyseliny

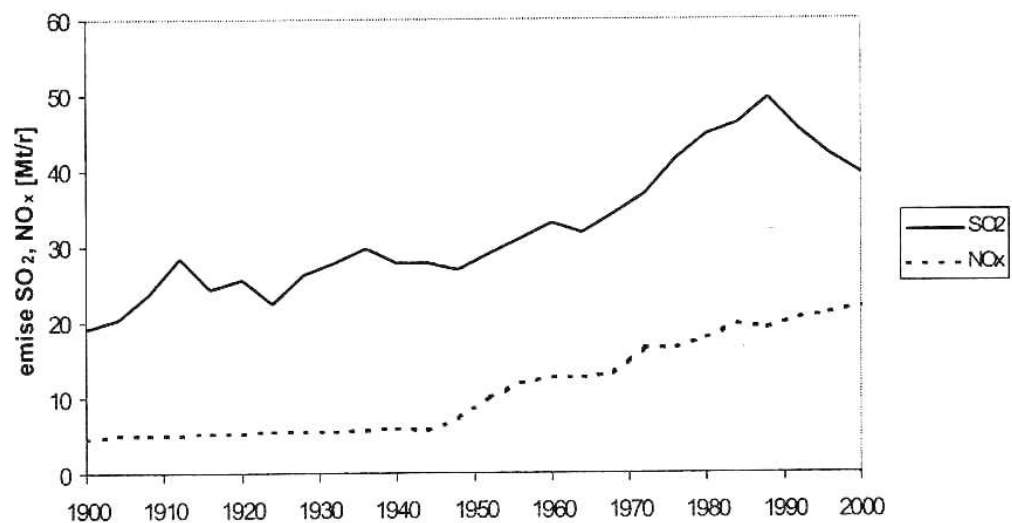
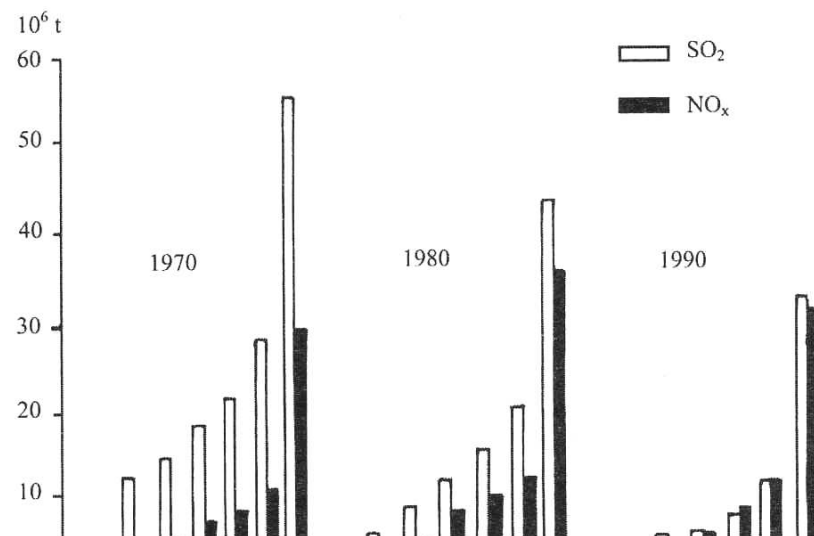
3. Rizikové látky v půdách

Pufrační schopnost půd

- schopnost bránit se proti změnám pH. Pufrační mechanismy:

puf. obl. CaCO_3 , pH 8,6-6,2
puf. obl. silikátů, bez uhlíčit. pH > 5
puf. obl. kation. vým, pH 5,0-4,2
puf. obl. Al, pH 4,2-3,8
puf. obl. Al + Fe, pH 3,8-3,2
puf. obl. Fe, pH < 3,2

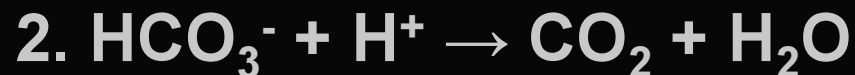
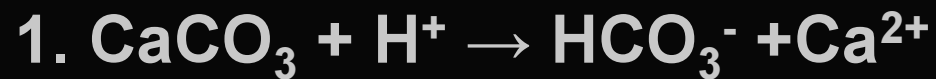
Podmíněno jednak přirozeně (podzolizace, illimerizace, slancování...), ale i antropogenně (kys. deště, hnojení, vápnění, sádrování, závlahy...)



