

KVALITA A ZDRAVÍ PŮDY

Předmluva

Citát: „Máme více informací o pohybu nebeských těles, než o půdě pod nohama.“

Leonardo Da Vinci, kolem r. 1500

Půda jako taková provází lidstvo od jeho prvopočátku. Umožňuje produkci potravin, které jíme, je stavebním materiálem, zdrojem léčiv a velmi často i místem posledního odpočinku. Lidstvo je v současnosti, co se týče produkce potravin, na půdu bezvýhradně odkázáno a proto by nám nemělo být jedno, jak se s půdou nakládá, a je-li poškozována. I když je vztah půdy k dalším složkám přírody, případně k člověku vztahem nesmírně složitým a širokým, pokusil jsem se v rámci této stručné publikace přehledně shrnout uvedenou problematiku se zaměřením na kvalitu a zdraví půd a nastínit hlavní problémy.

První část publikace je koncipována jako velmi stručné shrnutí půdních vlastností a vývoje půdy v poledové době. Rovněž zde najdete nastínění konceptů půdní kvality a půdní degradace. Záměrně jsou zdůrazněny pouze některé půdní vlastnosti, které jsou rozebírány v další části publikace, nebo v rámci pracovních sešitů předmětu Kvalita a zdraví půd. Pro hlubší studium půdních degradací či půdních vlastností bych čtenáře odkázal na specializované publikace, z nichž část najde v přehledu literatury na konci. V druhé části jsou pak rozebírány typy degradace půdy, zákony, monitoring půdy, dlouhodobé polní pokusy apod.

Věřím, že předkládaná publikace pomůže ucelit povědomí o problémech spojených s degradací a kvalitou půdy.

Autor

Brno, prosinec 2013

CO JE TO PŮDA

Ve svém tradičním významu je půda **přirozené médium pro růst rostlin**, ať má či nemá zřetelné půdní horizonty. Tento význam je sice velmi obecný, nicméně velmi rozšířený, protože největší zájem je zaměřen právě na produkci potravin. Od sedmdesátých a osmdesátých let 19. století, kdy byla zaváděna nová koncepce půdy ruskou školou v čele s V. V. Dokučajevem jsou půdy vesměs chápány jako nezávislé subjekty, z nichž každý má unikátní morfologii, vyplývající ze specifické kombinace klimatu, živých organismů, matečného substrátu, reliéfu a stáří. Půda se v rámci tohoto pojetí skládá z pevných látek (minerálních a organických), kapalin a plynů a zabírá určitý prostor je charakterizována jednou nebo oběma z následujících možností:

- horizonty, nebo vrstvy, jsou odlišitelné od výchozího materiálu (zvětralin) v důsledku ztrát /přírůstků a přeměny energie a hmoty, a/nebo
- má schopnost podporovat zakořenění rostlin v přirozeném prostředí.

Tato definice je určitým rozšířením předchozí definice, kdy zahrnuje i půdy v některých oblastech Antarktidy, kde sice k pedogenezi dochází, ale kde je klima příliš drsné na to, aby umožnilo růst vyšších rostlin. Půda tak pokrývá zemský povrch jako kontinuální médium, s výjimkou holých skal, částí polárních oblastí nebo hluboké vody (obvykle se uvádí hloubka více než 250 cm). Spodní hranici půda/substrát je ale v některých případech velmi obtížné definovat. Pro účely klasifikace je za dolní hranici půdy obvykle brána hloubka 200 cm (platí to i v půdách, kde např. biologická aktivita nebo svahové procesy působí/působily v hloubce větší než 2 m).

Definice „co je to půda“ od profesora Václava Nováka:

Půda je přírodní útvar vyvinutý z povrchových zvětralin zemské kůry a z organických zbytků. Jeho stavba a složení jsou výsledkem působení klimatu a živých organismů žijících v půdě i na ní.

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŮDY

Zrnitost

Půdní textura (zrnitost) je jednou z nejdůležitějších vlastností půdy, která ovlivňuje její další fyzikální, chemické a biologické vlastnosti. Má vliv i na produkci plodin a zpracování půdy. Zrnitostní třída půdy je stanovena procentem písku, prachu a jílu v ní obsažených.

Zrnitost významně ovlivňuje:

- propustnost pro vodu (= vsakovací schopnost) a kyslík (= provzdušnění)
- vododržnou kapacitu
- náchylnost k erozi
- obsah organické hmoty
- kationtovou výměnnou kapacitu (KVK)
- pH a pufrační kapacitu
- mechanické vlastnosti (= obdělávatelnost) apod.

Vliv zrnitosti na některé půdní vlastnosti (obecně)

	lehké půdy (např. písky)	středně těžké půdy (např. hlíny)	těžké půdy (např. jíly)
vodní kapacita	nízká	střední	vysoká
pohyb vody	vysoký	střední	nízký
energie nutná pro obdělávání	nízká	střední	vysoká
vodní nebo větrná eroze (snadnost oddělení jednotlivých částic)	vysoká	střední	nízká
vodní nebo větrná eroze (snadnost transportu částic)	nízká	střední	vysoká
sorpce	nízká	střední	vysoká
rizika spojená s kontaminací potravního řetězce	vysoká	střední	nízká

Zrnitost půdy určuje rychlost, při které voda odtéká při nasycení půdy vodou. Voda se rychleji pohybuje v písčitéch půdách než v půdách jílovitých (i když je celková pórovitost jílovitých půd oproti půdám písčitém větší). Zrnitost také ovlivňuje, kolik vody je k dispozici rostlinám. V jílovitých půdách poutají půdní částice a vodu silnější síly, proto je dostupnost vody pro rostliny na jílovitých půdách nižší než na půdách písčitéch. Půdy se také liší v náchylnosti k erozi (erodovatelnosti) na základě zrnitosti. Půdy s vysokým obsahem prachu a jílu lépe erodují než písčité půdy za stejných podmínek. U písčitéch půd dochází zejména k vsaku, nikoliv k odtoku po povrchu, navíc písčité částice jsou oproti částicím prachu a jílu

poměrně těžké, tedy hůře transportovatelné. Zrnitost ovlivňuje i obsah organické hmoty, obecně lze říci, že čím má půda více jílu, tím větší bývá obsah půdní organické hmoty. Obsah jílu a půdní organické hmoty z významnějších vlastností ovlivňuje kationtovou výměnnou kapacitu (KVK) a pufrční schopnost půd (schopnost půd vyrovnávat kolísání pH).

Klasifikace

V zásadě se můžeme setkat s několika různými systémy hodnocení zrnitosti. Dále jsou vybrány pouze některé nejužívanější.

Kopeckého klasifikace

Tato klasifikace je v platnosti od roku 1910. Na doplnění a úpravách byla tato klasifikace použita i při Komplexním průzkumu zemědělských půd (1961–1971), resp. v jednotlivých klasifikačních systémech jako byly: Geneticko-agronomická klasifikace a Morfogenetická klasifikace půd. Od Kopeckého klasifikace bylo upuštěno až v rámci Taxonomického klasifikačního systému půd ČR (v platnosti od r. 2001) (viz níže).

kategorie	název frakce	průměr částic (mm)
I	jílnaté částice	menší než 0,01
II	prach	0,01–0,05
III	práškový písek	0,05–0,1
IV	písek	0,1–2,0

Částice I. kategorie jsou ještě dále rozčleněny na:

koloidní jíl < 0,000 1 mm

fyzikální jíl < 0,001 mm

jemný prach 0,001–0,01 mm

Půdní druh (Novákova zrnitostní klasifikace)

Jedná se o zobecněnou Kopeckého klasifikaci, která bere v úvahu pouze částice menší než 0,01 mm (tj. částice I. kategorie Kopeckého klasifikace). Jedná se o nejobecnější klasifikaci, se kterou se můžeme v praxi setkat.

Nováková klasifikace půdních druhů a jejich rozšíření v rámci ČR (upraveno dle Kalenda, M. 1972).

obsah jílnat.částic v % *	zemina	zařazení **	plocha ZPF ČR (ha)	% ZPF
0–10	písčítá	lehká půda	1 109 419	24,9
10–20	hlinito-písčítá			
20–30	písčito-hlinitá	střední (středně těžká) půda	2 955 142	66,4
30–45	hlinitá			
45–60	jílovito-hlinitá	těžká půda	363 331	8,2
60–75	jílovitá			
nad 75	jíl			

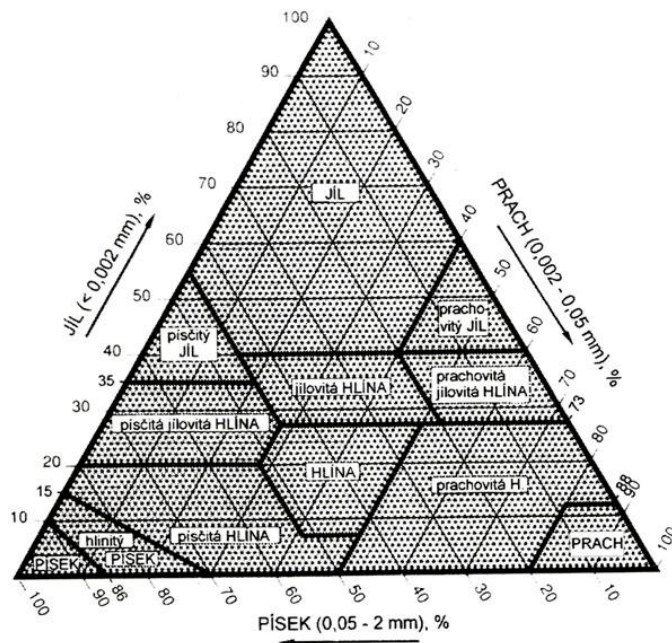
Zbýlých přibližně 0,5 % tvoří rašeliniště a nevyvinutá půda

* tj částice o průměru menším než 0,01 mm

** údaje lehká/těžká půda nijak nesouvisí s objemovou hmotností půdy, ale s obtížností zpracování půdy obvykle orbou (tj. zda za sucha lze tuto půdu orat dobře = lehce, nebo obtížně = těžce)

Zrnitostní třídy

Dělení zrnitosti do zrnitostních tříd je přejato z americké klasifikace, u nás se začalo používat od r. 2001 (v rámci nové Taxonomické klasifikace půd ČR). Jde o kombinaci procentuálního zastoupení písku, prachu a jílu v půdě. Částice písku mají velikost od 0,05 do 2,0 mm, prachové částice 0,002–0,05 mm a jíl tvoří částice menší než 0,002 mm. Štěrk nebo kameny (obecně částice s průměrem větším než 2 mm), nemají vliv na hodnocení zrnitosti (pokud se ale nejedná o půdy extrémně štěrkovité, nebo kamenité). Jakmile známe obsah písku, prachu a jílu, můžeme texturní třídu vyčíst z trojúhelníkového diagramu (obr. 1). Například, půdy se 40 % písku, 40 % prachu a 20 % jílu jsou klasifikovány jako hlíny.



Trojúhelníkový diagram se používá k určení zrnitostní třídy z procent písku, prachu a jílu v půdě.

POZOR: Velmi často dochází k záměně pojmů půdní druh a půdní typ. Půdní druh vychází ze zrnitosti (tj. obsahu částic menších než 0,01 mm v %) viz výše. Půdní typ je skupina půd se stejnými diagnostickými horizonty, které vznikly působením stejných půdotvorných faktorů v obdobných podmínkách půdotvorného procesu (např. černozem, hnědozem, organozem apod.). Obvykle mají i podobnou úrodnost.

Zrnitost by však neměla být zaměňována ani se strukturou, která se týká toho, jak jsou půdní částice vzájemně agregovány, tj. spojeny ve větší částice.

Povrch částic (Specific surface area-SSA)

Povrch půdních částic je celková plocha těchto částic nejčastěji vyjádřená v m², obsažená v jednotce hmotnosti půdy (nejčastěji gramy). Půdy s vysokým měrným povrchem mají obvykle velkou vododržnou kapacitu, jsou schopny více adsorbovat kontaminanty a více bobtnají. Problematika povrchu je úzce spjata se zrnitostí:

Kostka o hraně 1 cm, s hustotou 1 g/cm³ má plochu 6 cm²/g. Pokud stejnou kostku rozdělíme na menší kostky o hraně 1 mm, dostaneme ve výsledku 1 000 kostek (10x10x10) se stejnou hustotou i objemem, ale povrch nám vzrostl na 60 cm²/g (6 000 mm²).

V dělení samozřejmě můžeme dále pokračovat. V praxi to tedy znamená, že čím menší částice budeme mít (u jílu až mikrometry), tím větší plochu na jednotku hmotnosti půdy

dostaneme, u montmorillonitu se například můžeme setkat i s povrchem o ploše stovek metrů čtverečných na gram (810 m²/g).

Objemová hmotnost suché zeminy, nebo též objemová hmotnost redukováná

Vyjadřuje, jaká je hmotnost půdy o daném objemu tj. včetně pórů. Vystihuje tedy stav nakypření či zhutnění půdy daného horizontu. Objemové hmotnosti se rovněž využívá ve stavebnictví při posuzování zhutnění technologických vrstev např. při stavbách hrází, zemních tělesech apod. Vyšší hodnoty vždy znamenají snížení propustnosti půdy pro vodu a plyny.

Mimo textury (zrnitosti) její hodnoty závisí rovněž na struktuře, obsahu organických látek apod. Nestrukturní půdy s převahou elementárních částic se mohou přirozeně „stlačovat“ až na hodnotu 1,9 g/cm³.

Pro většinu polních plodin by se měla hodnota objemové hmotnosti v ornici pohybovat v rozmezí hodnot 1,2 až 1,4 g/cm³, v hlubších vrstvách od 1,4 u jílu do 1,8 g/cm³ u písků. Obecně je objemová hmotnost půdy kolem 1,8 g/cm³ uváděna jako hranice biologické činnosti a objemová hmotnost okolo 2,0 g/cm³ již charakterizuje půdu bez biologické aktivity a s minimálním pohybem vody a látek (Sáňka, Materna 2004.)

Měrná hmotnost (zdánlivá hustota pevné fáze)

Vyjadřuje charakter složení pevné fáze vzorku, tj. objemovou hmotnost pouze tuhé fáze půdy. Pokud je tato hodnota menší než hodnota průměrná (v našich podmínkách se za tuto hodnotu považuje hustota křemene tj. 2,65 g/cm³), jedná se zpravidla o půdy s vyšším obsahem organických látek. Výrazné zvýšení může naopak ukazovat na obsah sloučenin železa.

Pórovitost

Pórovitost dává poměrný obraz o zastoupení objemu pórů v celkovém objemu půdy. Tato hodnota se, ale vlivem bobtnání, případně smršťování půdy může měnit. Z celkové pórovitosti se usuzuje na okamžitou ulehlost/utuzenost půdy. Obvykle se pohybuje kolem hodnoty 50 %.

Barva

Barva může být zajímavým ukazatelem některých obecných půdních vlastností, stejně jako nám může prozradit některé chemické procesy, které v ní probíhají (např. braunifikace = hnědnutí, leucinizace = vybělení, glejizace apod.). Barva je rovněž jedním z hlavních

morfologických znaků, které nám pomáhají odlišit jednotlivé půdní horizonty. Charakteristická barva rovněž dala název některým půdám (černozem, hnědozem, šedozem, andozem apod.).

Barva půdy je ovlivněna zejména obsahem organických látek, vody, přítomností a oxidačním stavem chemických látek (především železa a manganu). Žluté nebo červené půdy např. indikují přítomnost oxidů železa (ve formě Fe^{3+}). Tmavě hnědé nebo černé barvy obvykle indikují vysoký obsah organické hmoty. Vlhká půda se obecně jeví jako tmavší než suchá půda.

Barva vybraných látek (USDA 1)

Minerál	vzorec	velikost	Munsell	barva
goethit	FeOOH	(1-2 mm)	10YR 8/6	žlutá
goethit	FeOOH	(~0.2 mm)	7.5YR 5/6	výrazně hnědá
lepidocrocit	FeOOH	(~0.5 mm)	5YR 6/8	červeno-žlutá
lepidocrocit	FeOOH	(~0.1 mm)	2.5YR 4/6	červená
sulfid železa	FeS		10YR 2/1	černá
pyrit	FeS_2		10YR 2/1	kovově černá
humus	-	-	10YR 2/1	černá
kalцит	CaCO_3		10YR 8/2	bílá
dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$		10YR 8/2	bílá
křemen	SiO_2		10YR 6/1	světle šedá

Co nám velmi hrubě může barva půdy napovědět (USDA 1)

barva/ půdní vlastnost	černá	světle šedá	červená	hnědá	žlutá	šedá/ modrošedá
odvodnění	často pomalé	dobré	dobré	dobré/ střední	méně dobré	nízké
vododržná kapacita	střední	nízká	nízká	nízká	nízká/ střední	vysoká
akumulace org. hmoty	vysoká	malá	střední	střední/ vysoká	střední/ nízká	nízká
vyplavování živin	nízké	vysoké	střední	střední	střední	nízké
ztráta dusíku (denitrifikací)	střední	nízká	nízká	malá	nízká/ střední	vysoká

CHEMICKÉ VLASTNOSTI PŮDY

Obsah prvků

Pouze 10 prvků (kyslík, křemík, železo, hliník, vápník, draslík, sodík, hořčík, titan a vodík), z přirozeně se vyskytujícího osmdesáti devíti prvků, tvoří více než 99 hmotnostních procent zemské kůry. Ostatní 79 prvků (včetně inertních plynů), které dohromady tvoří méně než 0,5 hmotnostního procenta, je známých jako stopové prvky. Nehrají sice zásadní roli ve stavbě zemské kůry, nicméně jejich význam v ekologii, zemědělství, medicíně, toxikologii a mnoha dalších oblastech je zcela nepřiměřený jejich nízkému obsahu. Stopové prvky (také známé jako mikroelementy), jsou chemické prvky, jejichž koncentrace v zemské kůře je menší než 0,1 hmotnostních procent.

Půdní reakce

Závisí na koncentraci a aktivitě vodíkových iontů, které se ve vodných roztocích spojují s molekulou vody a tvoří s ní kationty H_3O^+ (hydroxoniové nebo oxoniové ionty). V půdním roztoku rozpuštěné kyseliny a koloidní acidoidy uvolňují vodíkové ionty (disociace); rozpuštěné zásady a bazoidy se s nimi slučují (asociace). Můžeme jí rozdělit na:

Aktivní kyselost je dána koncentrací iontů H^+ v půdním roztoku, tedy tím co přímo ovlivňuje kořeny rostlin. Má tedy bezprostřední vliv na příjem živin rostlinami. Je tvořena minerálními a organickými kyselinami, hnojivy atd. Stanovuje se ve výluhu půdy vodou.

Výměnná kyselost je způsobená adsorbovanými H^+ a Al^{3+} (příp. Fe) ionty, které se vyměňují za bazické ionty roztokem neutrální soli KCl ($CaCl_2$). Říká nám tedy, co je vázáno na sorpčním komplexu.

Půdní sorpční komplex

Jednou z nejdůležitějších schopností organických látek i jílových minerálů je schopnost vázat (sorbovat) živiny. Velikost sorpce závisí na množství koloidních částic v půdě, které jsou tvořeny organickými (humusové látky) a minerálními (jílové minerály) látkami. Většina půdních koloidů má negativní náboj, proto poutají ve výměnné formě především kationty. V našich půdách tak vysoce převažuje sorpce kationtů (95%) nad sorpcí aniontů. Proto bývá většina aniontů, pokud není vázána chemickou nebo biologickou sorpcí, vyplavena do podpovrchových vod a není vyloučena kontaminace i zdrojů pitných vod.

Ukázka sorpční kapacity vybraných látek podle Fiedlera a Reissiga (1964):

látka	mmol/100g
kaolinit	3–15
montmorillonit	50–150
vermikulit	100–150
kyselina huminová	100–500
hrubý (surový) humus	80–150
organické látky	až 300

Půdní sorpční komplex přímo ovlivňuje:

- sorpční kapacitu půdy
- půdní reakci, charakter a dynamiku některých chemických procesů
- pufrovitost půdy

nepřímo pak ovlivňuje:

- strukturu půdy a obdělávatelnost,
- vodní a vzdušný režim,
- biologickou aktivitu půdy apod.

Na základě převládajícího druhu sorbovaných kationtů můžeme rozlišit tři druhy nasycenosti, a to půdní sorpční komplex:

- sorpčně nenasycený: typická je převaha vodíkových iontů a nedostatek dvojmocných kationtů, který vede ke vzniku nestabilní struktury. Půdní reakce je kyselá. Předpokladem jeho vzniku je vlhké klima a nedostatek bazických iontů v půdě.
- nasycený jednomocnými kationty (Na a K): převažují jednomocné kationty, především sodík. Způsobuje velkou pohyblivost koloidů v půdním profilu, tvorbu vrstev s nepříznivými fyzikálními vlastnostmi a destrukcí půdní struktury. Půdní reakce je alkalická.
- nasycený dvojmocnými kationty (Ca a Mg): humus je tvořen kondenzovanými huminovými kyselinami, které jsou v půdě za běžných podmínek nepohyblivé. Půdy s tímto druhem sorpčního komplexu nazýváme půdami sorpčně nasycenými. Půdní reakce se pohybuje kolem neutrální hodnoty. Půdy mají obvykle dobrou agregační schopnost a vodostálou strukturu.

Půdní organická hmota obsah

Obsah humusu v půdě (cca 2–5 %) ovlivňuje celou řadu pochodů, které mají podstatný vliv na výživu rostlin. Představuje poměrně pestrá směs látek, jako jsou posklizňové zbytky

rostlin, organická hnojiva (hnůj, kejda, močůvka, zelené hnojení, kompost) nebo se může jednat o látky v půdě vznikající (trvalý humus) či o žijící organismy (edafon).