Obr. 13: Emise SO₂ a NO_x v Evropě

3. Rizikové látky v půdách

Projevy acidifikace – náhlé, při poklesu pH
jeho vyluhování = poškození porostů, h



Důsledky kyselosti na hygienu:

- aktivizace patogenních hub – choroby rostlin
- snížení nitrifikační schopnosti půd
- toxicita Al a poškozování kořenů rostlin
- petrifikace P do sloučenin, které nejsou přístupné rostlinám
- vyluhování K z půdy v roztoku
- zhoršení kvality humusu
- zvýšená mobilita těžkých kovů (Cd, Co, Hg, Pb, Cu)
- destrukce půdy a její odolnosti vůči erozi
- snížení výnosů rostlin

Eliminace acidifikace

vápnění – zemědělské půdy

- snížení kyselosti půdy
- snížení mobility toxických forem Al a těžkých kovů
- zvýšení zásob Ca a Mg
- zvýšení kvality humusu

ALE POZOR !!!

- snížení zásoby humusu
- mobilizace těžkých kovů ve formě organických komplexů
- deficit bóru
- vzrůst konc. dusič. v průsak. vodách

3. Rizikové látky v půdách

Zasolení půdy

Tabulka 22: Výskyt zasolených půd ve světě

Kontinent	Pevnina v mil. km ²	Zasolené půdy	
		mil. km ²	% pevniny
Afrika	30,329	0,805	2,65
Asie	44,100	6,229	14,12
Evropa	10,382	0,508	4,89
Sev. Amerika	24,360	0,177	0,73
Již. Amerika	18,140	1,292	7,12
Austrálie+Oceánie	8,910	0,537	6,03
Antarktida	13,175	0,000	0,00
Celkem	149,396	9,548	6,39

Tabulka 23: Klasifikace zasolení půd podle USDA

Třída	Obsah ve vodě rozpuštěných solí v %	Elektrická vodivost v mS.cm ⁻¹	Slovní označení
0	0,00–0,15	0–4	nezasolená
1	0,15–0,35	4–8	slabě zasolená
2	0,35–0,65	8–15	středně zasolená
3	> 0,65	> 15	silně zasolená

Potenciální odolnost vůči acidifikaci

Půdní typ	vysoká	střední	slabá
Litozem	x	x	x
Ranker		x	x
Rendzina	x		
Pararendzina	x		
Regozem	x	x	x
Fluvizem	x	x	x
Koluvizem	x	x	x
Smonice	x		
Černozem	x	x	
Černice	x	x	
Šedozem		x	x
Hnědozem		x	x
Luvizem		x	x
Kambizem		x	x
Pelozem	x	x	
Andozem		x	x
Kryptopodzol			x
Podzol			x
Pseudoglej	x	x	x
Stagnoglej		x	x
Glej	x	x	x
Solončak	x		
Slanec	x		
Organozem	x	x	x

jílovitá ← → písčítá
karbonátová nekarbonátová

3. Rizikové látky v půdách

Rozdělení zasolených půd

Salinické – akumulace solí při zasolení: chloridy + sírany Ca, Mg, K, Na. Vodivost $> 4 \text{ mS.cm}^{-1}$, ESP < 15 , pH $< 8,5$

Salsodické – zvýšený obsah neutrálních solí, vodivost $> 4 \text{ mS.cm}^{-1}$, ESP > 15 .

Sodické – méně neutrálních rozpustných solí, vysoký pH = ESP > 15 , pH $> 8,5$ (někdy Na^+ - slabě vázáno koloidy, rozpad půdní struktury).

Vznik zasolení – z primárních (olivín, oligoklas), nejčastěji z silně mineralizovaná podz. voda

Zasolení = mnoho Na^+

půdotvorný substrát + matečná hornina (mořské sedimenty)

podzemní silně mineralizovaná voda ($1-30 \text{ g.l}^{-1}$)

povrchová silně mineralizovaná voda ($20-270 \text{ g.l}^{-1}$)

Ovzduší (vulkanické erupce)

Tabulka 26: Silně mineralizovaná podzemní voda na jižní Moravě (mg.l^{-1})

Místo	pH	Odparek	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+
Blučina	7,4	4252	439	882	132
Měnín	7,5	1332	458	261	50
Nesvačilka	7,2	5052	289	415	550
Sokolnice	6,9	5840	602	1871	601
Žatčany	7,3	2280	266	641	127

3. Rizikové látky v půdách

Tabulka 27: Dělení vodních zdrojů v závislosti na koncentraci solí (Carter, 1969)

Salinita	Vodivost (mS.cm ⁻¹)	Popis
Nízká	0–0,4	Tato voda může být využita pro závlahy většiny plodin, možnost zasolení je nízká
Střední	0,4–1,2	Tato voda může být využita, pokud se střední množství vyplaví. V těchto podmínkách mohou být pěstovány plodiny se střední tolerancí k zasolení bez speciálních opatření.
Vysoká	1,2–2,25	Tato voda nemůže být použita na půdy s omezeným drenováním. Na těchto půdách lze pěstovat pouze plodiny tolerantní k zasolení. Nadbytek vody musí být aplikován pro vyplavení.
Velmi vysoká	2,25–5,0	Tato voda může být využita pro závlahy pouze ve speciálních podmínkách. Nezbytná je odpovídající drenáž. Na pozemcích pak mohou být pěstovány pouze k zasolení velmi odolné plodiny s podmínkou, že je aplikována voda na vyplavení rozpustných solí.

3. Rizikové látky v půdách

Škodlivost solí



**Toxicita
utužené půdy**



2/3 – 1/2 množství solí

Desalinizace půdy

Solončaky – v malém objemu – smíchání se zeminou, prokypření, neutralizace rašelinou, promytí vodou

Slance – aplikace vysokých dávek sádry (CaSO_4), síry, méně pak vápenatých hnojiv, promytí, biologické oživení organickými hnojivy. Dávka sádry ($1-10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) nebo sloučenin síry – závisí na obsahu Na^+ v půdě.

Potenciální nebezpečí sekundárního zasolení

Půdní typ	slabé	střední	silné
Litozem	x		
Ranker	x		
Rendzina	x		
Pararendzina	x		
Regozem	x	x	
Fluvizem	x	x	x
Koluvizem	x		
Smonice		x	x
Černozem	x	x	x
Černice	x	x	x
Šedozem	x		
Hnědozem	x		
Luvizem	0		
Kambizem	x		
Pelozem		x	x
Andozem	0		
Kryptopodzol	0		
Podzol	0		
Pseudoglej	0		
Stagnoglej	0		
Glej	x	x	x
Organozem	x	x	x

3. Rizikové látky v půdách

Potenciálně toxické prvky

Co, Cu, Fe, Mn, Mo, V,
organismech stopově – enzymy

Potenciálně toxické prvky

- jsou dostatečně zastoupeny
 - jsou těženy a extrahovány
 - používají se v oblastech
styku s biotou
 - působí škodlivě na půdu a zdraví zvířat a lidí
-
- snížení biomasy půdní mikrobioty
 - snížení diverzity bezobratlých (hlístice, žížaly...)
 - redukovaný vývoj a růst kořenového systému i nadzemních částí cévnatých rostlin, více cukrů a škrobů, méně živin)
 - terestrická fauna + člověk – vliv na orgány

Tabulka 36: Relativní toxicita některých rizikových prvků pro biotu

Prvek	Půdní fauna, mikrobiota	Cévnaté rostliny	Terestrická fauna	Člověk
Pb	střední	nízká	střední	vysoká
Cd	vysoká	střední	vysoká	velmi vysoká
Cu	střední	nízká	střední	střední
Zn	střední	střední	nízká	nízká
Ni	nízká	vysoká	nízká	nízká
Cr	nízká	střední	nízká	nízká
Hg	střední	střední	vysoká	velmi vysoká

**Většina rizikových prvků –
vazba na půdní složky,
minimum v půdním roztoku**

3. Rizikové látky v půdách

Interakce s půdní organickou hmotou

- primární humusové látky (jednoduché organ. kyseliny) – tvorba stabilních komplexů s rizikovými látkami

- sekundární humusové látky (HK+FK):
FK – po okyselení zůstávají v roztoku

Adsorpce na jílové minerály

- vazba na negativní povrch jílových min.