V našich půdách je obsah humusu u zemědělských půd relativně malý, v ornici v průměru okolo 2 %.

Cox (%)	humus (%)	označení obsahu
< 0,6	< 1,0	velmi nízký
0,6–1,1	1,0–2,0	nízký
1,1–1,7	2,0–3,0	střední
1,7–2,9	3,0–5,0	vysoký
> 2,9	> 5,0	velmi vysoký

Organická hmota se v půdě vyskytuje v povrchové části půdního profilu ve vrstvách o různé mocnosti, nazývaných humusové horizonty. Jejich mocnost se pohybuje od několika centimetrů (lesní půdy, mělké erozní půdy), po několik decimetrů (černozem, smonice), až metrů (organozemě). Proces tvorby humusu je velmi náročný a zdlouhavý, závisí na typu vegetace, klimatických podmínkách, na obsahu vzduchu a vody v půdním profilu apod. Přes nepřetržitý proces vzniku a ukládání dochází také k neustálým ztrátám, proto jeho obsah může v rámci roku i meziročně kolísat. Dlouhodobé pokusy ukázaly, že i při nízkém obsahu humusu může být půda velmi úrodná.

Ztráty nastávají především mineralizací, proplavováním koloidního humusu zasakující vodou a povrchovým smyvem. Proplavování humusu je intenzivní zvláště v kyselých půdách, kde je koloidní humus snadno pohyblivý. K povrchovému smyvu, případně větrnému odnosu dochází především nevhodnými agrotechnickými a melioračními zásahy do půdy.

Půdní organická hmota kvalita

Půdní organickou hmotu můžeme rozdělit na látky nehumifikované, humifikované a přechodné.

Nehumifikované organické látky tvoří přibližně 10–15 % z celkového organického podílu půdy. Jde především o nerozložené nebo částečně rozložené zbytky rostlin, organická hnojiva, živočichy, včetně mikroorganismů a makroedafonu (žížaly a ostatní půdní živočichové). Proces rozkladu těchto látek se nazývá mineralizace a jeho konečnými produkty jsou jednoduché sloučeniny (voda, oxid uhličitý, jednoduché sloučeniny).

Humifikované organické látky vznikají za omezeného přístupu vzduchu, během procesu humifikace za spolupůsobení enzymů vylučovaných mikroorganismy. Tyto látky tvoří

přibližně 85–90 % celkového obsahu organických látek v půdě. Během humifikace dochází k tvorbě nových, velmi složitých organických sloučenin (tzv. trvalý humus).

Huminové kyseliny (HK) jsou nejkvalitnější složkou humusových látek. S vápníkem a hořčíkem tvoří ve vodě nerozpustné humáty vápenaté nebo hořečnaté, které ovlivňují příznivě technologické vlastnosti půd (např. zvyšují soudržnost lehkých půd, zlepšují drobitost a zpracovatelnost těžkých půd). Váží na sebe také řadu těžkých kovů (Cd, Pb, Zn, Hg) do těžce rozpustných sloučenin a tak omezují jejich pohyb v půdě a příjem rostlinou. Ve vodě jsou nerozpustné, ale některé jejich soli jednomocných kationtů, jako je humát sodný a draselný, se vyznačují velkou rozpustností. Významnou schopností huminových látek je vytváření tzv. organominerálních komplexů. Přitom se spojují částice jílových minerálů s nerozpustnými humáty vápníku a jinými ionty a tím se vytváří obrovské molekuly s velkým povrchem a značnou schopností poutat různé ionty – sorpční komplex.

Fulvokyseliny (FK) obsahují o něco méně uhlíku (pod 50%) a dusíku (méně než 3%) oproti huminovým kyselinám a mají zřejmě menší molekulu než huminové kyseliny. Jsou rozpustné ve vodě, v loužích a kyselinách, tedy jsou v půdě značně pohyblivé. Jejich vápenaté, hořečnaté soli a také soli Cd, Pb, Zn, jsou rozpustné ve vodě. Tato jejich vlastnost je důležitá pro pohyb minerálních látek v půdě, významně působí v podzolizačních procesech. Zvýšený obsah fulvokyselin v půdě (typické pro kyselejší půdy) zpřístupňuje uvedené prvky do forem přijatelných pro rostliny.

Kvalitu humusu lze stanovit podle poměru huminových a fulvinových kyselin (HK:FK) nebo podle poměru uhlíku k dusíku (C:N).

Podle poměru HK:FK

- kvalitní humus: 2 a více (černozemě)
- nekvalitní humus: 0,5 a méně (podzol, organozemě)

Podle poměru C:N

- kvalitní humus: 9–10
- nekvalitní humus: 20–60

Acidobazická tlumící schopnost

Též nazývaná ustojčivost či pufrovitost. Jedná se o schopnost půdy neměnit, udržet původní půdní reakci, kterou vykazuje vůči látkám s odlišným pH (jak vyšším tak i nižším), jež do ní vstupují (déšť, hnojiva apod.). Problematika půdní ustojčivosti nabyla na významu právě s kyselými dešti a jejich vlivem na půdu. Půdy mají různou schopnost rezistence vůči acidifikaci kyselými dešti či umělými hnojivy. Obecně čím více obsahují bazických iontů, tím jsou odolnější vůči okyselování. Velkou roli zde hraje bohatost horninového podloží, kvalita humusu, sorpční kapacita. Naproti tomu půdy nenasycené (s vyšším podílem H na sorpčním

komplexu) a nasycené trojmocnými kationty (s vyšším podílem Al a Fe), mají větší tlumící schopnost vůči alkalizaci. Samotná pufrací schopnost je spojena se sorpčními procesy, vytěšňováním a uvolňováním iontů a jejich poutáním, neutralizací či vysrážením sloučenin. Rozlišujeme pufrací schopnost půdy ve vztahu ke kyselinám a pufrací schopnost k zásadám. Nejmenší pufrací schopnost mají písčité půdy, nejvyšší půdy jílovité.

BIOLOGICKÉ VLASTNOSTI PŮDY

Biologické vlastnosti půdy jsou závislé na přítomnosti živých organismů, které se souhrnně označují jako půdní edafon. Lze ho třídit například podle velikosti na:

- mikroedafon, tvoří organismy o velikostech do 100 μm (bakterie, aktinomycety, sinice, řasy, houby, prvoci)
- mezoedafon, tvoří organismy velikosti 100 μm do 10 mm (hlístice, chvostokoci, roztoči, roupice, pavoukovci, stejnonožky, mnohonožky, stonožky, hmyz, měkkýši, žížaly) a
- makroedafon, tvoří organismy větší než 10 mm (plži, hryzci, krtci, hraboši, krtonožky apod.).

Za nejvýznamnější složku fytoedafonu bývají pokládány anaerobní a aerobní bakterie. Žížaly jsou pak pokládány za nejvýznamnější složku zooedafonu. V ČR je jich známo téměř 50 druhů, z toho v agrosystémech lze, ale běžně nalézt pouze třetinu. Význam žížal pro půdu spočívá zejména v jejich působení při rozkladu primární organické hmoty a tvorbě humusu. Žížaly se podílejí zejména na přeměně složitých organických sloučenin na formy jednoduché, přijatelné rostlinami. Půdy bohaté na žížaly lépe absorbují vláhu než půdy bez nich (vertikální chodbičky urychlují vsakování vody). V těžších půdách jsou chodby žížal základním prostorem, jímž pronikají kořínky rostlin (40–60 % kořínků rostlin je právě v těchto chodbách).

Biologická aktivita mikroorganismů má poměrně úzký vztah k funkcím ekosystému. Vysoká úroveň biologické aktivity zvyšuje zásobu živin a snižuje jejich vyplavování. Biologická aktivita je rovněž významným indikátorem dekompozice organické hmoty v půdě. K jejímu měření lze použít metody související s:

- přímým počítáním mikrobů
- analýzou speciálních komponent buněk (ATP, fosfolipidy, apod.)
- měřením specifických mikrobiálních procesů (mineralizace dusíku)
- měřením CO_2 produkovaným těmito složkami (bazální respirace, potenciální respirace) apod.

Bazální respirace půdní biomasy (BR) je určovaná pomocí aerobní respirace jako hlavního parametru. Respirace půdy je značně závislá na fyziologických podmínkách mikroorganismů a na obsahu vody v půdě, teplotě, pH, zhutnění půdy případně na zásobě živin. Měření bazální respirace mikrobiálního společenstva odráží jeho fyziologický stav, energetické nároky a působení stresových a inhibičních vlivů. Zároveň, ale závisí i na množství využitelného substrátu pro respiraci.

Potenciální respirace (PR) je ukazatelem maximální možné metabolické odpovědi mikrobiálního společenstva na lehce dostupný organický substrát. Hodnota poměru obvykle dává informaci o limitaci bazální respirace půdy nedostatkem dostupných živin.

FUNKCE PŮDY

Funkce půdy je její schopnost zabezpečovat některé ekologické, environmentální a socioekonomické jevy a činnosti v přírodě (Vilček, Hronec, Bedrna, 2005). Je třeba ji ale chápat nejen ve vztahu k biotě, ale i k hornině, vodě či atmosféře.

V doporučení Rady Evropy R (92)8 jsou vyjmenovány hlavní funkce půdy:

- produkce biomasy jako základní podmínka života člověka a dalších organismů na Zemi.
- filtrace, pufrace a přeměna látek jako součást funkčních a regulačních mechanismů přírody.
- udržení a rozvoj ekologického a genetického potenciálu živých organismů v přírodě
- prostorová základna pro ekonomické (zemědělství, lesnictví, průmysl, doprava, stavebnictví, turistika apod.) a sociální aktivity (zaměstnanost, výživa, příjmy)
- zásobárna a zdroj surovin (voda, jíl, písek, horniny a minerály)
- kulturní dědictví státu a Země, včetně paleontologických a archeologických artefaktů.

Podle tohoto dokumentu mají všechny tyto funkce stejnou důležitost.

Ekologická funkce půdy:

půda má schopnost pro půdu zabezpečovat řadu životně důležitých látek a energii, současně jde o přírodně-historický útvar, ve kterém dochází k přeměnám a akumulaci těchto látek. Mezi ekologické funkce patří:

- **Trofická funkce půdy** často označovaná jako **produkční schopnost půdy** úzce souvisí s pojmem úrodnosti půdy. Úrodnost půdy je schopnost půdy uspokojovat požadavky rostlin na vodu a živiny v optimálním množství, soustavně a po celou dobu jejich růstu a vývoje. Některé z půdních vlastností, které ovlivňují růst rostlin/úrodnost: struktura půdy, zrnitost, pórovitost, provzdušnění (propustnost), vodní kapacita, obsah organických látek apod.
- **Životní prostředí půdních organismů, uchování jejich genofondu.** Půda je obydlená pestrou směsicí organismů (viz Biologické vlastnosti půdy). Mikroorganismy fungují jako primární dekompozitoři (rozkladači) v půdě. Provádí rozklad a přeměnu odumřelé organické hmoty na živiny nutné pro růst nových rostlin a organismů. Dle své závislosti na kyslíku je můžeme rozdělit na organismy "aerobní" tzn. takové, které při své buněčné respiraci, používají jako konečný akceptor elektronů kyslík. Jedná se o většinu mikroorganismů, včetně kořenů rostlin. Na opačné straně stojí mikroorganismy anaerobní, kteří kyslík k respiraci nepotřebují, nebo jim dokonce škodí. Sem patří například zástupci rodu Anaerobacter. Pórovitosti půdy a široký

rozsah velikostí pórů v půdě umožňuje i život tzv. fakultativně anaerobních mikroorganismů, které pokud je k dispozici kyslík, využívají jej jako akceptor elektronů; při anaerobních podmínkách (za vlhka), pak u nich převažuje fermentační typ metabolismu (např. Clostridium).

- **Biochemická funkce:** spjatá s činností půdní bioty a spočívá v akumulaci, transformaci a odbourávání biologicky aktivních látek (vitamíny, enzymy, růstové stimulanty, antibiotika apod.)
- **Transformační funkce:** spočívá v přeměně organických a anorganických látek a energie za spoluúčasti živých organismů a fyzikálně-chemických dějů (humifikace, mineralizace, rašelinění apod.)
- **Akumulační funkce:** spočívá v hromadění látek (N, C, P) a energie. Uvedená funkce má zejména fyzikální a biologický charakter.

Environmentální funkce

- Zprostředkovatel interakcí v rámci životního prostředí: **filtrace, transport** látek. Voda, která padá na zemský povrch ve formě deště nebo sněhu, je půdou absorbována a uložena pro pozdější použití ve formě půdní vlhkosti (půdního roztoku) či podzemní vody. To vytváří zásobu dostupné vody pro rostliny a půdní organismy mezi srážkovými událostmi nebo mezi závlahami. Pokud jsou půdy velmi vlhké, blízké nasycení, voda se gravitací pohybuje dolů v rámci půdního profilu, odkud může být pomocí kapilárního zdvihu transportována zpět k povrchu a dostupná tak pro potřeby rostlin. Rychlost pohybu vody do půdy (infiltrace) je ovlivněna její strukturou, fyzickým stavem (použitou agrotechnikou, množstvím posklizňových zbytků, stavem porostu). Lehké půdy umožňují sice rychlou infiltraci, ale mají menší schopnost zadržovat vodu, kvůli jejich obecně velkému množství hrubých pórů. Těžké půdy mají velké množství mikropórů, které jim umožňují zadržet velké množství vody, ale zpomalují také pronikání vody do půdního profilu. Organická hmota má tendenci zvyšovat schopnost všech půd zadržovat vodu a rychlost infiltrace. Eroze naopak snižuje celkovou schopnost půdy absorbovat a zadržovat vodu.
- **Pufrační funkce** (podrobněji viz Acidifikace)
- **Asanační funkce:** V půdě dochází k rozkladu zbytků rostlin a zvířat za účasti organismů půdní fauny a flóry. Dochází při tom k transformaci jejich pozůstatků na jednodušší minerální formy, které jsou pak použity ve výživě živých rostlin, zvířat a mikroorganismů případně jsou dále syntetizovány na půdní humus. Aktivita mikroorganismů je do značné míry ovlivněna množstvím vody (a tím i přítomným kyslíkem) a teplotou půdy. Chemické složení rozkládaného materiálu, zejména množství dusíku v něm, má zásadní vliv na "stravitelnost". Prostřednictvím procesu

rozkladu a tvorbou humusu, mají půdy schopnost ukládat velké množství atmosférického uhlíku a esenciálních živin pro rostliny. Tento biologicky aktivní uhlík může zůstat v půdní organické hmotě po celá desetiletí nebo dokonce staletí. V půdě mohou být odbourávány i některé patogenní mikroorganismy jako je např. E.coli apod.

Sociologická funkce

tyto funkce mají přímý vztah k lidské společnosti. Půda má schopnost poskytovat lidem suroviny (rašeliny, písek, štěrk apod.), obsahuje rovněž záznamy o naší historii, případně paleontologické nálezy.

- zdroj surovin (farmacie, stavební hmoty, chemický průmysl, energetika apod.)

Ukázky využití některých látek, které najdete v půdě (Carretero, Pozo, 2009)

minerál	chemický vzorec	použití
rutil	TiO ₂	pigment, leštidlo
hematit	Fe ₂ O ₃	pigment, leštidlo
periklas	MgO	vysoušedlo (desikant), rozpouštědlo, vazač
halit	NaCl	emulgátor, zahušťovadlo, protispékavé činidlo, isotonizující prostředek
mastek	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	mazadlo, rozpouštědlo, vazač, emulgátor, zahušťovadlo, protispékavé činidlo, pohlcovač pachů, nosič aktivních látek (léčiva)
kaolinit	(Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	rozpouštědlo, vazač, emulgátor, zahušťovadlo, protispékavé činidlo, pohlcovač pachů, nosič aktivních látek (léčiva)
zeolit	Na,K,Ca) ₂ - 3Al ₃ (Al,Si) ₂ Si ₁₃ O ₃₆ ·12H ₂ O (klinoptylolit)	nosič aktivních látek (léčiva), sorbent *
palygorskit	(Mg,Al) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH)·4H ₂ O	rozpouštědlo, vazač, emulgátor, zahušťovadlo, protispékavé činidlo, pohlcovač pachů, nosič aktivních látek (léčiva)

* **zeolitů** se například využívá i ve vojenství resp. v lékařství, jako univerzálního prostředku prvotní dekontaminace (detoxikace) po zasažení zpuchřujícími látkami (tzv. DESPRACH), případně se jich užívalo jako sorbentů radioaktivního cesia po havárii jaderné elektrárny ve Fukušimě, kdy byly pytle se zeolitem shazovány z vrtulníků.

Příklady dalšího technického využití:

- stavební materiál (spraše)

- optoelektronika (jílové minerály): silikátové vrstvy ve struktuře jílových minerálů mohou sloužit jako nosiče opticky aktivních látek a vytvořit tak supramolekulární systém s fotoluminiscenčními či nelineárními optickými efekty.
- nanokompozity (jílové minerály): perspektivní jsou zejména plastové konstrukční materiál, které mají mít vyšší pevnost, tvrdost, vyšší teplotní stabilitu apod.
- **historické médium (uchování kulturního dědictví)**, jako příklad lze uvést profil ve sprašové stěně zrušené cihelny v Dolních Věstonicích. Profil je významný úplností sprašového souvrství a dvěma archeologickými horizonty z období pavlovienu a z počátku mladšího paleolitu s hojnými zbytky měkkýšů a zvířecích kostí. Z uhlíků dávných ohnišť bylo metodou izotopu uhlíku určeno stáří nalezených artefaktů na 27 000–28 000 let. Jmenovat lze samozřejmě i celou řadu dalších archeologických lokalit: Mikulčice, Závist, Cezavy, Pozořice, Pálava aj.



- **Platforma pro lidské stavby: silnice, budovy, produktovody.** Fyzikální vlastnosti



různých druhů půd jsou však značně variabilní. Z hlediska stavebnictví jsou posuzovány zejména vlastnosti jako například: únosnost, stlačitelnost, konzistence, pevnost ve smyku, smrštitelnost, bobtnavost apod. Tyto technické vlastnosti jsou ponejvíce ovlivněny základními fyzikálními vlastnostmi půdy, jako je

zrnitost, struktura, množství a typ jílového minerálu, obsah vody, pórovitost apod. V rámci staveb je však třeba brát v úvahu nejen fyzikální, ale i ekologické funkce půdy, protože v mnoha případech se například na staveništi vytváří potenciál pro půdní erozi vodou, větrem, nebo obojí. Erodovaná půda pak může znečišťovat a zanášet okolní vodní plochy, silnice, kanalizační síť apod.

- **Esteticko krajinářská funkce.** Souvisí nejenom s faktem, že půda je základem jakékoliv krajiny, ale rovněž s její stabilizační případně estetickou funkcí. Estetika



spočívá nejenom v rozmanitosti půdních typů a druhů, a na ně vázaných ekosystémů, ale i ve struktuře a velikosti jednotlivých celků. Jinou estetiku (krásu) můžeme pozorovat v rámci mozaiky polí, luk a lesa v rámci vysočiny, jinou například v Bílých Karpatech či na jižní Moravě.

KVALITA PŮDY A DEGRADACE

Pojem kvality je v kulturní společnosti obvykle spojen s představou nějaké základní vlastnosti objektu. Každý si tedy pod pojmem „kvalita, kvalitní“ představuje většinou pozitivní charakteristiky nějaké činnosti, výrobku či prostředí (Vilček, Hronec, Bedrna, 2005). Pojem „kvalita půdy“ není nový, historicky byl spojován s produktivitou zemědělských systémů (úrodností). V současné době však uvedené produkční hodnocení půdy nedostačuje, musíme proto kvalitu půdy hodnotit v širších ekologických, resp. enviromentálních souvislostech. Půda má totiž vedle produkční funkce i řadu dalších funkcí, jako např. filtrační, pufrační, transformační, nezanedbatelné jsou rovněž její socio-ekonomické funkce. Pro komplexní hodnocení jsou proto používány termíny kvalita nebo zdraví půdy. Pro zjednodušení můžeme používat oba termíny jako synonyma (Šarapatka, Dlapa, Bedrna, 2002). Dle Dorana a Parkina (1994) je **kvalita půdy** schopnost půdy fungovat jako součást ekosystému a při daném využití krajiny udržovat biologickou produktivitu a kvalitu prostředí a podporovat zdraví rostlin a živočichů. Případně dle Harrise et al. (1996) jde o míru schopnosti půdy zachovávat kvalitu vody a ovzduší, podporovat produkci a kvalitu rostlin i živočichů a podporovat zdraví člověka, a to při daném způsobu využívání půdy uvnitř daných krajinných a klimatických podmínek.

Měřitelným příznakem půdní kvality je **Index půdní kvality** viz dále. Z rozmanitých funkcí půdy v předcházející kapitole je patrné, že hodnocení její kvality je složité, zvláště má-li zahrnout posouzení všech důležitých funkcí. Pro posouzení se používají **indikátory půdní kvality** (Soil quality indicators). Jako indikátory se velmi často používají takové půdní vlastnosti, které jsou citlivé na změnu technologií, ovlivňují nebo korelují s výsledky prostředí a jsme je schopni přesně měřit v rámci určitých technických a ekonomických omezení. Indikátory kvality půdy mohou být kvalitativní (např. kvalita humusu), nebo kvantitativní (např. rychlost infiltrace cm/min).