Výměnná sorpční kapacita

**montmorillonit = vermikulit > illit =
chlorit > kaolinit**

**Sorpce na povrchu hydrat. oxidů Fe,
Mn, Al a amorfních alumosilikátů**

Sorpce na HK (pH = 3,7)

**Hg > Fe > Pb > Cr > Cu > Zn > Cd >
Mn > Co**

Komplexy s FK (ve vodě nerozpust.)

**Fe = Cr = Al > Pb = Cu > Hg > Zn =
Ni = Co = Cd = Mn**

FK / kov < 2 = NEROZP.

vzrůst pH → více vazeb s kationty
pokles pH → více vazeb s anionty

Důležité – závislost na genezi půdy a
původu prvků (imise, substrát, podz.
voda...)

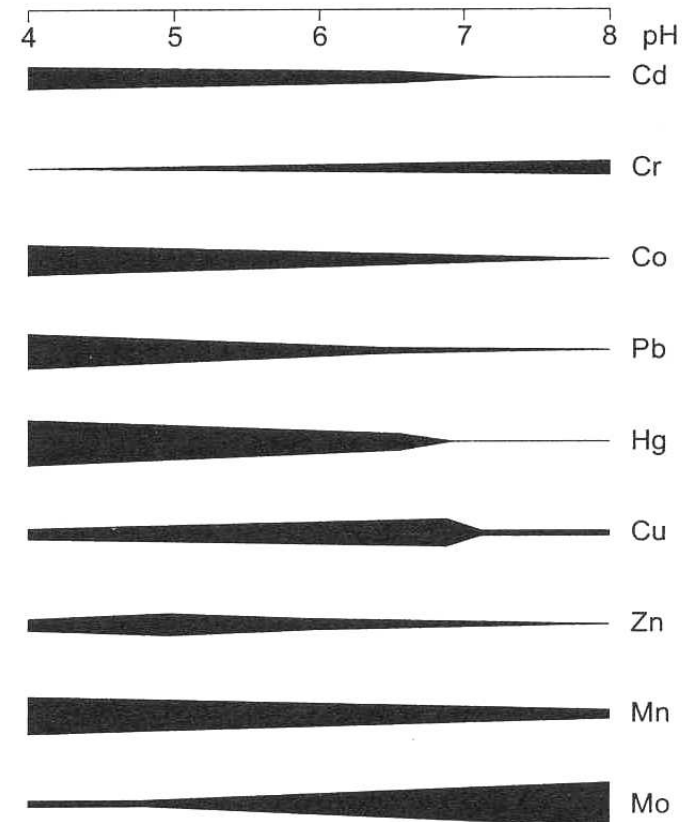
3. Rizikové látky v půdách

Závislost na pH (zvýšení rozpust.)

Tabulka 37: Rizikové prvky v půdách (obsah v mg.kg⁻¹) zemědělského půdního fondu. (Vyhláška MŽP č. 13/1994 Sb.)

Prvky	Výluh 2 M HNO ₃ (půda : roztok = 1 : 10)		Celkový obsah (lučavka královská)	
	Maximálně přípustné hodnoty			
	lehké půdy	ostatní půdy	lehké půdy	ostatní půdy
As	4,5	4,5	30,0	30,0
Be	2,0	2,0	7,0	7,0
Cd	0,4	1,0	0,4	1,0
Co	10,0	25,0	25,0	50,0
Cr	40,0	40,0	100,0	200,0
Cu	30,0	50,0	60,0	100,0
Hg	-	-	0,6	0,8
Mo	5,0	5,0	5,0	5,0
Ni	15,0	25,0	60,0	80,0
Pb	50,0	70,0	100,0	140,0
V	20,0	50,0	150,0	220,0
Zn	50,0	100,0	130,0	200,0
B	-	-	40,0	40,0
Br	-	-	20,0	20,0
F	-	-	200,0	200,0
S	-	-	2,0	2,0

6,5; Zn < 6,0; Ni < 5,5; Co < 4,5; As < 4,5; Cr < 4,5; Pb < 4,0; Hg < 4,0



3. Rizikové látky v půdách

Tabulka 40: Nejvyšší přípustné koncentrace vybraných rizikových prvků v půdě (v $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) v některých zemích podle CEC (Commission of the European Communities) z roku 1986

Prvky	Německo	Británie	Francie	Nizozemí	Kanada	Maďarsko	CEC
Cd	3	3	5,4	2	4	1	1–3
Hg	2	1	2,7	2	1	1	-
Pb	100	250	210	100	100	100	50–140
As	-	10	-	2	15	7	-
Cr	100	600	360				
Ni	50	75	60				
Zn	300	300	750				

Zdroje antropogenní kontaminace

- hlušina
- popílký
- hnojiva
- emise a polutanty

Tabulka 42: Koncentrace rizikových chemických prvků ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) v různých hmotách (Hraško, Bedrna, 1988)

Chem. prvek	Silikátové horniny	Půda	Vápenec	Superfosfát	Kaly	Ropa
Cd	0,1–5,0	0,1–1,0	0,1–2,0	7,3–175	0–10	0,02
Cr	10–25	2–15	9–20	66–243	1–68	–
As	1–13	1–10	1–4	2–1200	0–100	0,05–1,1
Hg	0,1–0,4	0,01–0,3	0,01–0,2	7–92	0,1–37	0,02–30
Ni	2–50	2–30	5–20	7–32	0–35	49–345
Pb	7–80	0,1–50	7–15	0,1–37	0–65	–
Sb	0,1–20	0,1–15	0,2–0,5	0,5–170	0–21	30–107
Cu	0,3–12	0,9–14	0,3–10	0,3–38	7,5–100	0,3–200
Zn	0,8–27	4–32	5–27	4–25	6–800	0,2–6
Mo	0,01–0,3	0,01–0,2	0,01	0–4	0–1,5	0,03–0,15

Ohrožené oblasti ČR
 Sev. Morava a sev. Čechy
 Inundační zóny vodních toků
 (Hg, Cr, Ni, As, Cu)
 Odpadními látkami ohrožené

3. Rizikové látky v půdách

Asanace půd intoxikovaných anorganickými rizikovými látkami

Překrytí odpadů – izolace odpadů od kontaminované půdy rostlinami (zasetí trávy = dlouhodobé opatření) nebo plastovou fólií.

Zakrytí zeminou – pouze tam, kde je vyloučen kapilární zdvih vody (např. Slovensko – překrytí popílků s As)

Odvoz intoxikované půdy – pouze u silně kontaminovaných povrchových půd

Promyv půdy – pouze u ve vodě rozpustných rizikových prvků (Cd, Zn, As, Mg); kombinace s mobilizací rizikového prvku (Mg-sádrování); někdy použití kyselin

Zředění půdní hmoty – snížení nadlimitních koncentrací toxického prvku

Vápnění a sádrování půdy – neutralizace půdní kyselosti, snížení mobility, např. Cd, Zn, Ni

Aplikace asanačních hmot – schopnost OL a minerálů fixovat škodliviny, např. Beringite (75 t / ha)

3. Rizikové látky v půdách

Bentonit, zeolit – mletý bentonit (nejvíce má montmorillonitu) – sorpční kapacita – 905 mmol.kg⁻¹ (5-10 t / ha); zeolit (10-20 t / ha)

Pěstování rostlin a jejich následné spalování – schopnost rostlin odčerpat rizikové prvky, např. jilm (*Ulmus glutinosa*) – odčerpá Zn, Cu

**Cd = 1,3 %, Hg = 0,2 %,
Pb = 0,6 %, Cr = 0,6 %**



2,6 %

Tabulka 45: Kontaminace půdy anorganickými rizikovými prvky v nejkritičtějších oblastech ČR (v % vzorku s nadlimitním obsahem rizikových prvků) – Podlešáková, Němeček (1995)