Dobré indikátory by tedy měly (Doran and Parkin, 1996):

- dobře korelovat s procesy v ekosystémech
- spojovat/zahrnovat fyzikální, chemické a biologické vlastnosti a procesy
- být dostupné/srozumitelné většímu počtu uživatelů (farmáři, lesníci, plánovači)
- být citlivé k obhospodařování (nejen v rámci agrosystémů, ale celé krajiny) a klimatu
- odvoditelné či být součástí již existujících databází
- být interpretovatelné

Existují v zásadě tři hlavní kategorie půdních vlastností: chemické, fyzikální a biologické. Při testování půdy se obvykle sledují pouze chemické vlastnosti (pH, obsah humusu, obsah živin apod.). Kvalita půdy resp. její indikátory se snaží integrovat všechny tři typy ukazatelů. Tyto kategorie nejsou ale propojené s jednotlivými funkcemi půdy, takže je nutná jejich integrace.

Organická hmota, přesněji řečeno půdní uhlík, zahrnuje všechny tři kategorie indikátorů (fyzikální, chemické i biologické) a má největší vliv na kvalitu půdy. Organická hmota je vázána na všechny půdní funkce, resp. vliv na další ukazatele: celkovou stabilitu, strukturu, objemovou hmotnost, dostupnost živin (chemie), koloběh živin (biologie) a je sama o sobě ukazatelem kvality půdy.

Kategorie indikátorů

Chemické indikátory nám obvykle poskytují informace o vztazích mezi půdním roztokem (půdní voda a živiny) a výměnnými místy (sorpční komplex, půdní organická hmota); úrovní kontaminace půdy případně biologické dostupnosti apod. Obvykle měříme:

- elektrickou vodivost
- nitráty v půdě
- půdní organickou hmotu (Cox, DOC apod.)
- půdní reakci atd.

Indikátory *fyzikálních vlastností* obvykle poskytují informace o vztazích půda/voda jako jsou retenční kapacita, vstupy vody apod. Některé z indikátorů mají vztah k dostupnosti živin (díky vlivu na rozvoj kořenového systému nebo aeraci půdy), další nám mohou prozradit něco o vlivu na erodovatelnost. Indikátory obsahují zejména měření/popis:

- stability agregátů
- obsahu dostupné vody
- objemové hmotnosti
- infiltrace
- půdních krust
- struktury a zastoupení makro/mikro pórů atd.

Biologické indikátory nám mohou říct něco o organismech, které jsou zodpovědné za rozklad organické hmoty a koloběh živin. Informace o počtu organismů, v rámci jednoho druhu, ale i mezi druhy, ukazují na schopnost půdy fungovat, nebo se vrátit do původních „hranic“ po nějakém narušení (resistence a resilience). Indikátory zahrnují:

- edafon
- celkový organický uhlík
- potenciálně mineralizovatelný dusík
- respiraci

- půdní enzymy, apod.

V poslední době je ještě zařazována čtvrtá skupina indikátorů: indikátory hygienické (obsah těžkých kovů, organ.kontaminantů apod.).

Hodnocení kvality (zdraví) půdy by mělo být co nejkompexnější a mělo by integrovat všechny části půdního systému a ne se omezovat na fungování pouze určité části. Vzhledem ke komplexnosti problému hodnocení kvality a skutečnosti, že jednotlivé indikátory kvalitu (zdraví) půdy plně nevystihují, snaží se řada autorů vytvořit index kvality půdy (viz dále). Z publikovaných prací je však zřejmé, že se jedná o značně specializovanou práci odborníků, která odráží pouze část složitého systému a je mnohdy v praktickém prostředí těžko zvládnutelná. Proto se vedle detailního hodnocení dílčích procesů v posledních letech pracuje na komplexním vyjádření kvality celého systému. V zemědělské soustavě pak nehodnotíme pouze kvalitu produktů nebo půdy, ale snažíme se uplatňovat holistický pohled na celý systém s vazbami na prostředí a zásadu použitelnosti v terénní praxi (Šarapatka, Dlapa, Bedrna, 2002).

Aberace půdy použití tohoto termínu je v pedologii poměrně netradiční. Představuje však snahu jediným vhodným výrazem vyjádřit jednoznačné odchýlení (odchylku, anomálii) od původních, přirozených či průměrných vlastností půdy jako součásti životního prostředí bioty. Aberace půdy je takto úzce spjata s kvalitou životního prostředí a enviromentálním půdoznalstvím (Vilček, Hronec, Bedrna, 2005).

Procesy jako příčina přirozené a antropogenní aberace půdy jsou uvedeny v Tabulce.

Aberaci půdy můžeme dále dělit například na dočasnou a trvalou, či na reálnou a potenciální.

Rozdělení aberací (Vilček, Hronec, Bedrna, 2005)

Přirozené		Antropogenní	
<i>pozitivní</i>	<i>negativní</i>	<i>pozitivní</i>	<i>negativní</i>
záplavy	zemětřesení	zpracování půdy	utužení
požáry	sesuvy	zavlažování	destrukce
oživení	únava	vylehčování	intoxikace
desalinizace	soliflukce	rigolování	acidifikace
prokypření	geochemická	meliorační vápnění	urychlená vodní eroze
zooedafonem	anomálie		
biologická sanace	invaze patogenů	zúrodnění hnojením	sekundární zasolení

Antropizace půdy je proces ovlivňování jejích vlastností člověkem, a to v pozitivním nebo negativním vztahu k biotě, který může dospět až k úplnému přetvoření pedonu, který však nesmí ztratit znaky suchozemského ekosystému (nebo jeho části) (Vilček, Hronec, Bedrna, 2005).

Podle Arnolda (1990) má časová škála enviromentálních změn vlivem lidské činnosti (včetně změn půdních vlastností) logaritmický charakter:

- předhistorická doba-paleolit, neolit (1–2 miliony let zpět): velmi pomalé změny vlivem lidské činnosti na přírodu.
- V posledních 10 tisících letech se v mírně teplém a mírně chladném podnebí rozšířily či zintenzivnily svoji činnost první civilizace na bázi zemědělství
- V posledních 300 letech zemědělství postupně expanduje i do oblasti stepí, savan a prérií.
- V posledních 150 letech se vlivem objevů Justuse von Liebiga rozvíjí zemědělská chemie.
- V posledních 50 letech se zemědělská výroba rozvíjí na základě nových technologií, jež jsou založeny na všeobecném vědecko-technickém pokroku, zintenzivňuje se vliv člověka na půdu a půdní prostředí, a poprvé se zde objevuje problematika antropizace půdy.

Novák sledoval základní změny v půdách pod vlivem zkulturnění (jako projevu antropizace) a vyčlenil záporný (znehodnocení, degradace) a kladný typ (zúrodnění, meliorace) zkulturnění půdy (Novák, 1956).

Degradace půdy je každé vratné nebo nevratné poškození kvality a zdraví půdy, lze tedy říci že:

- vše co snižuje kvalitu/zdraví půd lze označit za degradaci,
- pokud půda neplní některou ze základních funkcí, došlo k její degradaci (LAL, 1998)

Mechanismy degradace:

- **přírozené** – půdotvorné procesy, pozvolné změny textury, vymývání látek, přesun koloidů v profilu, změny v množství a složení půdních mikroorganismů
- **antropogenní** – činností člověka

KONCEPT RESISTENCE A RESILIENCE PŮDY

Půdní resilience je rozsah změn, ke kterým může v půdě dojít bez toho, aby došlo k narušení jejího režimu: tj. aby si zachovala stejné funkce, strukturu a zpětné vazby (jedná se tedy o jakousi „pružnost“ neboli schopnost půdy tlumit narušení, případně se po tomto narušení vracet do původních hranic).

Půdní resistance je odolnost vůči narušení (disturbanci). Při překročení prahových hodnot pak již záleží na úrovni resilience, zda je půda schopna tuto disturbanci vyrovnat.

S ohledem na některé specifické vlastnosti, může mít půda vysokou resistenci, ale nízkou resilienci. To může být případ suché, zrnitostně těžké půdy a jejímu vztahu vůči mechanickému zatížení. Resistance vůči utužení je v tomto případě poměrně vysoká do doby, než dojde ke kolapsu struktury (například extrémním tlakem). Resilience, tedy schopnost půdy vrátit se do původního stavu je v tomto případě, ale nízká. Podobně může půda vykazovat velkou resilienci, ale nízkou resistenci v rámci některých atributů (klasickým případem je například vliv aplikace pesticidů na některá mikrobiální společenstva v půdě).

Ačkoliv by měla být stabilita půdního systému hodnocena podle obou (resistence i resilience), hodnotíme zejména resilienci, pokud se bavíme o kvalitě půdy v agrosystému. Pro agrosystém je v tomto případě podstatná zejména „pružnost systému“, tedy schopnost se po každém narušení (hnojení, orba, sklizeň apod.) vracet do určitých hranic.

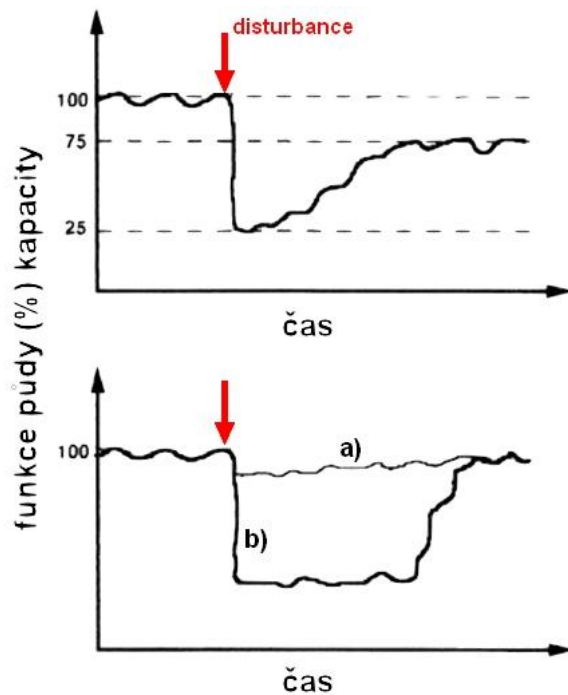
Kvalita půdy je pak „čistým“ výsledkem vztahu resilience/resistence a degradace (Lal, 1998).

Resilience/resistence půdy závisí na:

1. fyzikálně - chemických vlastnostech (Cox, zrnitost, struktura, KVK, pH, EC apod.)
2. způsobu obdělávání půdy (mechanické zpracování, hnojení, úpravy vodního režimu)
3. klima (srážky, teplota, evapotranspirace, bilance vody, energie)
4. matečná hornina
5. konfigurace terénu (svahy, jejich orientace, sklon apod.)

Degradace pak závisí na:

1. využití krajiny
2. způsobu hospodaření
3. náchylnosti půdy k degradačním procesům
4. sociální, ekonomické a politické faktory



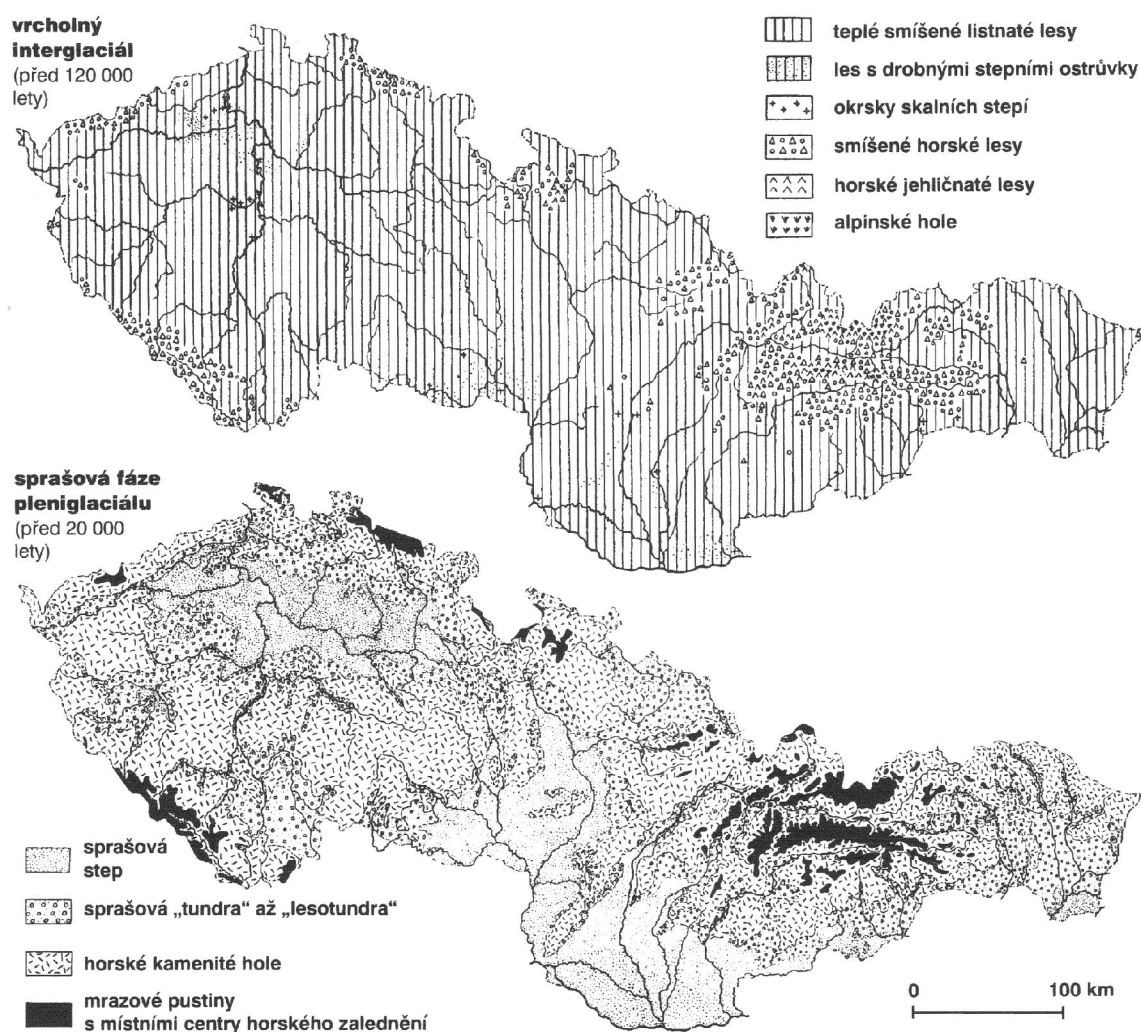
Horní obrázek: chování půdy s nízkou resistencí, ale poměrně vysokou resiliencí po distorbanci (narušení). Půda je sice do určité míry schopná kompenzovat narušení, ale jen do překročení specifických limitních hodnot, pak již obvykle dochází k nevratnému poškození některých funkcí a k ustavení nové dynamické rovnováhy.

Spodní obrázek: rozdíly mezi půdou s vysokou resistencí neboli odolností (a) a půdou s nízkou resistencí, ale vysokou resiliencí (b).

STRUČNÉ SHRUTÍ VÝVOJE KRAJINY VE ČTVRTOHORÁCH

Pochody, které vytvořily a dodnes ovlivňují tvář naší krajiny, časově spadají do nejmladšího geologického období, do čtvrtohor. Pro pochopení současného stavu, ale i budoucího vývoje krajiny je vhodné ve zkratce připomenout, jakými změnami vlastně krajina ve čtvrtohorách prošla.

Před přibližně 2,5–2,7 miliony lety se původně stabilní teplé klima třetihor začalo ochlazovat. Důvodů bylo pravděpodobně několik (výzdvih Tibetu, změna reliéfu dna Atlantiku apod.), proto v současné době nemůžeme s jistotou tvrdit, co bylo konkrétním spouštěčem. Ledové doby zpočátku trvají přibližně 40 000 let, později se jejich cyklus prodlužuje až na 100 000 let s meziledovou dobou o délce přibližně 20 000 let. Chladných výkyvů bylo v naší historii přibližně 50, přičemž více než dvacetkrát pohltily kontinentální ledovce značnou část povrchu planety (Svoboda, J. 2009). Česká republika v této době tvořila nezaledněný průchod mezi severním kontinentálním ledovcem, a Alpským horským ledovcem, a spojovala Evropu ve směru východ-západ.



Vegetační pásma na území Čech, Moravy a Slovenska ve vrcholné fázi interglaciálu (nahore) a ve sprašové části pleniglaciálu (dole). Ložek (2001)

WÜRM/ WEICHSEL

Před přibližně 18 000 lety dosahovaly mrazy poslední doby ledové svého maxima. Průměrná roční teplota byla na našem území dva až tři stupně pod nulou, srážky jsou oproti dnešním zhruba poloviční. Pevninský ledovec se v tomto období zastavil přibližně na linii Berlín–Varšava. Severoamerický ledovec pak na linii řeky Hudson (pozůstatky po jeho činnosti lze najít i v Central parku v New Yorku). Byly odhaleny mělké pobřežní oblasti, hladina oceánu byla přibližně o 120–140 m níže než dnes. Přibližně před 15 000 lety začíná ledovec ustupovat, až se před zhruba osmi tisíci lety ustálil přibližně na dnešní podobě.

HOLOCÉN

Jde o uměle vytvořenou hranici pro mladší čtvrtohory, která přibližně pokrývá posledních 12 tisíc let. Hranice je vytvořená ze záznamů skandinávských rašelinišť, ve kterých lze dokladovat změnu flóry „doby ledové“ na flóru smíšených lesů. Pevninský ledovec je v tomto období stále na ústupu.

mladší dryas (přibližně 11 500–9 600 př. n. l.)

jedná se o náhlé ochlazení v rámci oteplování a deglaciace Evropy. Převažující teorie předpokládají omezení vlivu Golfského proudu. Největší účinek je sice v Evropě, ale dopady jsou pozorovatelné po celém světě:

- nahrazení lesa ve Skandinávii glaciální tundrou,
- glaciace nebo zvětšení zásob sněhu v horských pásmech po celém světě,
- zvýšení prašnosti ovzduší z asijských pouští v důsledku sucha atd.

starý holocén (přibližně 8 500–6 000 př. n. l.)

Jde o období **preboreálu a boreálu**. V tomto období dochází k vzestupu teplot, s opožděným vzestupem vlhkosti. V rámci vegetace dochází k postupnému šíření zapojených lesních ploch, které jsou zpočátku teplotně nenáročné, v pozdějším období jsou nahrazovány dubem, jilmem a lípou. Pomalé šíření lesa v nížinách a horských oblastech je umocněné kontinentálním klimatem. V severní části země stále převládá mozaika stepí a lesostepí. Vznikající černozemě jsou postupně přeměňované v rámci lesa na luvizemě. Naváté spraše se místně časem odvápnují. Člověk se stále ještě živí mezolitickým způsobem obživy (sběr, rybolov apod.). Jeho vliv na krajinu není tedy ještě tak patrný.

střední holocén (přibližně 6 000–1 250 př. n. l.)

Jde o období **atlantiku a epiatlantiku**, neboli o období tzv. „klimatického a lesního optima“. Teploty i srážky byly v tomto období vyšší než v současnosti. Dochází k rozvoji druhového bohatství lesa, to nicméně zaostává za klimatem (rozvoj smíšených doubrav, šíření jasanu,

později buku a jedle). Stabilizují se výškové lesní pásy (doubravy, bučiny, smrčiny). Horní hranice lesa je přibližně o 200–400 m výše než dnes. V tomto období vzniká a vyvíjí se zemědělství. Jeho výskyt je vázán zejména na teplé a úrodné polohy do 300 m n.m. (černozemní oblasti).

V rámci neolitu tak dochází k druhotnému šíření otevření ploch na úkor lesa tzv. „antropogenního bezlesí“ vlivem prvního zemědělství, které právě v těchto příhodných oblastech navazuje na bezlesí primární. V pozdějším období, eneolitu se osídlená plocha oproti dřívějšímu mírně zmenšuje, především ve vlhčích okrajových částech. V době bronzové se v rámci Čech dosídlují i oblasti dříve prakticky neosídlené (Třeboňsko, Blanský les, Boletice), (Ložek, 2007). V této době dochází i prvním projevům eroze a vyčerpání živin.

mladý holocén (přibližně 1 250 př. n. l. – současnost)

Jde o období **subboreálu, subatlantiku a subrecentu** (sub= menší než).

Subboreál (přibližně 1250–700 př. n. l.) jde o historické období pozdní doby bronzové/starší doby železné. V Evropě jsou položeny základy evropské civilizace (Řecko, Řím). Dochází k velkému skalnímu řízení (=chladnější zimy než dnes), průtoky řek na minimum (teplá, suchá léta) obrážející nevyrovnané podnebí (Ložek 2007). Rozsah osídlení se dále rozšiřuje i v místech, které byly dříve neosídlené (hradiště Plešivec, Hradec apod.). V rámci Evropy dochází místy při odlesňování k drastické změně krajiny a vzniku až několik desítek metrů mocných koluviálních profilů. Docházelo tak na mnohých místech k zpětnému (retrográdnímu) vývoji půd, který může podstatně měnit stanovištní podmínky. **Lužická ekologická katastrofa** popsaná Vojenem Ložkem: někdy na konci doby bronzové (kolem r. 1000 př. n. l.) došlo v pískovcových krajinách Kokořínska a Českého Švýcarska k ekologickému kolapsu, pravděpodobně v důsledku zemědělské kolonizace v souběhu s rozkolísáním klimatu té doby. Tento kolaps znamenal náhlé a drastické ochuzení společenstev měkkýšů, kdy druhově pestrá fauna s více než 30 náročnými druhy plžů vázaných na živiny a uhličitanelem vápenatým nasycené půdy pod smíšeným listnatým lesem, náhle vyhynula a vystřídalo je několik málo nenáročných druhů známých z kyselých půd, bukových a borových lesů pískovcových oblastí, takových jak je známe i dnes (Svoboda, J. 2009).

Subatlantik (přibližně 700 př. n. l. – 750 n. l.) jde o studené a vlhké období, které v Evropě znamená šíření lesa. Díky vyšším srážkám je ale možné zemědělství i v oblastech v současnosti méně vhodných až nevhodných pro zemědělství (např. sever Afriky byl v tomto období obilnicí pro antický Řím). Z prvního století našeho letopočtu je znám i jeden z prvních sklízecích strojů–keltský vallus.