Místo	Zdroj	Počet vzorků	Hg	As	Cd	Be	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr
Aluvia	a	33	88	7	93	29	53	88	56	10	7	31
Praha	b	39	38	0	36	0	33	28	33	0	0	0
Chomutov	c	124	3	2	2	3	9	6	2	1	1	1
Most	c	64	2	30	13	11	14	8	9	1	0	0
Teplice	c	81	2	40	20	40	17	11	5	1	1	1
Ústí n/L	c	85	4	34	29	8	7	2	2	0	1	1
Litoměřice	c	76	4	3	1	0	3	0	4	1	1	0
Děčín	c	28	0	4	0	0	4	4	0	0	0	0
Č.Krumlov	b	31	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1

3. Rizikové látky v půdách

Tabulka 47: Potenciální nebezpečí intoxikace půd rizikovými prvky 2. skupiny (Se, Mo, As)

Půdní typ	slabé	střední	silné
Litozem	x	x	x
Ranker	x	x	
Rendzina			x
Pararendzina			x
Regozem	x	x	x
Fluvizem	x	x	x
Koluvizem	x	x	x
Smonice		x	x
Černozem		x	x
Černice		x	x
Šedozem		x	
Hnědozem		x	
Luvizem		x	
Kambizem		x	
Pelozem	x	x	x
Andozem	x		
Kryptopodzol	x		
Podzol	x		
Pseudoglej	x	x	x
Stagnoglej	x	x	
Glej	x	x	x
Solončak			x
Slanec			x
Organozem	x		

jílovitá ←————→ písčítá
 nekarbonátová, kyselá karbonátová, alkalická

Tabulka 46: Potenciální nebezpečí intoxikace půd rizikovými prvky 1. skupiny (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn)

	slabé	střední	silné
	x	x	x
		x	x
	x		
ina	x		
	x	x	x
	x	x	x
	x	x	x
	x		
	x	x	
	x	x	
		x	x
		x	x
		x	x
	x	x	
	x	x	
zol	x	x	
	x	x	
		x	x
		x	x
	x	x	x
	x		
	x		
l	x		

—————→ písčítá
 á, nekarbonátová, kyselá

3. Rizikové látky v půdách

Geochemicky podmíněná distribuce prvků

kůře nad 0,1 %

Prvek	Obsah (mg.kg ⁻¹)
O	455 000
Si	272 000
Al	83 000

Např. Mg, Fe = 66 a 74 pm

Nahrazení prvku v mřížce horninotvorného minerálu: rozdíl poloměrů ≤ 15%; rozdíl nábojů – max. 1

Prvek	Iontový poloměr v pm
Si ⁴⁺	42
Al ³⁺	51
Mg ²⁺	66
Fe ²⁺	74
Co ²⁺	72
Cr ³⁺	63
Ni ²⁺	69
Zn ²⁺	74
Cu ²⁺	72
Pb ²⁺	119
K ⁺	133
Na ⁺	102
Ca ²⁺	100

Tabulka 50: Průměrné obsahy prvků v mg.kg⁻¹ v horninách, půdách a vegetaci (v sušině). Podle Brooks (1987)

Prvek	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Zn
Zemská kůra	25	100	55	13	950	75	70
Granit	3	20	13	48	195	1	45
Bazalt	47	114	110	8	1280	76	86
Ultrabazika	150	1600	10	1	1620	2000	50
Půdy (na neultrabaz.)	10	60	20	10	850	40	50
Půdy (na ultrabaz.)	250	2500	20	10	1000	2500	40
Vegetace (ne ultrabaz.)	1	1	10	5	80	2	100
Vegetace (na ultrabaz.)	10	10	10	5	100	80	100

3. Rizikové látky v půdách

Prvek	Ložisko (stát, kontinent)
Cr	Bushveldský masiv (JAR), Great Dyke (Zimbabwe), Kempirsajský masiv (býv. SSSR)
Ni	Sudbury (Kanada), Norilsk (býv. SSSR), Bushveldský masiv (JAR), Nová Kaledonie Kambalda (Austrálie)
Co	Copper Belt (Zair, Zambie), Chovu-Aksy (býv. SSSR), Oriente (Kuba)
Pb, Zn	Broken Hill (Austrálie), Greens Creek (Aljaška), Gorevskoje (býv. SSSR), Laisvall (Švédsko), Olkusz – Bytom (Polsko), Bleiberg (Rakousko), Příbram (Česká republika)
Cu	El Teniente (Chile), Bingham (USA), Džezkazgan (býv. SSSR), Copper Belt (Zair, Zambie), Lubichow (Polsko), Mansfeld (Německo), Kidd Creek (Kanada)
Hg	Almaden (Španělsko), New Almaden (USA), Wanshan (Čína), Rudňany (Slovensko)