Zatímco prvotní slovanské osídlení se u nás ještě váže na staré sídelní oblasti (černozemní oblasti a jejich periferie), v době hradištní (od 8. století) se osídlení rychle šíří dále a vrcholí velkou středověkou kolonizací (Ložek, 2007).

Velká středověká kolonizace: dosídlování výše položených oblastí, zejména v teplé periodě 11 až 13 stol. Růst počtu obyvatel v Evropě přerušila na počátku 14. století série neúrod, epidemií a zim. V tomto období zanikají některé vsi ve vyšších polohách, postupně mizí norské osídlení v Grónsku, zvětšují se alpské ledovce. U nás se zvětšující průtoky řek (zejména na Labi a Ohři), které ve 14 a 15. století ničí osady v dosahu povodňových vln (cca do 5 m nad hladinou řeky). Léta byla velmi krátká a studená. V zimě zamrzají všechny řeky západní Evropy. Ve 14 a 15 stol. roste spotřeba dřeva i z důvodů růstu objemu těžby rud.

„malá doba ledová“ Jde o nepřesné označení ochlazení klimatu mezi 14. a 19. stol., někdy je toto období zúženo a ohraničováno roky 1620 a 1730. S nejnižšími teplotami přibližně v 17. století, nemá ale nic společného s glaciálem! Od 16. stol. se rozvíjely na Šumavě a v Jizerských horách sklárny. Kutnohorské doly mají v tomto období roční spotřebu 450 000 m³ dřeva. Dřevo je dováženo až z Krkonoš, kde se na počátku 17. stol. dotěžují i nejvyšší partie. Od 18. stol. je v českých zemích dokladováno umělé zakládání lesa (zámek Jezeří).

V **18 a 19 stol.** jsou dokladovány jedny z prvních mapových záznamů o erozi: stružková, stržová, ale i plošná, v rámci tzv. katastrálních operátů (1785, 1820). Po degradaci pozemky často vedeny jako pustiny nebo pastviny.

První polovina 20 století je spojena s ustálením osevních postupů (zejména Norfolkský OP), začátkem používání minerálních (tzv. „strojených“ hnojiv), začátkem používání přípravků na ochranu rostlin. **Druhá polovina 20 století** je v Evropě spojena zejména s prvními významnými projevy acidifikace a dálkového transportu prvků, zvýšeným používáním mechanizace, zrychlenou erozí apod.

V Českých zemích pak s povrchovou těžbou hnědého uhlí, změnami vlastnických struktur a tvorbou velkých územních bloků. **Po roce 1948**, v důsledku kolektivizace zemědělství například mizí:

- 35 000 ha lesíků, hájků, zasakovacích pásů,
- 30 000 km stromořadí a alejí,
- 145 000 ha mezí,
- 120 000 km polních cest,
- navíc je na pole přeměno 270 000 ha luk a pastvin.

Po roce 1989:

- změny struktury vlastnictví půdy
- obecně nižší ceny ZP než na západ od nás

- stavební činnost a zábory ZP zejména na nejcennějších půdách
- celková výměra ZPF se snižuje z 4.327 mil. ha (1986) na 4.249 mil. ha (2007)

Po roce 2011

- stav prasat je nejnižší od r. 1921
- stav drůbeže je podobný jako v 60 letech. 20. stol.
- uvedený stav se promítá i do úrovně hnojení statkovými hnojivy a skladby pěstovaných plodin (zvláště u víceletých pícnin).

Kategorizace zemědělského území ČR

Kategorizace zemědělského území pro různé využití v zemědělské praxi se u nás prováděla od začátku 20. let minulého století.

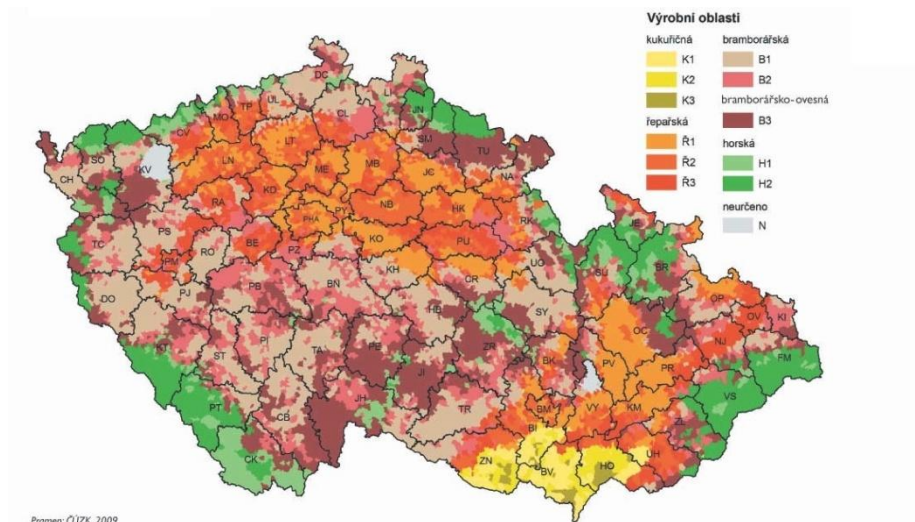
V současné době jsou uplatňovány tři typy kategorizace zemědělského území:

1. Zemědělské výrobní oblasti
2. Znevýhodněné oblasti pro zemědělce (tzv. LFA = Less Favoured Areas)
3. Zranitelné oblasti

Zemědělské výrobní oblasti

Zemědělské výrobní oblasti jsou nejstarší kategorizací zemědělského území. Na počátku dvacátého století sloužily pro statistické zhodnocení zemědělské výroby v rozdílných půdně klimatických podmínkách. Na začátku šedesátých let minulého století byly tyto výrobní oblasti upřesněny pro jednotlivá katastrální území a legislativně zakotveny (MZe č. 213/1959). Později tato kategorizace posloužila pro rajonizaci zemědělské výroby. Z hlediska agroekologických a ekonomických předpokladů území jsou v současnosti vymezeny čtyři výrobní typy a jedenáct podtypů:

- výrobní oblast kukuřičná (s označením K), typ kukuřično-řepařsko-obilnářský, (dělí se na podtyp K1, K2 a K3),
- výrobní oblast řepařská (s označením Ř), typ řepařsko-obilnářský, (dělí se na podtyp Ř1, Ř2, Ř3),
- výrobní oblast bramborářská (s označením B), typ bramborářsko-obilnářský, (dělí se na podtyp B1, B2 a B3),
- výrobní oblast horská (s označením H), typ pícninářský s rozhodujícím zaměřením na chov skotu, se dělí na podtyp H1 a H2.



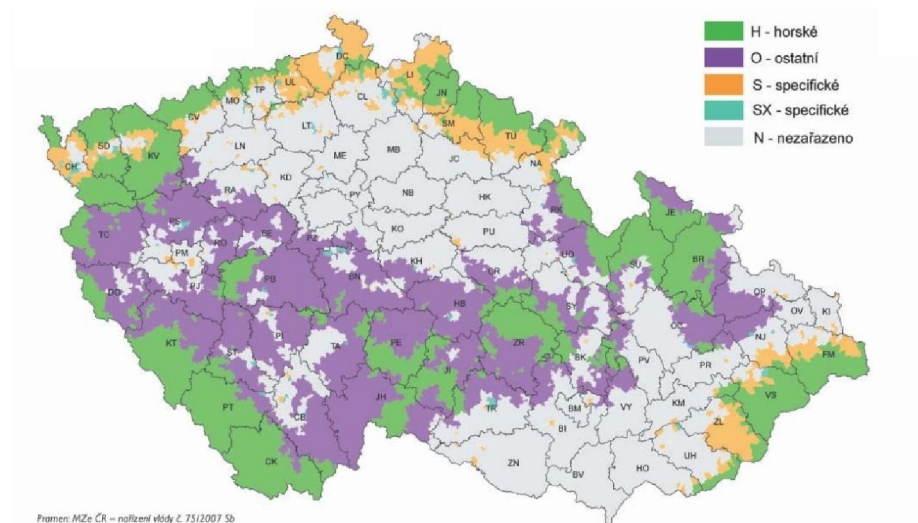
Znevýhodněné oblasti pro zemědělce (LFA)

Režim podpory zemědělců ve znevýhodněných oblastech (LFA), představuje mechanismus, který napomáhá zachovat úroveň zemědělské činnosti (a tím pádem i ráz krajiny) v horských oblastech, v přechodných znevýhodněných oblastech a v oblastech se specifickým znevýhodněním.

Kritéria pro stanovení méně příznivých oblastí:

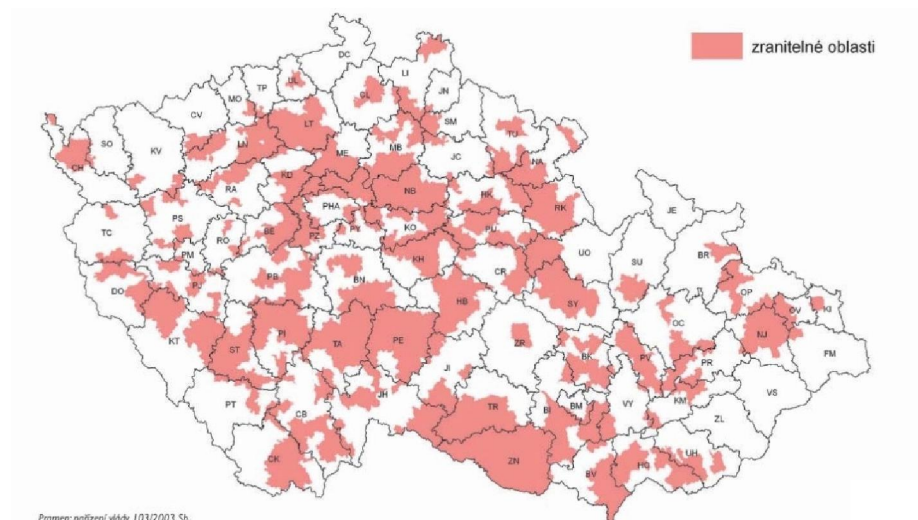
- horská oblast typu HA: obce nebo katastrální území s nadmořskou výškou nad 600 m, nebo s výškou 500 až 600 m n. m. a zároveň se svažitostí vyšší než 15 % na polovině území této obce nebo k. ú.,
- horská oblast typu HB: obce nebo k. ú. nesplňující kritéria pro oblast typu HA, které však byly za účelem zachování celistvosti horské oblasti do této oblasti zařazeny,
- ostatní méně příznivá oblast typu OA: obce nebo k. ú. s výnosností zemědělské půdy nižší než 34 bodů (dáno bonitou), které se nacházejí na území kraje, jenž v průměru splňuje demografická kritéria (hustota obyvatel menší než 75 obyvatel/km² a podíl pracujících v zemědělství na celkovém počtu práceschopného obyvatelstva vyšší než 8 %),
- ostatní méně příznivá oblast typu OB: obce s výnosností zemědělské půdy 34 až 38 bodů, které se nacházejí na území kraje, jenž v průměru splňuje demografická kritéria (viz OA). Tyto obce nebo k. ú. byly zařazeny do ostatní méně příznivé oblasti za účelem zachování celistvosti této oblasti,
- specifická oblast typu S: obce a k. ú. s výnosností zemědělské půdy nižší než 34 bodů nebo s výnosností 34 až 38 bodů a zároveň se sklonitostí vyšší než 7° na polovině zemědělské půdy obce nebo k. ú. Tyto obce nebo k. ú. nenáleží do kraje, který v průměru splňuje demografická kritéria pro ostatní méně příznivou oblast,

- specifická oblast typu SX: obce nebo k. ú., které byly zařazeny v LFA v období 2004–2006 a vlivem aktualizace vstupních dat již nesplňují kriteria pro vymezení LFA.



Zranitelné oblasti

V souladu se směrnicí Rady 91/676/EHS ze dne 12. prosince 1991, bylo vydáno Nařízení vlády č. 103/2003 Sb. (novelizováno č. 108/2008 Sb.), o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech. Zranitelné oblasti jsou územně vymezeny katastrálními územími České republiky a jejich seznam je uveden v příloze 1 tohoto nařízení. Ve zranitelných oblastech se v současnosti nachází 44 % z celkové výměry ZPF.



Stav v roce 2012	
celková rozloha	7 887 tis. ha
počet obyvatel	10 505 445
zemědělská půda	53,9 %
orná půda	71,4 %
lesní porosty	33,6 %
znevýhodněné oblasti (LFA)	cca 60 %
průměrná velikost podniku	89 ha (1. v rámci EU, Slovensko 28 ha)
ekologické zemědělství	10,6 % ZPF (448 202 ha, 3 517 podniků)

Jsme potravinově soběstační?

Komodita	soběstačnost – zaokrouhleno (stav k r.2011)
pšenice	162 %
cukrová řepa/cukr	124 %
brambory	85 %
řepka	119 %
ovoce mírného pásma	68 %
zelenina	37 %
víno	29 %
hovězí maso	122 %
vepřové maso	61 %
drůbeží maso	79 %
skopové a kozí maso	90 %
mléko	125 %
vejce	88 %

Zpracováno podle „Zprávy o stavu zemědělství za rok 2011“, MZe

V současné době (2013) již člověk pro ornou půdu a trvalé kultury využívá přibližně 12 % povrchu planety (1,5 miliardy hektarů). Další přibližně 20 % povrchu souše se využívá jako louky, pastviny apod. I tak trpí podvýživou přibližně 870 milionů lidí (FAO, 2012). Lidmi je využíváno více než 50 % dostupné pitné vody a v rámci minerálních hnojiv je vázáno více dusíku, než ve všech přirozených ekosystémech dohromady. V současné době se asi 65 % vypěstované pšenice světa používá pro produkci potravin, 17 % jako krmivo pro zvířata, a 12 % pro průmyslové aplikace (např. biopaliva). V rámci EU 27 ročně „mizí“ 1 000 km² půdy zejména pro stavební, ale i jiné účely.

rok	množství zemědělské půdy na jednoho obyvatele planety (ha)
1960	0,44
1990	0,27
2025	0,17
2050?	0,07

Hranice pro zajištění a udržení výživy jednoho člověka je při úrovni současného zemědělství 0,07 ha.

Člověk, jako jeden z významných činitelů posledních 8-10 tisíc let, se naučil přetvářet své okolí podle svých potřeb a začal vyrábět umělé, většinou poměrně nestabilní, ekosystémy jako jsou pole, louky, zahrady, sídliště apod. Crutzen a Stoermer proto toto období navrhují termín **Antropocén** s umělou hranicí okolo roku 1784 (století páry, ukončení baroka, apod.).



FORMY DEGRADACE PŮD

Degradace půdy je dočasné nebo trvalé snížení výrobní kapacity půdy (UNEP, 1992). Jedná se tedy o různé formy degradace půdy, nepříznivých dopadů lidské činnosti na vodní zdroje, odlesňování, snižování „výrobní“ kapacity pastvin z různých příčin. V zásadě můžeme rozlišit pět hlavních lidských činností způsobujících degradaci půdy:

1. odlesnění a odstranění původní vegetace
2. nadměrné využívání půdy pro pastvu
3. nevhodné zemědělské technologie
4. nadměrné využívání přirozené vegetace
5. průmyslové technologie

Degradace půdy má dopady nejenom v místě působení, ale velmi často i ve vzdálenějších oblastech (větrná, vodní eroze, acidifikace).

Typy degradace půdy a podíl příčinných faktorů, které je způsobují (údaje v mil. ha), (Oldeman, 1994)

typ degradace	příčinný faktor					celkem
	1	2	3	4	5	
vodní eroze	471	36	320	266	-	1 093
větrná eroze	44	85	332	87	-	548
chemická degradace	62	10	14	133	23	242
fyzikální degradace	1	-	14	66	-	81
svět celkem	578	131	680	552	23	1 964

1. odlesnění, 2. nadměrné využívání přirozené vegetace, 3. nadměrné pasení, 4. zemědělské technologie, 5. průmyslové technologie

Dle formy můžeme degradaci rozdělit na:

- degradaci kvantitativní (brownfields, zábor zemědělské půdy, desertifikace)
- degradaci kvalitativní (eroze, acidifikace, salinizace, intoxikace polutanty, utužení apod.)

Várallyay (1994) pak rozlišuje osm základních typů kvalitativní degradace půdy, seřazených dle nebezpečnosti:

1. eroze půdy (vodní, větrná)
2. acidifikace půdy
3. salinizace a alkalizace půdy
4. degradace fyzikálních vlastností půdy (poškození struktury, utužení, slévavost povrchu)
5. extrémní vodní režim (přemokření, zaplavení, sucho)
6. biologická degradace (snížení obsahu a kvality POH, poškození populací organismů)
7. nežádoucí změny obsahu živin v půdě (vyplavování, imobilizace)
8. snížení pufrační schopnosti (poškození SK) a znečištění polutanty

Dopady můžeme rozdělit na přímé a nepřímé. **Přímé** snižují výrobní kapacitu dané půdy, škody, na osivu, hnojivu, potřeba zvýšených vstupů pro udržení úrovně výroby apod. Co se týče **nepřímých** škod, můžeme sem např. u vodní eroze zařadit změny vodního režimu, pokles kvality říční vody, zanášení koryt a vodních nádrží apod.

Rekultivace pak často vyžaduje vstupy, které jsou nákladné, případně náročné na vybavení. Náklady na rekultivaci nebo obnovu produkčního využití degradované půdy, je vždy vyšší než náklady na zamezení degradace, než k němu dojde.

BROWNFIELDS

je urbanistický termín označující opuštěná území a budovy v urbanizovaném území, které ztratily svoje původní využití nebo jsou podvyužité. Velmi často se k těmto plochám vážou i staré ekologické zátěže.

Označení Brownfields vychází z hnědé barvy (rez na plechových střechách) opuštěných staveb na leteckých a satelitních snímcích, v češtině však zatím neexistuje adekvátní jednoslovný ekvivalent tohoto výrazu. Teorie trvale udržitelného rozvoje, by měla upřednostňovat nové využití brownfields před výstavbou *na tzv. zelené louce* (angl. greenfields).

V České republice se tato problematika začala šířeji diskutovat poměrně nedávno, opuštěné průmyslové areály začaly být problémem zejména po restrukturalizaci průmyslové výroby (po odklonu od těžkého průmyslu). Brownfields jsou v těchto případech vnímány většinou jako nějakým způsobem znehodnocené nemovitosti, které postupem času degradují i své okolí. Vzbuzují spíše nezám a jsou vnímány negativně.



Mezi jednu z největších „podvyužitých“ ploch v rámci města Brna patří areál bývalé Zbrojovky Brno

Možné způsoby dělení:

podle původu: opuštěné průmyslové, energetické, těžební, skladovací, zemědělské objekty, dopravní, vojenské budovy, vybydlené části měst, industriální památky 19. resp. 20. stol., barokní hospodářské objekty, kláštery, špitály apod.

podle polohy: na oblasti v centrální části města, ve větší vzdálenost od městských center, příměstské zóny, okrajové části malých obcí a vesnic, mimo urbanizované území apod.

podle ekonomické atraktivnosti: whitefields (velmi dobrá poloha, infrastruktura s multifunkčním budoucím využitím), greyfields (přechod mezi whitefields a blackfields), blackfields (nízká kvalita nemovitosti nebo areálu a je zapotřebí vysokých nákladů na jejich revitalizaci, časté kontaminace), greenfields (opakem brownfields, doposud nezastavěné plochy).

Na základě Vyhledávací studie bylo v ČR lokalizováno přes 2 300 brownfields, na ploše více než 12 000 ha (65 % je v soukromém vlastnictví a 40 % je nějakým způsobem kontaminováno, stav odpovídá konci roku 2006). Hrubý odhad nákladů na revitalizaci těchto lokalit byl přibližně 200 mld. Kč. Celkový počet brownfields bude, ale pravděpodobně podstatně vyšší. Czech-Invest uváděl v roce 2004 odhad 8 500–11 700 lokalit typu brownfield o celkové rozloze 27–38 tis. ha (Cibulková 2011).

Hlavní bariéry znovuvyužití brownfields:

- neprůhledné a často i velmi komplikované vlastnické vztahy
- konkurence s greenfields (výstavba zde je jednodušší, rychlejší a levnější)
- riziko vyšších nákladů na odstranění případné ekologické zátěže
- u brownfields chybí registrace případně data
- málo využívaná možnost spolupráce veřejného a soukromého sektoru,
- nedostatek investičních pobídek
- neexistuje národní strategie přístupu k problematice
- nedostatečná transparentnost a obtížné vymáhání práva.

Ve venkovských oblastech vznikaly brownfields obvykle v důsledku:

- rušení některých obcí v období socialismu (hraniční pásma, vojenské újezdy, apod.)
- vysídlení pohraničních oblastí
- rušení ploch, areálů, budov vybudovaných mezi lety 1950 a 1989,
- střediska, nádražní budovy zrušených tratí, vojenské areály
- zrušené průmyslové podniky
- změny suburbanizace atd.

Mezi venkovské brownfields (popřípadě brownfields ve volné krajině) tedy můžeme obvykle zařadit:

- areály zemědělských družstev a státních statků
- kasárna
- objekty pohraniční stráže

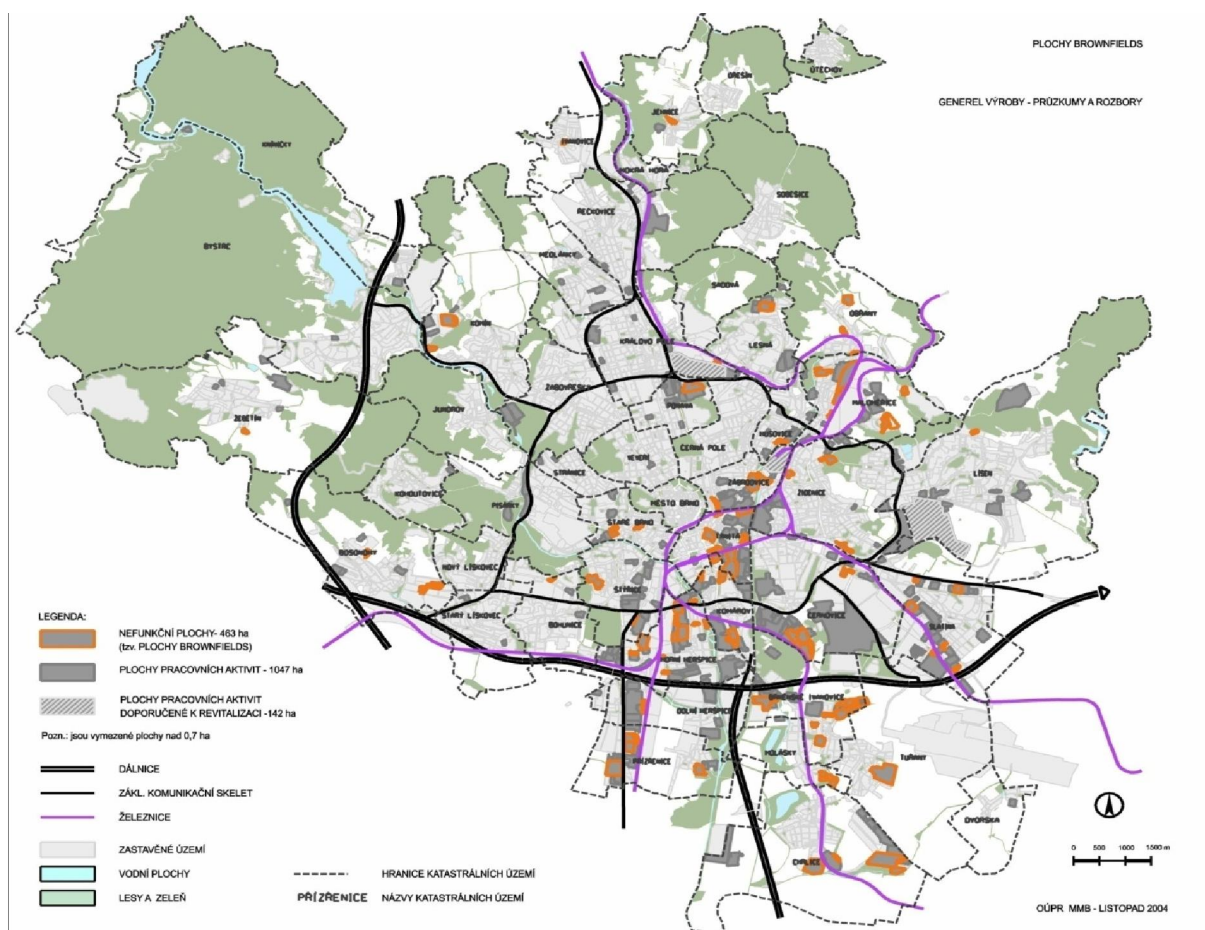
- nádraží u zrušených tratí
- lomy
- objekty občanské vybavenosti (kulturní domy, obchody, restaurace) apod.

Brownfields v Jihomoravském kraji

Na území jihomoravského kraje se nachází přibližně 230 významnějších lokalit brownfields vesměs zemědělského (40 %) a průmyslového původu (31 %) o celkové výměře téměř 890 ha (Cibulková 2011).

Brownfields v Brně

Samotné město Brno má přibližně 120 lokalit brownfields o celkové rozloze 460 ha (viz mapa). 24 lokalit má plochu od 0,5 do 1 ha, 73 lokalit má rozlohu od 1 do 5 ha, u čtyř lokalit se jedná o oblasti s výměrou nad 20 ha. Nejvíce brownfields (především průmyslových) se nachází v Posvitavské zóně (Zbrojovka Brno, bývalé Škrobárny apod.).



ZÁBOR PŮDY

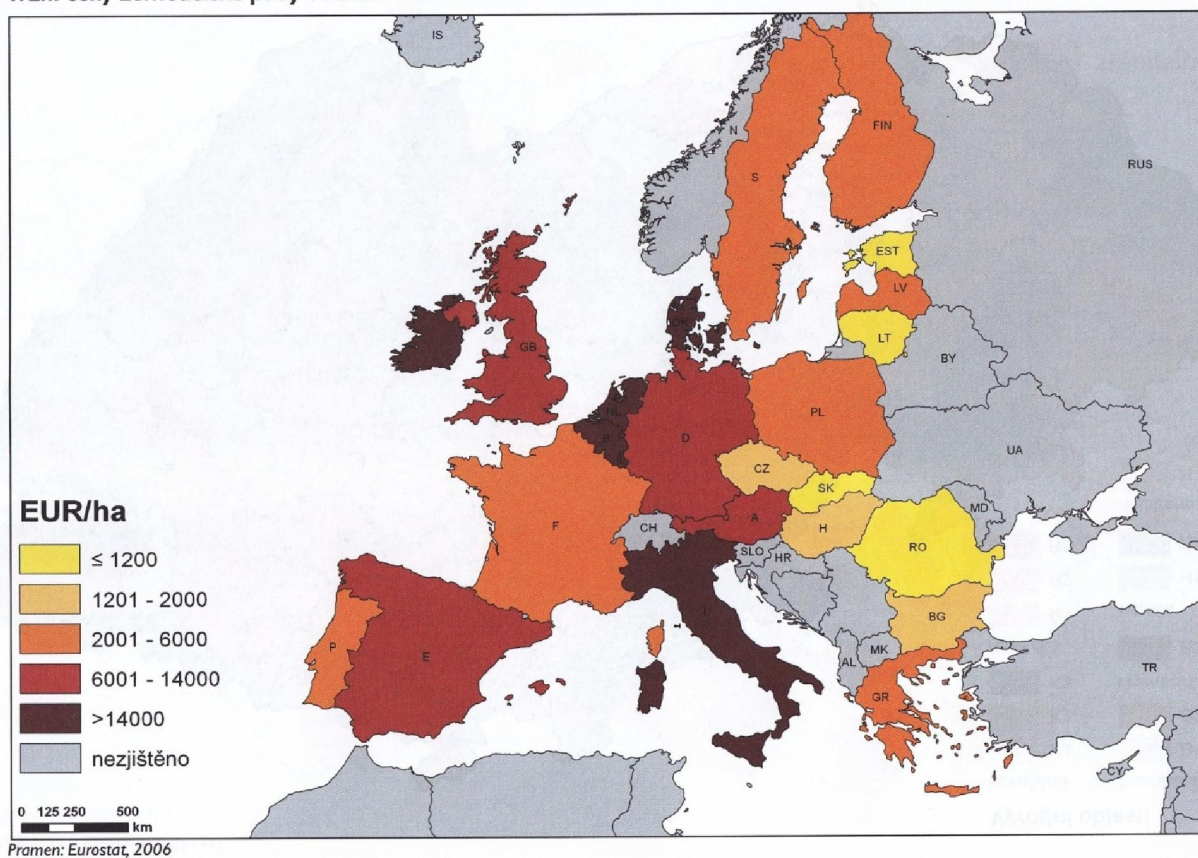
Zábor půdy do určité míry souvisí s problematikou Brownfields (na přetrvávání starých, ale i vzniku nových brownfields). Ocenění půdy má mnoho kritérií, ať už podle bonity (BPEJ), polohy v rámci katastru, dostupnosti a kvality silniční sítě, apod. Cena zemědělské půdy je u



nás oproti ostatním státům EU výrazně nižší (viz cenová mapa), což bývá označováno za jednu z hlavních příčin záboru půdy pro stavební účely. Zastavování území, případně tzv. soil sealing, je spojen s rozšiřováním sídel (tzv. suburbanizací) a je jedním z největších problémů zemědělských půd současnosti. Suburbanizaci

můžeme obvykle rozdělit na rezidenční (satelitní městečka) a komerční (sklady, nákupní centra, parkoviště), případně liniovou (silnice, dálnice). S růstem suburbanizace, ale časem roste i plocha brownfields.

Tržní ceny zemědělské půdy v zemích EU



Cenová mapa Evropy (MZe, 2009)

Soil sealing (seal=pečeť) je definován jako zakrytí půdy nepropustným materiálem (beton, asfalt), čímž půda ztrácí svoje funkce (filtrační, produkční, asanační atd.).

Situace v ČR

období (roky)	úbytek (ha/den)	celkem (ha) za období
1966–1971	24,3	~53 000
1976–1981	37,9	~83 000
1981–1986	25,6	~56 000
2002–2006	13,2	~24 000
2007	14,3	5 226
2008	14,0	5 096

Od roku 1927 do r. 2009 „zmizelo“ v ČR 851 000 ha zemědělské půdy...

Situace v Evropě

	úbytek (ha/den)	celkem (ha) za rok
Německo	130	47 450
Nizozemí	35	12 775
Rakousko	35	12 775
Švýcarsko	10	3 650

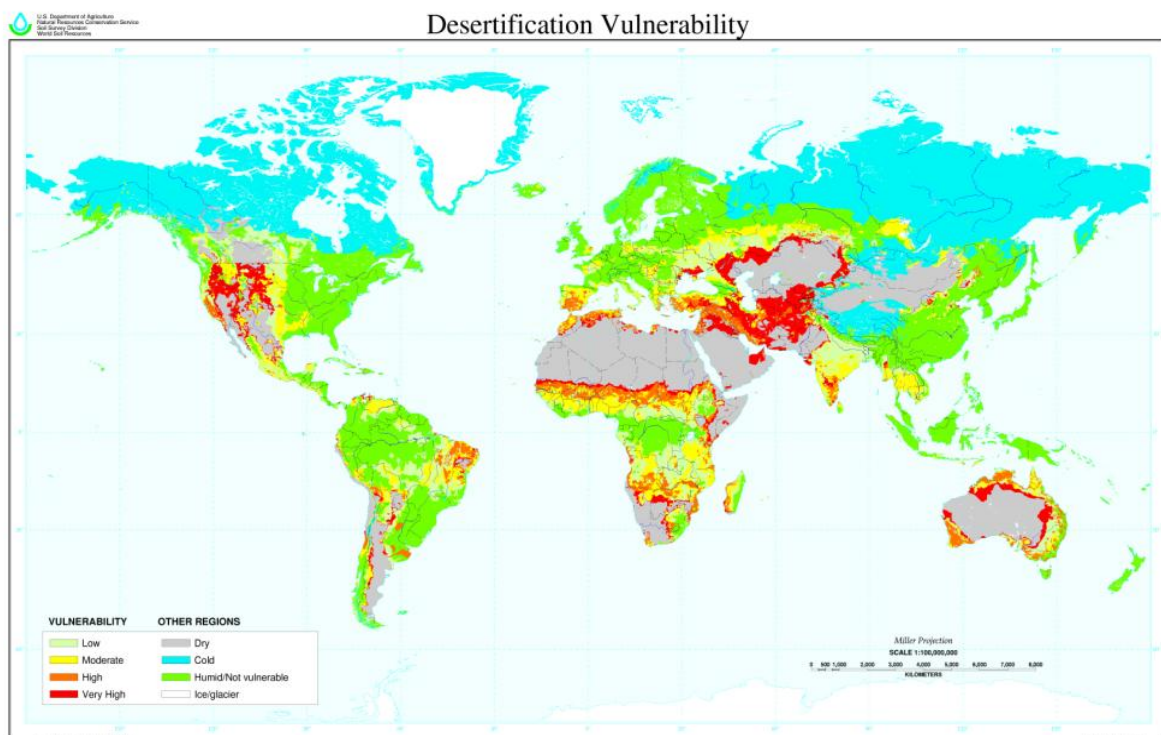
Ukázka změny krajinného pokryvu mezi lety 1836 a 2003 v oblasti Karvinná doly (údaje v % území, zaokrouhleno)

roky	1836	1947	2003
vodní plochy	4,3	2,5	8,5
přírodní a polopřírodní plochy	20,7	29,5	64,5
zemědělství	72,5	36,2	3,5
urbánní plochy	2,5	31,8	23,5

ÚBYTEK PŮDY – DESERTIFIKACE

Desertifikace je historický jev, kdy ve velkých světových pouštích byly vytvořeny přírodními procesy interakce s dlouhými časovými periodami. Během většiny z této doby, rozloha pouští kolísala nezávisle na lidské činnosti. Současné výzkumy naznačují, že i např. největší teplá poušť světa Sahara, osciluje mezi pouští a úrodnou savanou. Hlavní rozdíl oproti minulosti je mnohem větší míra desertifikace, v důsledku antropogenních vlivů.

Termín desertifikace v širším významu, byl někdy chápán v kontextu téměř všech forem degradace půdy. V užším slova smyslu jde o rozšiřování pouští degradací půdy v aridních, semiaridních a suchých subhumidních oblastech, vyplývající z nepříznivého vlivu člověka (UNEP, 1992b).



Hlavní příčiny desertifikace:

- **nadměrná pastva, případně nevhodně uplatňovaná pastva po požárech.** Kopyta dobytka narušují povrch půdy, zvyšují podíl jemného materiálu, a omezují pronikání vody a vzduchu do půdy. Nadměrná pastva a sběr palivového dříví vedou k odkrytí povrchu půdy. V důsledcích to znamená zvýšení eroze větrem a vodou. Všechny tyto negativní jevy jsou spojeny s trendem usedlého způsobu života, místo kočovných kultur. V centrální části madagaskarské vysočiny tak bylo například desertifikací ztraceno přibližně 10 % země, kvůli nadměrné pastvě a vypalování původních porostů domorodým obyvatelstvem.

- **kultivace půdy v nevhodných oblastech (větrná eroze):** viz např. katastrofa Dust bowl na americkém středozápadě (orba původních prérií, která vedla k sériím prachových bouří a destrukci celých oblastí).
- **destrukce lesní vegetace** amazonský prales v jeho současné podobě by mohl kupříkladu přežít pouze tři po sobě jdoucí roky sucha, před potenciální přeměnou na polopoušť až poušť.
- **nevhodné zavlažování** (částečně souvisí se zasolováním)
- **utužení půdy**
- **změny klimatu**
- **povrchová těžba bez následných krajinných úprav**

EROZE

Termín „eroze“ vychází z latinského „erodere“: nahlodávat, rozrušovat.

Erozi půdy můžeme charakterizovat jako jeden z mnoha přirozených procesů, působících na půdu. Dochází k ní působením řady abiotických (voda, vítr, led, sníh), ale i biotických činitelů (člověk, rostliny, živočichové) na povrch půdy. Obecně se považuje za velmi závažný faktor, negativně ovlivňující funkce půdy (produkční, filtrační apod.).

Tento proces můžeme v zásadě rozdělit na tři části:

1. narušení půdního povrchu kinetickou energií, například větru nebo dopadající vody
2. transport půdních částic na různou vzdálenost
3. ukládání (sedimentaci) při poklesu unášecí schopnosti média.

V současné době je **normální eroze**, která přirozeně ovlivňuje povrch planety již miliony let, výrazně urychlována lidskou činností. Hovoříme tak o **zrychlené erozi**. Při zrychlené erozi dochází ke smyvu částic v rozsahu větším, než je úroveň přirozené tvorby půdy půdotvornými procesy a dochází tak k úbytku materiálu v rámci půdního těla. Zrychlená eroze ochuzuje půdy o její nejúrodnější část, ornici. Může však docházet i k vnitropůdní (podpovrchové) erozi, k tvorbě tunelů, dutin, případně horizontů s výrazně pozměněnými fyzikálními a chemickými vlastnostmi než měly původní, erozí nezasazené, horizonty.

Planetárně nejrozšířenější druhem eroze je **vodní** (mluvíme o eroznímu smyvu) a **větrná** (mluvíme o odnosu půdy).

Erozi můžeme rozdělit z několika různých hledisek, například:

podle intenzity (normální, zrychlená)

- **normální**, neboli **přirozená eroze** je daná erozními procesy, které v přírodě přirozeně probíhají již tisíce let vesměs s malou intenzitou. Ztráta půdních částic vlivem eroze je kompenzována tvorbou nových částic z půdotvorného substrátu. Mocnost půdního profilu se v zásadě nemění, může se ale měnit zrnitostní složení.
- **zrychlená** či antropogenně podmíněná **eroze** je lidskou činností urychlená přírodní eroze. Dochází k ní zejména v rámci zemědělské, ale i lesnické, těžební či stavební činnosti. Ztráta půdních částic při ní nabývá rozsahu, který nestačí půda kompenzovat tvorbou nových částic půdotvorným procesem. Obvykle pak dochází k tvorbě ostře modelovaných tvarů terénu v krajině (strže, rýhy, duny apod.). Cílem jakékoliv protierozní ochrany je přiblížit se erozi přirozené.

podle příčiny (vodní, větrná, ledovcová, sněhová apod.)

- **vodní (akvatická) eroze**, je vyvolána kinetickou energií dopadajících dešťových kapek, popřípadě mechanickou silou vody tekoucí po povrchu svažitého pozemku. Podzemní voda může navíc zejména v krasových oblastech způsobovat erozi i chemicky korozi vápenců.
- **větrná (eolická) eroze** je vyvolána kinetickou energií větru. Dochází k ní obvykle, pokud je: dostatečně silný vítr při povrchu země a suchý, rovný povrch bez vegetace. Formy: **deflace** odnos půdních částic větrem (pískové duny, spraše, navátiny, apod.), **koraze** (obrušování letícími půdními částičkami - vznikají různé tvary: např. hrance).
- **sněhová (nivální) eroze**, je v ČR málo rozšířená. Obvykle je vázaná na podhorské a horské oblasti (laviny), setkat se s ní lze však i v nížinách. V nížinách se může jednat o pomalý pohyb tající vrstvy sněhu, případně při tání o přechod k vodní erozi. Přispívá k ní i fakt, že je povrch půdy v těchto obdobích roku často bez vegetace, případně zmrzlý.
- **ledovcová (glaciální) eroze** je způsobena pohybem ledovce. Tvorba morén, bludné balvany. V ČR se aktuálně nevyskytuje, lze ale najít pozůstatky ze Sálského zalednění.
- **zemní eroze** jde o erozní činnost částí svahů (zejména suťových proudů) prosycených vodou
- **antropogenní** (lidskou činností vyvolaná) **eroze**: nepřímo (omezováním vegetačního pokryvu, zhoršení fyzikálních, chemických či biologických vlastností půdy), přímo (výstavbou a urbanizací, sjezdovky apod.).

podle formy (povrchová, podpovrchová; plošná, výmolná, proudová)

- **povrchová eroze plošná**: odnos půdních částic po celé ploše zasaženého pozemku. Většinou dochází k postupnému snižování mocnosti profilu, může docházet ale i k selektivnímu působení: tj. odnosu pouze jemnozrnných frakcí, a vzniku tzv. „pouštní dlažby“ – velmi typicky k ní dochází v semiaridních a aridních oblastech vlivem větrné eroze.
- povrchová **výmolná eroze**: dochází k postupnému soustředování povrchově stékající vody a k tvorbě mělkých, postupně se prohlubujících zářezů. Výmolnou erozi můžeme ještě dále dle velikosti zářezů rozdělit např. na: **rýžkovou erozi** (hustá síť drobných úzkých zářezů) **brázdovou erozi** (mělké širší zářezy), **rýhovou erozi** (pokračující soustředování povrchově stékající vody do hlubších rýh, které se spojují a prohlubují), **výmolovou erozi** (zářezy tvaru V nebo U), **stržovou erozi** (vyšší stupeň výmolové eroze, devastuje velká území).

- **podpovrchová eroze:** translokace půdních částic a živin v rámci půdního těla, působením srážkové vody infiltrující do půdy (obecně se jedná o běžný půdotvorný proces, viz např. illimerizace). Nicméně při **tunelové erozi** (sufozi) dochází k vymílací činnosti podzemní vodou, hromadící se nejčastěji na nepropustné vrstvě (vznik tunelů, při proboření stropu vznikají hluboké výmoly).
- **proudová vodní eroze** v rámci vodního toku (dnová, břehová).

podle mechanismu (mezirýžková, rýžková)

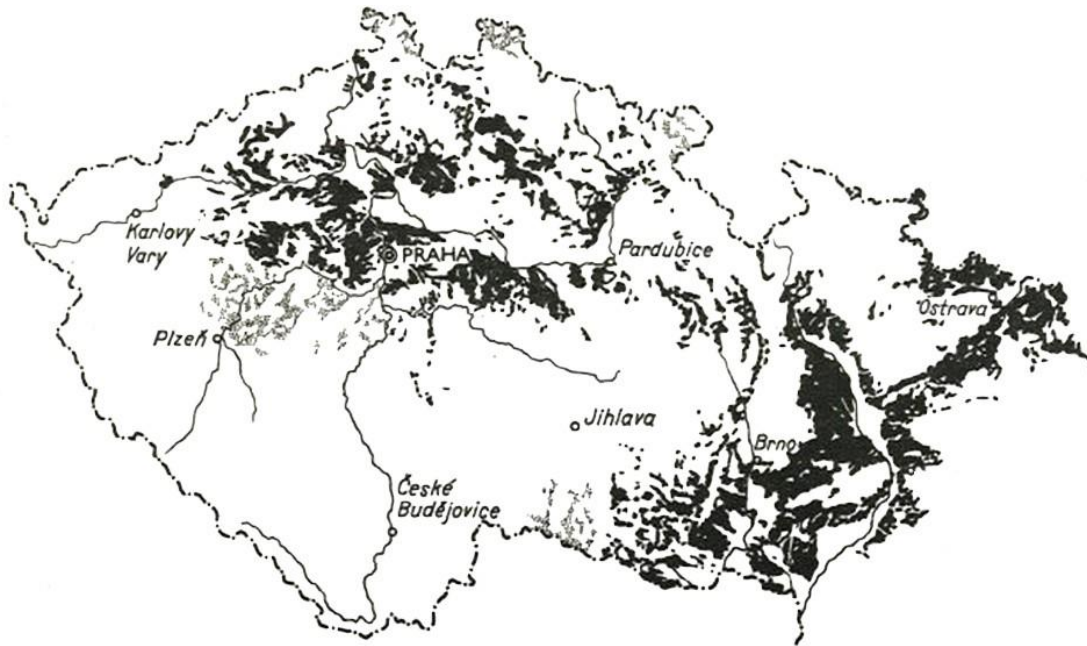
- **mezirýžková eroze** dopadem dešťových kapek na povrch půdy (malá hloubka odtoku, turbulentní proudění), je ovlivněna vegetačním pokryvem (plodiny, rostlinné zbytky apod.)
- **rýžková eroze** probíhá v místech soustředěného odtoku (laminární proudění)

podle časového hlediska (historická, soudobá)

- **historická** se projevila erozními cykly, které odpovídaly přírodním podmínkám jednotlivých geologických období. Ze složení jednotlivých vrstev lze usuzovat na úroveň eroze v těchto obdobích.
- **současná** po ústupu ledovců a zformování vegetačního pokryvu se začala eroze zpomalovat a omezovala se zejména na formování říční sítě. Současná a hlavně zrychlená eroze vytváří často v důsledku činnosti člověka erozní rýhy, výmoly a strže.