Sudetská – sv. část ČR

- Iugikum (Pb, Ba, F)
- Silezikum (Cu, Pb, Zn)

Geochemické anomálie v ČR

Moldanubická – plochou je největší

- středočeský pluton (Zn, Pb, U)
- centrální moldanubický pluton (Pb, Zn)
- vých. část Českomor. vrchoviny (Pb, Zn, Cu, U)
- západočeský okrsek (U, Pb, Zn, Cu)

Sasko-durynská – sz. část ČR –
ložiska greisenových rud (Sn + W + Mo) a ložiska U-Ag-Co-Ni-Bi (Jáchymovský + Hornoslavkovský revír) (znečištění - Co, Sn, Ni)

3. Rizikové látky v půdách

Intoxikace půdy organickými rizikovými látkami

ropa a její složky (benzin, asfalt, bitumeny, kerosin, minerální maziva...)

monoaromatické, chlorované + heterocyklické uhlovodíky, polychlorované bifenyly (PCB)

Asanace (remediace) ropou znečištěných půd – v přírodě 10 až několik desítek let. Značná role – mikroorganismy.

Znečištění ropou

- Snížené vypařování vody
- Omezení cirkulace vzduchu
- Alkalizace půdy (vlivem volného Na obsaženého v ropě)
- Snížení mobility P a K
- Výrazný vliv na mikrobiální organismy a ještě větší na makrofaunu

Již 20 ml.kg⁻¹ ničí v půdě vše živé

- 1. Fyzikálně-chemické zvětrávání**
- 2. Biologická remediace**
- 3. Kometabolická biodegradace – rozklad ropu aniž by byla zdrojem energie či živin**

3. Rizikové látky v půdách

Umělá remediace – urychlení přirozené biodegradace ropy a dekontaminace půdy

1. Přípravné práce – odstranění akumulací ropy (jezírka) → hluboké prokypření (únik plynných složek ropy)

Ostatní toxické látky – PAU, PCB, chlorované uhlovodíky – remediace promýváním, provětráváním, aplikace biologických preparátů

2. Aplikace biopreparátů preparáty s kvasinkami (např. *Candida*) – za 1-2 roky → % ropných látek v půdě

3. Obnova půdní úrodnosti závlaha, hnojení organickými a minerálními průmyslovými

4. Fytomeliorace – remediací pěstováním rostlin, např. v

Tabulka 58: Biologické účinky některých chlorovaných uhlovodíků (Tölgyessy a kol., 1989)

Název	použití	mutagen	karcinogen	teratogen
Trichlormetan	rozpouštědlo	+	++	+
Tetrachlormetan	rozpouštědlo	+	++	+
1,1,1-trichloreten	rozpouštědlo	+	?	0
Dichlordifluormetan	chlazení	0	0	0
Vinylchlorid	narkotikum	+	++	+
Trichloretylen	rozpouštědlo	+	+	0
Tetrachloretylen	rozpouštědlo	+	+	0
Bromdichloreten	pesticid	+	?	0
Tribrommetan	pesticid	+	+	?
Metylchlorid	chlazení	0	0	0

3. Rizikové látky v půdách

Zamoření radionuklidy

Tabulka 59: Plochy v jednotlivých zemích (v 10^3 km^2), kde kontaminace prostředí překročila hladinu 40 kBq na m^2 a evakuační zóny, ve kterých přesáhla 1480 kBq.m^2

	> 40 kBq.m ²	> 1480 kBq.m ²
Rakousko	11	-
Bělorusko	46	2,6
Česká republika	0,21	-
Estonsko	< 0,01	-
Finsko	19	-
Německo	0,32	-
Řecko	1,2	-
Itálie	1,3	-
Norsko	7,1	-
Polsko	0,52	-
Rumunsko	1,2	-
Rusko (evropská část)	60	0,46
Slovenská republika	0,02	-
Slovinsko	0,61	-
Švédsko	24	-
Švýcarsko	0,73	-
Ukrajina	38	0,56
Velká Británie	0,16	-