Zemní pyramidy, se vyznačují kamenným „kloboukem“, který chrání před erozí pod ním ležící nezpevněnou, nebo slabě zpevněnou zemitou horninu (Norsko, foto V. Vlček)



Mapka rozšíření spraší v rámci ČR. (Spraše jsou klastický sediment eolického původu tj. úlomkovitá usazená hornina navátá větrem, která obsahuje uhličitán vápenatý, vznikaly větrnou erozí v glaciálech) (MUNI).

dopady eroze

vodní eroze negativně ovlivňuje půdu tím že:

- **zhoršuje fyzikální vlastnosti například vodní kapacitu, infiltraci apod.**
- **zmenšuje mocnost půdního profilu a tím i hloubku prokořenění**
- **zvyšují kyselost půdy a potřebu vápnění** zejména odnosem ornice a obnažením kyselejšího podorničí, selektivním vymýváním bazických prvků (K, Ca, Mg) a odplavováním aplikovaného vápníku ještě před reakcí, která by neutralizovala kyselost. Vliv eroze na zvyšující se kyselost se nejvíce projevuje na půdách, kde má podorničí přirozeně kyselejší reakci než ornice
- **snižuje obsah humusu** dvěma způsoby: přímou ztrátou povrchové vrstvy půdy (ornice) a vzhledem ke snižování mocnosti povrchové vrstvy dochází při zpracování půdy k mísení s podorničím, čímž dochází k „ředění“ obsahu organických látek.
- **snižuje biologickou aktivitu v půdě:** částečně jako důsledek snížení obsahu organické hmoty v půdě, zmenšení obsahu organického uhlíku a kvantitativním úbytkem půdních mikroorganismů, částečně i jako důsledek dodávání vyšších dávek minerálních hnojiv pro podpoření úrodnosti, která byla snížena erozí.
- **snižuje obsah živin:** zejména dusík (N), fosfor (P), draslík (K) a hořčík (Mg). Živiny obsažené v jedné tuně smyté ornice mají (v závislosti na svém nízkém, vysokém či průměrném obsahu) přibližně hodnotu 900–4 200 Kč.

- **snižuje půdní úrodnost:** Frye, 1985 uvádí, že se erozí snižují hektarové výnosy přibližně o 15 % při odebrání 5 cm ornice (tj. přibližně 750 t/ha) a o 30 % při odebrání 15 cm svrchní vrstvy půdy (2 250 t/ha).
- **znesnadňuje obdělávatelnost** (fragmentace pozemku erozními rýhami, výmoly, stržemi)
- **způsobuje ztrátu na osivu/sadbě**
- **zanáší vodní toky**, komunikace, propustky
- **snižuje jakost a kapacitu vodárenských objektů:** snížení kapacity nádrže až o 5 % objemu ročně

větrná eroze negativně ovlivňuje půdu tím že:

- má podobné negativní dopady jako vodní eroze (zhoršení fyzikálních vlastností; zmenšení mocnosti půdního profilu; zvyšuje kyselost půdy a potřebu vápnění; snižuje obsah humusu, biologickou aktivitu, obsah živin, půdní úrodnost apod.) a navíc:
- **znečišťuje ovzduší** (poléťavý prach PM10, vyšší riziko rakoviny plic)
- obnažuje kořeny vegetace, která pak zasychá

Faktory ovlivňující intenzitu a průběh eroze

Jedná se zejména o faktory **půdní** (zrnitost, měrná hmotnost, struktura a drsnost povrchu půdy, mocnost povrchových horizontů apod.), **klimatické** (výskyt, směr, doba trvání a rychlost větrů, srážky, teplota, apod.) **geografické** (topografie terénu, orientace vůči převládajícímu směru větru) a **antropogenní** (velikost a organizace honů, délka erozních svahů, vegetační pokryv, posklizňové zbytky resp. jejich zapravení, způsob obhospodařování, závlahy apod.).

Přípustná intenzita eroze

je „maximální intenzita eroze, která dovoluje udržovat trvale a ekonomicky dostupně vysokou úroveň úrodnosti půdy“ (stanoveny v USA při odvozování USLE) v České republice je dáno metodikou ÚVTIZ 5/1992 Sb., která doporučuje přípustnou ztrátu půdy v úrovni:

- u mělkých půd (půdy do 30 cm): 1 t/ha a rok
- u středně hlubokých (30–60 cm): 4 t/ha a rok
- u hlubokých (nad 60 cm): 10 t/ha a rok

tzn. podle hloubky půdního profilu. Teoreticky má jít o takovou erozi, při které je způsobená ztráta půdy nahrazena přirozenou tvorbou nové půdy, případně transport látek nezpůsobuje znečištění nad povolenou mez a zanášení toků a nádrží. Obecně jakákoliv ztráta půdy pod 1 t/ha za rok je obecně málo významná, avšak již ztráta půdy v úrovni 5–20 t/ha za rok na jakkoliv hluboké půdě už má vážný dopad nejen na vývoj půdy, ale i krajiny. Připomeňme, že

1 cm půdy (tj. 150 tun/ha) vzniká za běžných podmínek 100 let, tedy 1,5 tuny na hektar a rok.

Půdní ztráty 20–40 t/ha za rok jsou pak výsledkem intenzivní bouřkové činnosti a představují extrémní hodnoty odnosu půdního materiálu, které mohou vést za nepříznivých půdně-klimatických podmínek ke ztrátě půdy až nad 200 t/ha a rok. V současnosti je nutno uvedenou problematiku chápat nejen z hlediska úrodnosti případně kvality vody, ale i z hlediska omezení až ztráty některých dalších funkcí půdy (=nutno přehodnotit).

Rozšíření eroze svět

zrychlená eroze je vážný celosvětový problém. Odhaduje se, že před zavedením intenzivního zemědělství bylo každoročně do oceánů smyto 10 mld tun sedimentu. V současnosti je toto množství odhadováno na 25–50 mld. tun. Odhady průměrné ztráty půdy ve světovém měřítku se liší dle různých autorů, nejčastěji se ale pohybují od 0,088 mm za rok (tj. 1,28 tuny/ha a rok) do 0,3 mm za rok (tj. 4,5 tuny/ha a rok)

Rozsah půd ohrožených erozí dle Oldemana (1992) upraveno:

	Eroze (mil. ha)	
	vodní	větrná
Asie	444	222
Afrika	227	186
Jižní a Střední Amerika	169	47
Evropa	114	42
Severní Amerika	60	35
Oceánie	83	16
celkem	1094	548

Rozšíření eroze v ČR

Potenciální průměrná roční ztráta půdy ze zemědělských ploch na svazích v ČR se předpokládá 13,7 t/ha, tj. 0,9 mm mocnosti půdního profilu nebo 25 mil. tun ročně (Dostál, Krása, Váška, Vrána, 2002). Podle odhadů VÚMOP se až 70% erodované půdy se dostává do vodních toků ve formě splavenin.

Stupeň ohrožení půd v České republice vodní erozí (t/ha a rok) (Zdroj: MŽP)

stupeň ohrožení vodní erozí (t/ha a rok)	plocha zemědělské půdy (ha)	plocha zemědělské půdy (%)	
velmi slabé ohrožení	do 1,5	134 041	3
slabé ohrožení	1,6–3,0	1 094 507	26
střední ohrožení	3,1–4,5	1 054 905	25
silné ohrožení	4,6–6,0	728 972	17
velmi silné ohrožení	6,1–7,5	484 365	11
extrémní ohrožení	nad 7,6	782 601	18
celkem	-	4 279 391	100

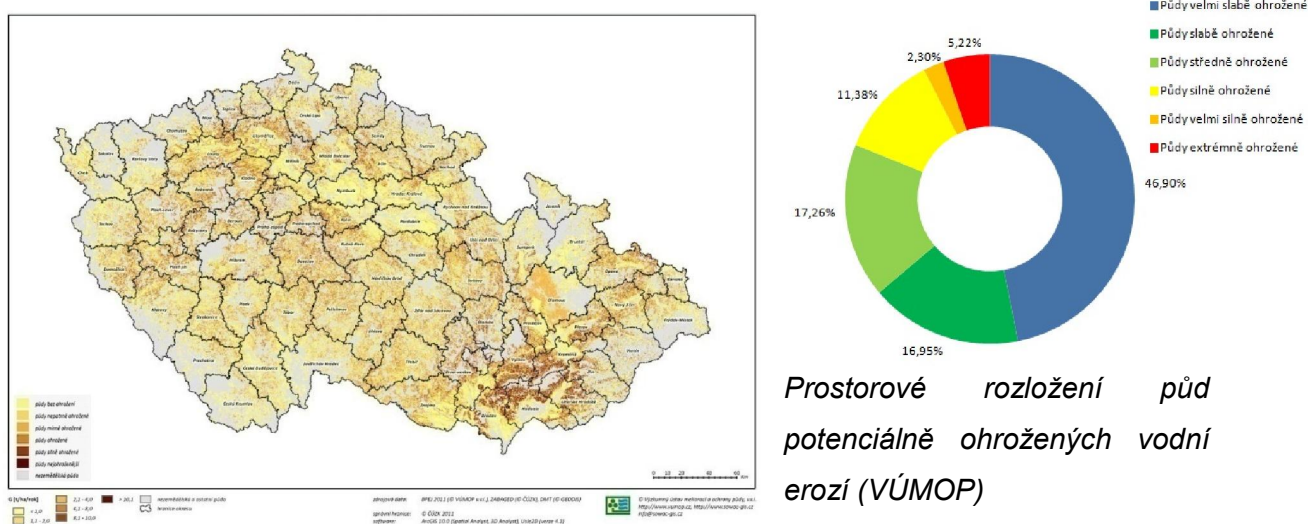
V ČR je potenciálně ohroženo erozí více než 50 % půd, vodní erozí je postiženo aktuálně přes 40 % orných půd, větrnou erozí téměř 10 %.

Současný stav vodní eroze v ČR

Pokud dopadají dešťové srážky na nechráněný povrch půdy a rozrušují jej svou dopadovou kinetickou energií. Pokud je navíc intenzita a úhrn deště tak velký, že se voda nestačí vsakovat, dochází po zaplnění akumulacních prostor na povrchu půdy k odtoku přebytečné vody po povrchu pozemku. Na nechráněné půdě pak působí erozně a vytváří v ní drobné rýžky, rýhy v extrémních případech až strže. Snížením sklonu terénu případně snížením povrchového odtoku klesá unášecí síla vody a dochází k sedimentaci erodovaných částic. Při sedimentaci dochází k diferenciaci usazovaných částic dle jejich velikosti. Obecně lze konstatovat, že efektivní návrh systémů protierozní ochrany by měl spočívat v zachycení povrchově tekoucí vody, převedení její co největší části vsakem do půdního profilu případně ve snížení rychlosti odtékající vody. Silně až extrémně ohrožené plochy zaujímají přibližně 36 % ZPF (cca 1,5 mil. ha). Vodní eroze se nejničivěji projevuje na jižní Moravě, kde může lokálně docházet až k odnosům v řádech stovek tun na hektar a rok. I přes to odnáší jen Labe z Čech ročně přibližně 0,5–1,0 mil. tun plavenin. Pasák et al. (1984) odhaduje zásobu sedimentů v tocích celé ČSSR na 450 mil. tun, s každoročním přírůstkem přibližně 1,7 mil. tun. Robinson (1977) udává pro malá povodí v mírném klimatickém pásu hodnotu poměru odnosu splavenin do vodních toků přibližně 25–55 % smyvu. Uvedené samozřejmě ještě zvyšuje výskyt extrémních událostí. Buzek (1998) ve své práci uvádí příklad, kdy při povodních v roce 1997 protéklo horním ústím Ostravice do vodárenské nádrže Šance téměř 222 000 tun plavenin, což představuje 2,7 násobek sumy za období 1976–1990. Předpokládá se, že převážná část splavenin pochází z eroze zemědělských půd, nicméně významně se pravděpodobně podílí i eroze z ploch obnažených v důsledku stavební

činnosti, eroze polních, lesních cest, koryt břehů toků při povodních apod. Současný stav zemědělských půd ohrožených vodní erozí není uspokojivý a vzhledem k předpokládanému vzrůstu extrémních meteorologických událostí (přivalové srážky, povodně) ještě v budoucnu patrně poroste. Působení vodní eroze je v současné době akcelerováno zejména:

- tvorbou velkých územních bloků na svazích, případně tvorbou sice malých, ale nevhodně orientovaných pozemků (tzv. řemenovitá držba)
- rušením resp. omezováním stálých hydrografických prvků v krajině (zatravněných údolnic, remízků, průleहů, polních cest apod.),
- pěstováním erozně náchylných plodin (okopaniny, kukuřice) na svažitéch pozemcích,
- zhutňováním půdy (omezuje infiltraci a zvyšuje povrchový odtok),
- snižováním obsahu půdní organické hmoty (zvyšuje náchylnost na zhutnění), snižování množství posklizňových zbytků.



Třídění intenzity rýhové eroze podle délky erozních rýh (Bučko, Mazúrová 1958) in Janeček 2002

stupeň	délka erozních rýh (km/km ²)	hodnocení eroze
1	do 0,1	nepatrná
2	0,1–0,5	slabá
3	0,5–1,0	střední
4	1,0–2,0	silná
5	2,0–3,0	velmi silná
6	nad 3,0	výjimečná

Současný stav větrné eroze v ČR

Celkem je v ČR přímo ohroženo 7,5 % (přibližně 320 000 ha) zemědělské půdy, přičemž do kategorie „nejohroženější a silně ohrožené“ spadá přibližně 170 000 ha (MZe, 2009). Intenzita větrné eroze závisí zejména na drsnosti povrchu, klimatických podmínkách, vlhkosti, délce pozemku, případně vegetačním krytu. Jihomoravský kraj v současnosti patří v rámci ČR k nejohroženějším územím větrnou erozí. Tabulka na další straně uvádí odnos půdy větrnou erozí z nejohroženějších zemědělských orných půd. Příčinou větrné eroze je celá řada činitelů. Hlavními faktory, které ovlivňují větrnou erozi, jsou: vítr (rychlost, směr), teplota, půda (vlastnosti, způsob využití, množství organické hmoty a posklizňových zbytků), vegetační kryt (stav v průběhu roku a hustota jeho zapojení).

klasifikace škodlivosti plošné eroze podle intenzity (Zachar 1970) in Janeček 2002, upraveno

stupeň	intenzita odnosu půdy erozí (mm/rok)	hodnocení eroze	intenzita odnosu půdy (t/ha a rok)
1	do 0,05	nepatrná	do 0,7
2	0,05–0,5	slabá	0,7–7
3	0,5–1,5	střední	7–21,8
4	1,5–5,0	silná	21,8–70
5	5–20	velmi silná	70–290
6	nad 20	katastrofální	nad 290

Větrná eroze v Jihomoravském kraji (zaokrouhleno). Rozmezí odnosu vychází z předpokladu, že veškerá přímo ohrožená půda leží ve 4. stupni (dolní mez) nebo v 6. stupni (horní mez), což může odpovídat i např. měnícím se podmínkám v jednotlivých letech. (Zdroj: dokumenty odboru JmK, OŽP – Větrná eroze půdy v JmK, problémová studie)

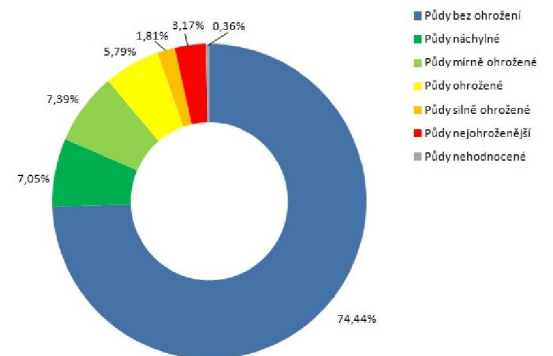
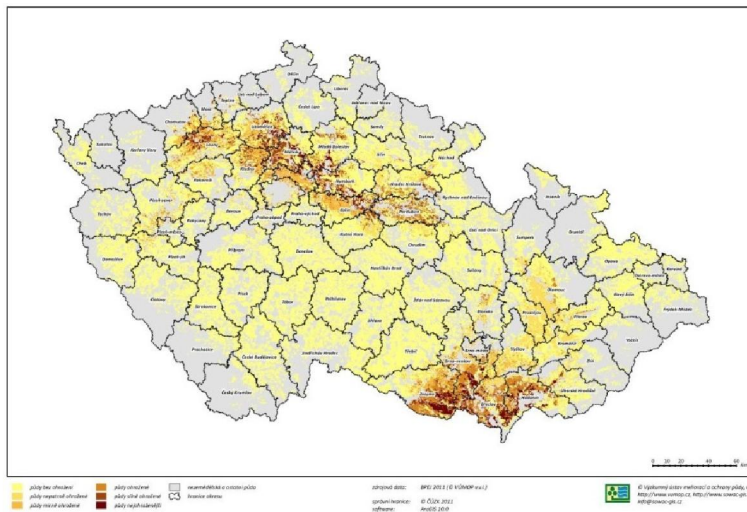
okres	výměra orné půdy LPIS (ha)	výměra půdy v kategorii 4,5, 6 (ha)	odnos (tis. t/rok)
Blansko	27 225	92	2–28
Brno - město	3 733	402	9–121
Brno - venkov	47 067	7 931	180–2 379
Břeclav	56 087	32 305	727–9 692
Hodonín	46 217	19 776	445–5 933
Vyškov	40 987	0	0
Znojmo	97 916	37 267	839–11 180

Celkem

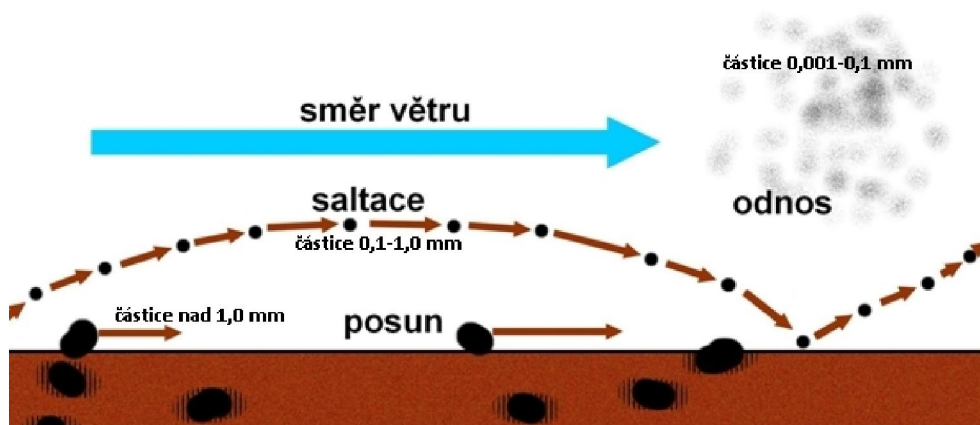
319 232

97 773

2 200–29 332



Prostorové rozložení půd potenciálně ohrožených větrnou erozí (VÚMOP).



Určení ohroženosti pozemků

vodní erozi

v první polovině 20. století začínají být snahy o vyjádření erozního smyvu a, dochází např. k definování:

- náchylnosti půdy k erozi (erodovatelnosti)
- potenciální erozní účinnost deště a povrchového odtoku
- vliv sklonu a délky svahu apod.

Průměrnou dlouhodobou ztrátu půdy z nich zatím nejlépe vyjadřuje tzv. univerzální rovnice Wischmeier-Smith (1978), USLE (Universal Soil Loss Equation), která byla na základě zkušeností v 90. letech 20. století prověřována a aktualizována. Úpravy vedly k určitým změnám, proto byla tato rovnice nazvána RUSLE (Revise Universal Soil Loss Equation):

$$G = R * K * L * S * C * P$$

- G průměrná dlouhodobá roční ztráta půdy (t/ha a rok)
- R faktor erozní účinnosti deště (závisí na četnosti, úhrnu, intenzitě a kinetické energii deště)
- K faktor erodovatelnosti půdy (závisí na obsahu organické hmoty a zrnitosti)
- L faktor délky svahu (vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí)
- S faktor sklonu svahu (vyjadřuje vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí)
- C faktor ochranného vlivu vegetace (závisí na stupni vývoje vegetace a použité agrotechnice)
- P faktor vlivu protierozních opatření

Pokud vypočtená dlouhodobá ztráta půdy překračuje hodnoty ztráty přípustné (viz přípustná intenzita eroze) je zřejmé, že způsob využívání pozemku nezabezpečuje dostatečnou ochranu půdy před vodní erozí. Proto je třeba uplatnit protierozní opatření (zkrátit délku svahu, změna kultur apod.).

POZN: ačkoli se v současnosti uvažuje jako průměrná hodnota R-faktoru 45, která se blíží realitě více než dříve používaný R=20, stále neexistuje detailní a přesná mapa isoerodent na území ČR. S využitím nově zpracovaných dlouhodobých řad ze stanic ČHMÚ se v současné době zpracovává přesnější stanovení R-faktoru pro území České republiky. Očekávají se podstatně vyšší hodnoty, odpovídající více hodnotám odvozeným pro okolní státy středoevropského regionu, které se pohybují průměrně okolo R=50. Tato hodnota bude samozřejmě znamenat vyšší erozi a tím také vyšší nároky na protierozní a protipovodňová opatření (Janeček et al., 2002).

větrnou erozí

Výpočet erodovatelnosti půdy větrnou erozí u nás vychází nejčastěji z rovnice dle Pasáka:

$$E = 22,02 - 0,72P - 1,69V + 2,64R$$

- E erodovatelnost půdy, vyjádřená odnosem půdy (g/m²)
- P obsah neerodovatelných částic v půdě (v %), (tj. obsah půdních agregátů větších než 0,8 mm);
- V relativní vlhkost půdy (% hm.);
- R rychlost větru při povrchu půdy (m/s)

Index erodovatelnosti:

$$I_E = \frac{E_V}{E_P}$$

- E_V vypočítané množství odnosu (t/ha a rok)
- E_P přípustné množství odnosu (t/ha a rok)

Protierozní ochrana je nutná, pokud je index erodovatelnosti I_E větší než 1

Protierozní ochrana zemědělských půd

Protierozní ochranu půd (PEO) je třeba vždy realizovat jako komplexní systém a na daném území ji řešit pokud možno variantně a volit variantu nejméně náročnou z hlediska záboru půdy, finančních nákladů na realizaci a následný provoz PEO. Snížení eroze (vodní nebo větrné) lze dosáhnout protierozními opatřeními (PEO):

- organizačními
- agrotechnickými a vegetačními
- technickými

Vyčíslení přínosu realizace PEO (resp. ztrát způsobených jejich nerealizováním) je velmi obtížné, neboť stanovení hodnoty půdy pro ekosystém je prakticky nemožné. Je třeba pamatovat, že ztráta půdy, jakožto neobnovitelného zdroje, je v drtivé většině případů nevratný a definitivní proces s mnohem hlubšími ekologickými souvislostmi, než je „pouhý“ pokles půdní úrodnosti. Dokonalý návrh PEO v praxi nicméně zpravidla není možný, např. s ohledem k majetkoprávním vztahům k dotčeným pozemkům, ceně apod.

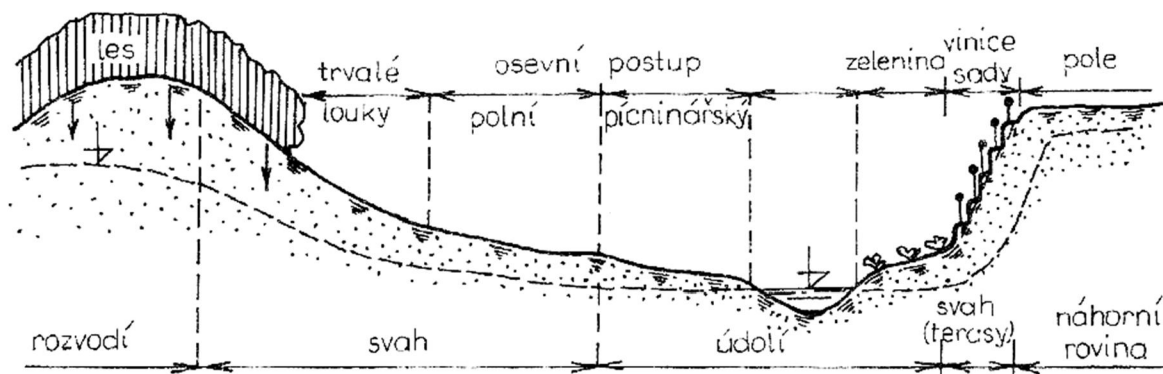
Jak uvádí Clark (1985) erozí způsobené škody rozlišujeme na škody vzniklé přímo na místě, kde k erozi došlo (ztráta půdní hmoty a úrodnosti, škody na plodinách, ztráty hnojiv a osiva) a mimo místa vzniku. Mimo-místní jsou u vodní eroze škody ve vodních ekosystémech (biologické dopady zanášení toků spojené s eutrofizací a změnou rychlosti proudu, zanášení vodních cest atd.) a mimo ně (znečištění zdrojů pitné, užitkové i závlahové vody, zvýšení povodňových škod, sedimentace na nezemědělských pozemcích, zanášení zařízení pro výrobu elektrické energie, apod.).

Opatření proti vodní erozi

Relativně snadno odhadnutelnou položkou hodnocení přínosu PEO jsou ušetřené náklady na odtěžení sedimentu ze dna vodních toků a nádrží. Jde o náklady na odtěžení případně na dekontaminaci (je-li nutná), transport a rozprostření zeminy zpět na pole. Je však potřeba připomenout, že ačkoli je tato položka ne zcela zanedbatelná, jde o dodatečný náklad, který neřeší vzniklou erozní situaci na původním místě. Konečná cena za odbahnění se liší podle mnoha činitelů, podle ceníku AOPK z roku 2013 činí 300 Kč/m³, avšak v některých případech může být mnohem vyšší. Náklady na rekultivaci katastrofických případů eroze (např. při stržové erozi) dosahují téměř nákladů na rekultivaci po povrchové těžbě uhlí: pro zemědělskou či lesní půdu 60 až 80 Kč/m² (tj. 600 až 800 tis.Kč/ha), u vodních ploch však i 200 Kč/m² (Říha, 1999).

Organizační opatření spočívají ve změně využívání krajiny resp. její části. Jedná se především o rozdělení využívaných ploch podle svažitosti při dodržování obecných protierozních zásad, jako jsou: včasný termín výsevu plodin, výsev víceletých pícnin do krycí

plodiny, posun podmínky do období s nižším výskytem přívalemých dešťů, zařazování bezorebně setých meziplodin případně rozmístění plodin podle svažitosti pozemku (širokořádkové plodiny nesázet na svahy).



Polohové rozmístění kultur podle reliéfu území (Holý, 1994)

Obecně se pod organizačními opatřeními chápá:

- v širším pojetí: organizace PF, tvaru, polohy a velikosti pozemků, ve vhodném rozmístění plodin podle jejich ochranného účinku. Navrhují se speciální protierozní osevňovací postupy, vč. návrhu ochranného zatravnění. Trvalé travní porosty (TTP) by měly být zakládány na svazích se sklonem 20–25 %, případně na částech pozemku kde vedou ke stabilizaci drah soustředěného povrchového odtoku, případně na pozemky s vysokou hladinou podzemní vody. Svahy se sklonem 50 % je již vhodné zalesnit.
- nebo v užším pojetí: delimitace kultur neboli **vynětí erozně nebezpečných plodin** (kukuřice, brambory, řepa cukrovka) **z osevňovacích postupů** a nahrazení plodinami náhradními (obvykle pšenice ozimá, ječmen jarní, řepka ozimá apod.) pouze na problémových pozemcích.

Agrotechnická protierozní opatření zahrnují technologické postupy, spočívající zejména v řádně provedené orbě, v ponechání posklizňových zbytků na povrchu půdy, výsevy plodin do ochranných plodin, nebo do strniště či do hrubé brázdy, využití mulčování apod. Jde o poměrně jednoduché a levné řešení. Mohou být dočasného charakteru případně směřovány pouze k jedné erozně náchylné plodině. Lze je uplatnit také jako doplněk technických protierozních opatření. Tyto zásahy mají za cíl zejména snížit kinetickou energii dopadajících dešťových kapek. Nejvíce totiž podléhá erozi půda bez vegetačního pokryvu. Tato PEO jsou proto založena na minimalizaci času, kdy je půda bez vegetace. K protierozní ochraně půdy lze však cíleně využívat i posklizňové zbytky či biomasu meziplodin. Rizikovými obdobími jsou období tání sněhu a zejména období nejčastějšího výskytu přívalemých srážek (VI-VIII).

Na počátku období se zvýšenou pravděpodobností výskytu přívalových dešťů vykazují nedostatečnou pokrývnost plodiny širokořádkové a erozně nebezpečné, ke konci tohoto období pak pozemky s ozimou řepkou. Za velmi účinné protierozní opatření jsou považovány technologie ochranného zpracování půdy (mělké kypření půdy, případně i hlubší prokypření ornice či části podorničí dlátovými kypřiči bez obracení zpracovávané vrstvy půdy). Při orbě na svažitéch pozemcích je nutné dodržet známé, ale mnohdy podceňované pravidlo o orbě ve směru vrstevnic (nebo ve směru tomuto směru blízkém) a klopení skýv proti svahu. Po orbě k jařinám má rovněž význam ponechat přes zimu hrubou brázdou, která může omezit povrchový odtok vody z tajícího sněhu. Mezi tato opatření je možno zařadit především:

- protierozní organizaci pastvy,
- využívání strniskových meziplodin,
- vrstevnicové (konturové) obdělávání pozemků,
- pásové střídání plodin,
- protierozní osevní postupy,
- technologie bezorebného zpracování půdy,
- rozory
- mulčování.

Protierozní opatření stavebně-technického charakteru se navrhuje v případech, kdy jsou ostatní samostatné zásahy (organizační, agrotechnické) neúčinné. V těchto případech je nezbytné rozdělit pozemky s neúměrnou délkou svahu technickými protierozními opatřeními (zejména záchytnými prvky liniového charakteru). Technické prvky (v případě doplnění liniových prvků doprovodnou zelení mají charakter prvků biotechnických) však není možno navrhovat pouze na základě výpočtu šířky pásu. Technická opatření se v povodí navrhuje především jako základní kostra, kterou je následně nutno vhodně doplnit prvky organizačními a agrotechnickými. Vedle protierozní funkce mají spolu s doprovodnou zelení význam i z hlediska krajinářského případně ekologického.

K těmto opatřením se řadí:

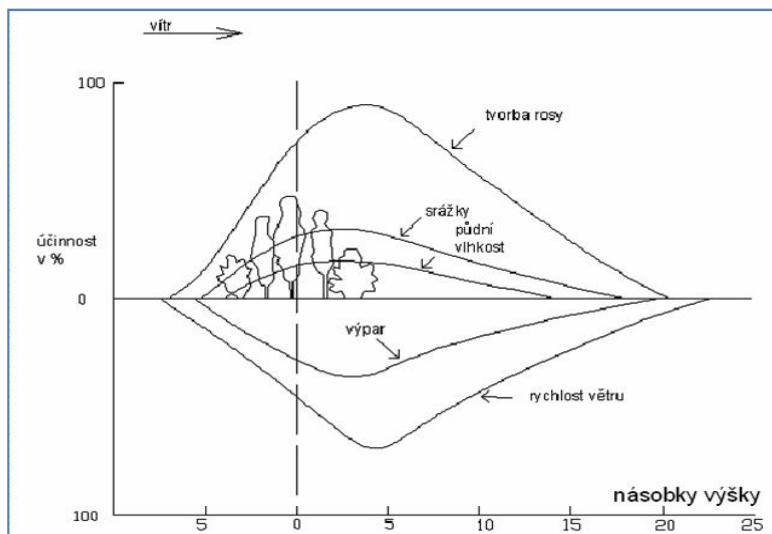
- terénní stupně/ terasy, které zmenšují sklony obdělávané půdy
- hrázky, které zkracují délku povrchového odtoku po pozemku a umožňují neškodné zachycení a odvedení vody, vč. smyté zeminy.
- protierozní meze, průlehy a příkopy, polní cesty s protierozní funkcí
- stabilizace drah soustředěného odtoku
- zasakovací pásy
- zatravněné pásy podél vodotečí,
- zatravněné údolnice,

- záchytné nádrže (poldry) apod.

Opatření proti větrné erozi

Primární ochrana půdy před větrem je založena na principu překážky, která rychlost větru sníží pod kritickou hodnotu. Opět můžeme použít tři typy opatření podle stupně účinnosti:

- organizační
- agrotechnické a vegetační
- technické (mobilní umělé zábrany, trvalé porosty tj. větrolamy, ochranné lesní pásy apod.).



Základem technického řešení je organizace PF vytvořením vhodných tvarů, uspořádáním a velikostí pozemku. Pozemky by měly mít obdélníkový tvar s delší stranou kolmo na směr převládajícího větru.

Účinek větrolamu (UAKE)

Účinnost větrolamů na snížení kritické rychlosti větru

závisí na jejich orientaci a propustnosti. Bylo prokázáno, že ve větrolamovém systému příčných a podélných pásů je vlhkost půdy na polních a lučních porostech vyšší než u nechráněných pozemků; díky tomu je možno tyto systémy využít také v boji proti menším přísuškům. Větrolam tak neplní pouze funkci protierozní, ale i četné další ekologické (biokoridor, zvýšení retenční schopnosti krajiny, vliv na zvlhčení půdy apod.) či estetické funkce. Účinek závisí na jejich skladbě, resp. propustnosti. Chrání pozemek před erozí až do vzdálenosti odpovídající dvacetinásobku výšky větrolamu. Obecně nejlepším typem větrolamu je větrolam poloprodouvací, jeho účinnost se nicméně (u větrolamů budovaných z listnatých dřevin) v průběhu roku může měnit. Vypěstování funkčního větrolamu, s plně zapojeným korunovým patrem, nicméně trvá 15 až 20 let, dle místních podmínek a dřevinné skladby.

tvar a orientace

Větrolam by měl vytvářet uzavřené obrazce, nejčastěji obdélníky. Šířka větrolamu se obvykle počítá 10–15 m, předpokládaná výška 25 m, tvoří ho obvykle 5–10 řad stromů. Větrolam je

většinou zakládán jako smíšený porost, ve střední části nejvyšší, vnější okraje tvoří nižší dřeviny a keře. Vzdálenost hlavních větrolamů (A) se řídí obvykle zrnitostí: u písčitých půd 300–400 m, hlinitých půd 500m a u jílovitých půd až 600m. Projektovaná vzdálenost vedlejších větrolamů (B) bývá minimálně 1 000 m.



Ukázka větrolamů v praxi. Hlavní větrolamy (A) jsou kolmé na směr převládajícího větru (naznačeno šipkou), vedlejší větrolam (B) uzavírá čtvercový obrazec. Obec v levé dolní části jsou Bavory (foto V. Vlček)

Vzdálenost větrolamů se řídí výškou větrolamu, jeho kompaktností (propustností), kritickou rychlostí, rychlostí větru v nechráněné krajině a zrnitostí.

dělení větrolamů

- *neprodouvavé*: malá účinnost, působí jako překážka, vítr se zvedá nad větrolam
- *poloprodouvavé*: propouštějí pouze část větru, jsou nejučinnější, optimální propustnost je 40–50 %.
- *prodouvavé*: dobře propouštějí vítr, v extrému může docházet až k tryskovému efektu výrazně akcelerující úroveň větrné eroze.

POZN: Při projektování větrolamu je si třeba nicméně uvědomit, že pokud bude z listnatých dřevin, jeho parametry se budou v průběhu roku měnit (opad listů až plné olistění).

UTUŽENÍ PŮDY (PEDOKOMPAKCE)

Pedokompakce (tj. utužení půdy), je proces zásadního porušení fyzikálního stavu půdy, ve kterém se redukuje celková vzdušná pórovitost a propustnost, zvyšuje se objemová hmotnost, pevnost a lze zaznamenat mnoho změn v půdní struktuře a v chování některých dalších fyzikálních, chemických nebo biologických vlastností.

Utužení se vyskytuje tam, kde půda podléhá mechanickému tlaku používáním těžké techniky nebo kumulací velkého množství dobytka na malé plochy, především ve výrazně vlhkých či



naopak suchých podmínkách. V rámci orných půd lze takovéto utužené části najít zejména v místech častých přejezdů (nájezdy na pole, obratiště techniky), v rámci pastvin pak u míst, kde dochází častěji ke kumulaci dobytka (napajedla, vchody na pastviny, dobytčí stezky apod.). Utužení se nejčastěji vyskytuje v povrchovém horizontu, ale postihuje i podpovrchové vrstvy, kde je velmi nesnadné je odstranit.

K utužení dochází, pokud je únosnost půdy menší než jaké zatížení půda umožňuje. To závisí na struktuře, vlhkosti, zrnitosti, způsobu obdělávání, případně i na pojezdové rychlosti zemědělských strojů.

Na snímku je klasický příklad zhutněného podorničí, s dobře vyvinutou polyedrickou strukturou (spodní část půdního profilu). To limituje růst kořenů a omezuje množství vody a živin, které je rostlina schopna využívat (foto E. Pokorný).

Utužená vrstva (tzv. pan) je vrstva méně propustná pro kořeny, vodu a kyslík, než jsou půdní horizonty pod, případně nad touto utuženou vrstvou. Narozdíl od ornice, kde můžeme do jisté míry utužení každoročně korigovat alespoň agrotechnikou, v podorniční vrstvě se utužování stává kumulativní a časem se vytvoří homogenní zhutněná vrstva. Utužení podorničí může být problematické i u půd, které mají bobtnavé jílové minerály (tzn., dochází u nich při změně vlhkosti k objemovým změnám) nebo u půd v oblastech, které promrzají do větších hloubek.

Výměra oblastí degradovaných zhutněním půdy se bohužel zvyšuje, protože se zvyšuje i zatížení kol v zemědělství. Před dvaceti lety bylo už kolové zatížení okolo 50 kN (5000 kg) považováno za velmi vysoké. V minulosti jsme se mohli setkat i se zatížením okolo 130 kN, které je používáno u strojů při sklizni cukrové řepy. Na některých půdách bylo dokumentováno zhutnění i v hloubce 80 cm pod povrchem. Výsledkem je, že půda je stále

více zhutňována do stále větší hloubky. Hodnoty vybraných půdních vlastností, kterými hodnotíme utužení dle Lhotského (2000) případně dle Sommer, Petelkau (1990) je uvedeno níže.

Hodnoty vybraných půdních vlastností u zhutněných půd v ZPF ČR, dle Lhotského (2000).

půdní vlastnost		půdní druh					
		JV	JH	H	PH	HP	P
objemová hmotnost	[g/cm ³]	>1,25	>1,40	>1,45	>1,55	>1,60	>1,70
penetrometrický odpor	[MPa]	2,8–3,2	3,2– 3,7	3,7– 4,2	4,5– 5,0	5,5	6,0
půdní vlhkost	[% hm.]	28–24	24–20	8–16	15–13	12	<10
pórovitost	[% obj.]	<48	<47	<45	<42	<40	<38
min. vzdušnost	[% obj.]	<10	<10	<10	<10	<10	<10
max. kapil.kapacita	[% obj.]	>35	>35	>35	-	-	-

ju–jílovitá, jh–jílovitohlinitá, h–hlinitá, ph–písčitohlinitá, hp–hlinitopísčitá, p–písčitá

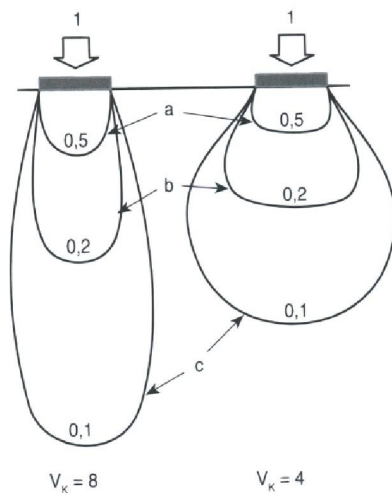
Limitní hodnoty vybraných fyzikálních vlastností pro zhutnělé půdy Sommer, Petelkau (1990) (srovnej s Lhotský, 2000)

parametr	půdy		
	písčité	hlinité	jílovité
Objemová hm. redukována (g/cm ³)	1,51-1,53	1,41-1,46	1,28-1,30
Pórovitost (obj. %)	40	45	47

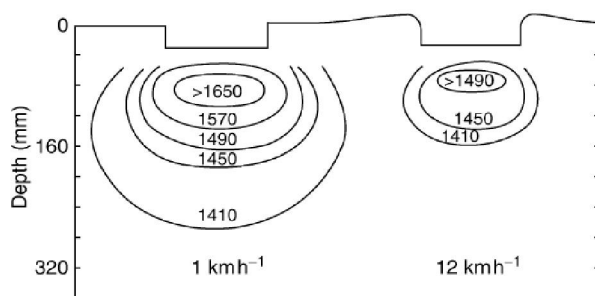
Přibližné limity hodnot objemové hmotnosti redukováne (OHR) omezující růst kořenů, v závislosti na zrnitostní třídě. Upraveno. Arshad, Coen (1992).

zrnitostní třída dle USDA 2 upraveno	limitní hodnota OHR (g/cm ³) způsobující zamezení růstu kořenů
písek, hlinitý písek	1,80
velmi jemné písky a hlinité písky	1,77
písčitá hlína;	1,75
hlína, písčitá-jílovitá hlína	1,70
jílovitá hlína	1,65
písčitý jíl	1,60
prach, prachovitá hlína	1,55
prachovitá-jílovitá hlína	1,50
prachovitý jíl	1,45
jíl	1,40

Je patrné, že u našich nejběžnějších, středně těžkých půd, je limitem pro růst kořenů přibližně hodnota $1,7 \text{ g/cm}^3$, u lehkých, písčitéch půd až $1,8 \text{ g/cm}^3$, u těžkých půd však jen $1,4 \text{ g/cm}^3$.



Stejný měrný tlak na půdu, ale různá vlhkost půdy (vlevo vlhká, vpravo suchá), porovnej hloubku působení (Smith, 1985, In: Chesworth, 2008)



Vliv pojzdové rychlosti na objemovou hmotnost pod koly traktoru (Karczewski, 1978, In: Chesworth, 2008)

Dopady utužení

Při pedokompakci dochází ke zmenšení aktivní vrstvy půdy zejména s těmito následky:

- **zhoršuje fyzikální vlastnosti: například vodní kapacitu, infiltraci, aeraci hlubších vrstev půdy apod.** vyšší utužení (zvýšení objemové hmotnosti, snížení pórovitosti) znamená pokles objemu pórů pod úroveň minimální vzdušnosti (minimální vzdušnost se tak obvykle stává limitujícím faktorem výnosů). Podstatně snížená infiltrace (v Rakousku se uvádí po opakovaných přejezdech těžké techniky v hloubce 30 cm snížení denní infiltrační schopnosti půdy z 50 až na 0,5 cm) má vliv např. i na erozi.
- **zmenšuje mocnost aktivního půdního profilu a tím i hloubku prokořenění:** špatně vyvinutý nebo mělký kořenový systém, vyšší náchylnost k chorobám, horší vývin rostlin.

- **větší náchylnost k erozi:** po podorníci stéká voda podobně jako po utuženém povrchu, následně může v terénních depresích vystupovat na povrch a přidávat se k povrchovému odtoku, povrchová vrstva se navíc rychleji zvodní.
- **ztráta půdní organické hmoty:** ve zhuťnělé půdě uvádí Davies et al., (1993) snížení obsahu organických látek až na polovinu.
- **snížení výnosů:** estonská studie z let 2001–2005 ukazuje pokles výnosu ječmene až o 70 % na lokalitách postižených utužením, oproti neutuženým lokalitám (Edesi et al., 2007). Fulajtár, (2000) uvádí na Slovensku snížení výnosů „pouze“ o 10–20 % (zejména u náchylných plodin: cukrovka, brambory a ječmen). Velké množství prací se shoduje na poklesu 25–50 % oproti neutuženým variantám (Reintam et al., 2005, Bulinski, Niemczyk, 2011 apod.). Je-li pak půda utužena na 1,7 g/cm³ či více, znamená to většinou naprosté znemožnění růstu a klíčení, případně omezení až na míru nerentabilního výnosu.
- **vliv na cyklus některých chemických prvků** Zhao-Fang Jie et al. (2007), popsali případ, kdy v první sezóně statisticky průkazně klesá u utužených půd obsah selenu v obilkách pšenice, ale naopak stoupá obsah arsenu v obilkách na zavlažovaných plochách.
- **sníží biologickou aktivitu v půdě:** částečně jako důsledek snížení obsahu organické hmoty v půdě, zmenšení obsahu organického uhlíku a kvantitativním úbytkem půdních mikroorganismů, částečně i jako důsledek nedostatečné aerace profilu.

Faktory ovlivňující intenzitu a průběh utužení

Jedná se zejména o faktory **půdní** (zrnitost, struktura, obsah organických látek, vlhkost), **klimatické** (výskyt suchých a vlhkých period), a **antropogenní** (hloubka agrotechniky, množství přejezdů, velikost používaných strojů a pneumatik apod.).

Dominantní vliv na zhuťnitelnost má půdní vlhkost. Suché půdy s dobrou strukturou jsou sice poměrně odolné, s nízkou utužitelností, ale i extrémně suché, písčité půdy mohou být utuženy poměrně snadno. Jak se zvyšuje obsah vlhkosti, zvyšuje utužitelnost až do stavu „optimální vlhkosti pro utužení“. Při ještě vyšším obsahu vlhkosti může být sice utužení přetíženo mokré půdy minimální, může však dojít k plastickému průtoku, k mechanickému kolapsu struktury půdy a makro pórů.

Současný stav utužení u nás a v Evropě

Většina zemědělské půdy v rozvinutých zemích, vykazuje určitou míru zhuťnění podorníci. Odhady výměry oblastí přímo ohrožených utužením půdy se v literatuře poněkud rozcházejí.

Někteří autoři uvádějí přibližně 36 % půdy v Evropě za vysoce nebo velmi vysoce náchylných k pedokompakci, jiné zdroje uvádějí, že značně ohroženo je 32 % a mírně ovlivněno 18 % půdy. Nedávný výzkum ukázal, že zhutnění je jedním z nejrozšířenějších druhů degradace půdy ve střední a východní Evropě. U 25 milionů hektarů se hovoří o lehkém zhutnění, přičemž dalších přibližně 36 milionů hektarů vykazuje různý stupeň utužení.

Odhaduje se, že v České republice je zhutněním ohroženo kolem 30–50 % zemědělských půd (z hlediska zrnitosti, případně stavu fyzikálního poškození), a to převážně technogenním zhutněním, způsobeným použitím nevhodné mechanizace.

Určení ohroženosti pozemků

Všeobecně jako náchylnější na deformace jsou označovány půdy s vysokým obsahem jílu (nad 35 %), neznamena to však, že by na lehkých půdách tento problém neexistoval. Rovněž půdy se špatnou strukturou (zrnitou či slabě vyvinutou polyedrickou) vykazují vyšší náchylnost ke zhutnění (Sobocká, 2007). V minerálních půdách organická hmota významně snižuje náchylnost půd k utužení pro všechny zrnitostní třídy.

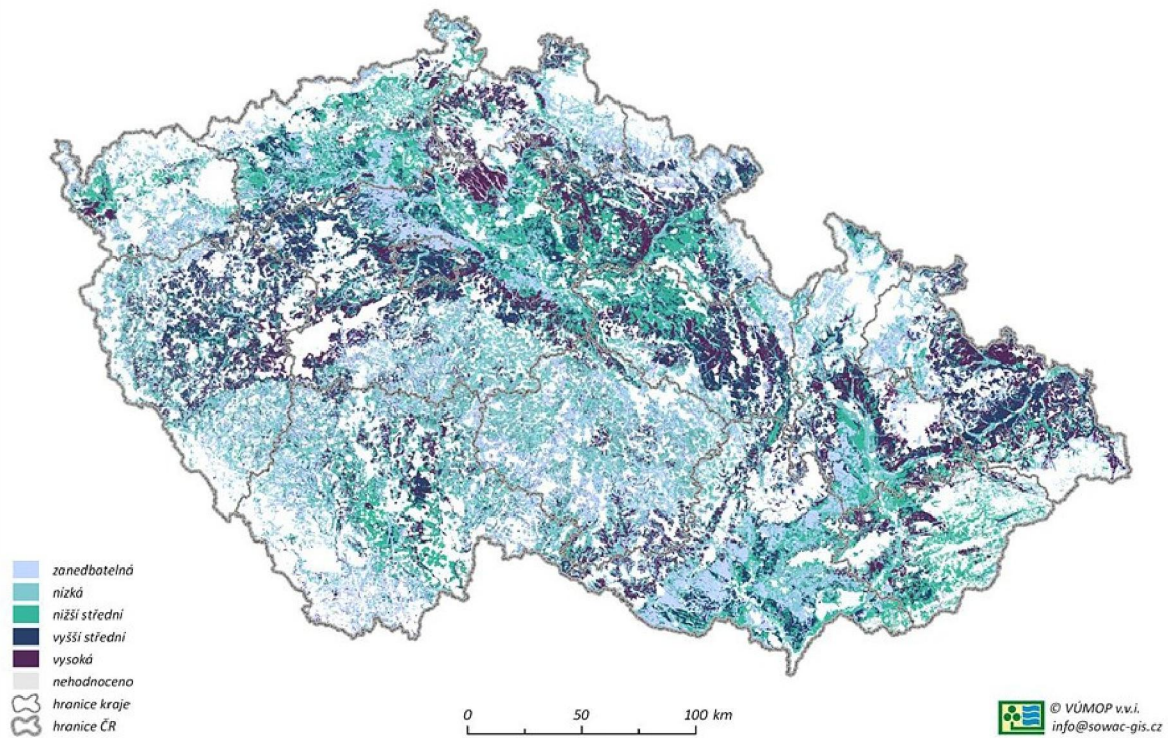
Obecné symptomy utužení:

- rostliny
 - zakrnělost / nerovnoměrný růst (viz obrázek)
 - příznaky nedostatku živin/ vody
 - deformace kořenů
 - snížené výnosy
- půda
 - delší dobu stojící voda na povrchu
 - změny půdní struktury
 - většinou i obtížné zpracování

Kvantifikace utužení:

- **porostové příznaky** (rostliny) = kvantifikace ztrát na zemědělské produkci,
- **penetrační odpor** závisí na vlhkosti a nejde tak o absolutní hodnotu, závisí rovněž na hloubce kultivace, viz limitní hodnoty dle Lhotského (2000)
- **objemová hmotnost redukována:** hmotnost na jednotku objemu slouží k výpočtu pórovitosti, závisí na zrnitosti, viz limitní hodnoty dle Lhotského (2000)

Potenciální zranitelnost spodních vrstev utužením



Utužené plochy (zejména kolejové řádky), lze v terénu poměrně dobře identifikovat. Dalším poznávacím znakem je znatelně menší vzrůst rostlin v jinak stejnověkém porostu (uprostřed snímku). (foto V. Vlček).

Opatření proti utužení

Jedná se zejména o metody předcházení zhutnění půdy, jako je zejména:

- **omezování přejezdů těžké mechanizace** (omezení počtu pojezdů, pojezdů na jaře a po orbě, ježdění v téže koleji, atd). Základní omezení na pouze nezbytné přejezdy těžké mechanizace je v souvislosti s nižší spotřebou pohonných hmot v zájmu samotných zemědělců.
- **používání mechanizace s nízkozátěžovými pneumatikami** sice zvyšuje podle analýzy provedené v zemích EU25 náklady průměrně o 4,5 EUR/ha/rok, ale kromě snížení rizika utužení půdy se předpokládá i zvýšení výnosu o 1 % za rok, tedy průměrně o 11 EUR/ha/rok.
- **využívání půdo-ochranných způsobů obdělávání**, (bezorebné setí apod.) v rámci ekologických a trvale udržitelných systémů hospodaření. I když minimalizace do určité míry snižuje výnos, v kombinaci s vyšším zastoupením organického hnojení (které je rovněž vhodné pro snížení rizika utužení), mohou při vhodném hospodaření přinášet téměř srovnatelnou zemědělskou produkci s produkcí v konvenčním zemědělství. Dalšími benefity by bylo snížení projevů eroze a dalších projevů degradace půd, zachování produkčních schopností půd a pozitivní vliv na biodiverzitu.
- **dostatečné organické hnojení**, (dostatečné organické hnojení a vápnění, zlepšování podmínek pro biologické procesy v půdě)
- **zpracování půdy ve vhodném vlhkostním stavu,**
- **vyvážené osevní postupy**
- **hloubkové (meliorační) kypření**: k vysokým nákladům na pořízení techniky je třeba přidat i vysokou spotřebu pohonných hmot, která v nepříznivých podmínkách zvyšuje základní cenu až o 10 litrů nafty na hektar na přibližně 2 700 Kč/ha. Hloubkové kypření nemá trvalý charakter, a je potřeba je po několika letech opakovat.

ÚBYTEK PŮDNÍ ORGANICKÉ HMOTY

Ochrana půdní organické hmoty (POH) je kritickým bodem trvale udržitelného hospodaření. Průměrná úroveň humusu v našich půdách (indikovaná obsahem půdního organického uhlíku) se v současnosti snižuje (Kobza et al. 2002).

V nejširším slova smyslu, zahrnuje půdní organická hmota všechny živé půdní organismy a všechny zbytky předchozích živých organismů v jejich různém stupni rozkladu. V rámci živých organismů se může jednat o zvířata, kořeny rostlin, případně celé primitivní rostliny a mikroorganismy. Živá složka obvykle tvoří pouze několik procent z celkového obsahu půdní organické hmoty. Neživou půdní organickou hmotu najdeme ve čtyřech různých zásobnících (poolech):

- **ve vodě rozpuštěný organický uhlík** (DOC – dissolved organic carbon)
- částice organické hmoty v rozmezí od nově přidaných rostlinných a živočišných zbytků po částečně rozložený materiál menší než 50 mikronů, ale s identifikovatelnou buněčnou strukturou. Tyto **organické zbytky** mohou představovat část od několika procent až do výše 25 % z celkové organické hmoty v půdě.
- **humus**, který zahrnuje jak organické molekuly identifikovatelné struktury, jako jsou proteiny a celulosu, tak molekuly bez identifikovatelné struktury (huminových kyselin, fulvokyseliny, humin apod.), mají ale aktivní části, které umožňují vazbu na další minerální a organické složky půdy. Molekulová hmotnost je 20 000–300 000. Humus obvykle představuje největší složku půdní organické hmoty, obsahující více než 50 % z celkového množství
- **inertní organické látky** nebo aktivní uhlík odvozený ze spalování rostlin. Obsahově může tvořit až 10 % z celkové půdní organické hmoty

Na základě odolnosti vůči mikrobiálnímu rozkladu a rozpustnosti v kyselinách a louzích se humusové látky dělí na:

- **Fulvokyseliny** (FK), rozpustné ve vodě
- **Huminové kyseliny** (HK), rozpustné v louzích
- **Hymatomelanové kyseliny** rozpustné v ethanolu
- **Humáty**, jsou soli huminových kyselin
- **Huminy**, jsou látky vzniklé spojením anorganického podílu a huminové kyseliny
- **Humusové uhlí**, konečný produkt kondenzace

Kvalita humusu se nejčastěji hodnotí poměrem HK:FK a poměrem C:N

Pokud se do půdy dostanou zbytky rostlin nebo živočichů, jsou rozloženy půdním edafonem



nejprve na základní organické látky, a nakonec syntetizovány na humus. Suroviny se však mohou výrazně lišit v jejich odolnosti proti rozkladu. Organické látky jako například ligniny jsou velmi odolné, zatímco jim velmi podobné látky, jako třeba cukry jsou snadno využity mikroorganismy. Vedlejším produktem tohoto složitého řetězce procesů je oxid

uhlíčitý. Více než polovina z uhlíku přidaného do půdy se ztrácí jako CO_2 během rozkladu. Vzhledem k různé reaktivitě látek v půdě se časy obratu těchto frakcí uhlíku pohybují od několika měsíců až po desítky tisíc let.

Obsah půdní organické hmoty je závislý na širokém spektru přírodních i antropogenních faktorů, od přirozené konfigurace terénu, klima, po management a užívaný osevní postup. Hnojení organickými hnojivy zvyšuje obsah organického uhlíku všech půdních typů. Ani poměrně velké dávky minerálních hnojiv však nemají u většiny půdních typů pozitivní vliv na obsah organického uhlíku, což potvrzují i české pokusy s hnojením a vápněním (Šimek *et al.*, 1999), ačkoli vysoké dávky vápence akumulaci půdní organické hmoty do jisté míry stimulují (Kubát a Lipavský, 1996). Hlavním faktorem snížení obsahu bez ohledu na půdní typ, je tedy v současnosti především nevhodný způsob hospodaření.

Význam humusových látek v půdě,

Příznivý vliv humusu na fyzikální, chemické a biologické vlastnosti orných půd je všeobecně znám. Kórschens (1990) uvádí, že zvýšení obsahu uhlíku v půdě o 0,1 % zvýší vododržnou kapacitu půdy o 0,5–0,6 % obj., pórovitost o 1 % a objemovou hmotnost (utužení) sníží o 0,01–0,02 g/cm^3 . K dalším funkcím patří ochrana povrchu půdy před mechanickým vlivem dopadajících dešťových kapek a snížení povrchového odtoku (voda se vsakuje 3–7x intenzivněji), tepelně-izolační funkce (chrání povrch půdy před přehřátím), omezuje neproduktivní výpar, zlepšuje zásobení rostlin vláhou, vede k vysokému poutání živin v půdě (přibližně 6–7x vyšší ve srovnání s minerální frakcí), je důležitým faktorem drobtovité struktury půdy, jejímž důsledkem je příznivý vodní, vzdušný a tepelný režim půdy, má pozitivní vliv na pufrační schopnost půd (acidifikace). Humusové látky jsou dále schopny vázat škodlivé sloučeniny a částečně některé těžké kovy v půdě, zabraňují vysrážení

fosforečných sloučenin z půdního roztoku a mají přímý stimulační vliv na rostliny. Dá se tedy hovořit o komplexním stimulačním vlivu na půdu.

Příklady poklesu obsahu půdní organické hmoty:

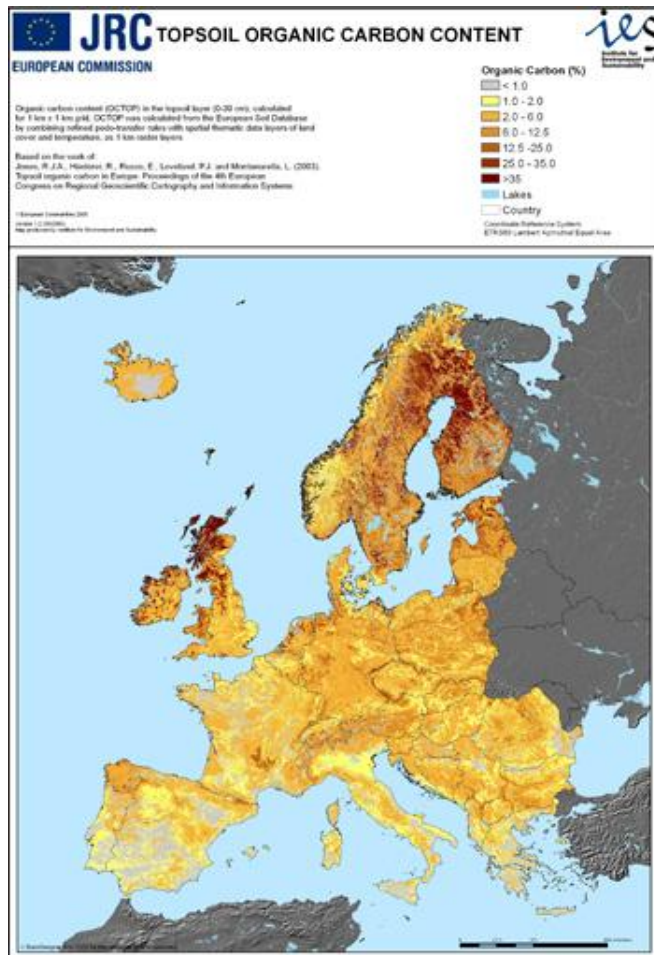
- Ellmer et al., (2000) popisuje třicetiletý pokus Humboldtovy Univerzity v Berlíně s rozdílnou úrovní organického a minerálního hnojení, kdy zaznamenali významný rozdíl v obsahu organické hmoty. Na půdách hnojených pouze minerálními hnojivy navíc způsobilo opomenuté vápnění výraznou acidifikaci půdy.
- Hejnak et al., (2001) popisuje mikroparcelový pokus pro stanovení efektu obsahu humusu, frakcí dusíku a jeho stupňovaných dávek (60, 90 a 120 kg N/ha) na výnos ječmene (cv. Jaspis), na regosolech a černicích v ČR. Produktivita ječmene se zvyšovala se zvyšujícím se obsahem humusu (vztah mezi obsahem humusu a výnosem ječmene $r = 0,98$; a mezi obsahem humusu, poměrem dusíkatých hnojiv a produktivitou ječmene při dávce 60 kg N/ha $r=0,91$, a $r=0,86$ při 120 kg N/ha).
- Míša a Onderka (2008) popisují, že organické hnojení vede ke snížení kolísání výnosu (u ječmene jarního po cukrovce), zatímco u variant bez organického hnojení výnos kolísá v poměrně širokém intervalu.
- Makowski, (2004) popisuje případy, kdy lehké půdy, dosáhly v Německu v letech 1999–2003 v průměru pouze 58% výnosu obilovin pěstovaných na písčitohlinitých půdách. Strategie krycích plodin v podsevu však na 1 600 ha písčitých půd ukázala, že výnos obilovin a řepky byl, i v suchém roce 2003, nad průměrem pro okolní písčité půdy. Krycí plodiny totiž v tomto případě snižují vysychání těchto půd.

Stav v Evropě a v ČR

Přibližně 45 % půdy v Evropě má nízký nebo značně nízký obsah organické hmoty (tzn. 0–2 % humusu), 45 % má střední obsah (tzn. 2–6 % humusu). Problém se vyskytuje zejména v jižních zemích, ale i v některých částech Francie, Spojeného království, Německa a Švédska (Jones et al., 2012).

Dle modelu PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) koreluje nízký obsah organického uhlíku (<2 %) mimo jiné s výskytem vážné půdní eroze (nad 5 t/ha a rok), a to zejména v některých oblastech Španělska a Francie (Jones et al., 2004).

Škarda a Damaška (1982) ve své práci sice poukazují na to, že za padesát let nedošlo u našich půd k podstatnějším změnám v průměrném obsahu humusu, i když na některých půdních typech je jistý úbytek pozorovatelný. Byl však zjištěn trend zhoršení kvality humusových látek u černozemí (Podlešáková a Němeček, 1983). Tyto závěry potvrzují i



současné výsledky, které prokazují poměrně stabilní obsah humusu v našich půdách oproti stavu z KPP (Viček, 2007).

Určení ohroženosti pozemků

Pro identifikaci území ohroženého snížením organické hmoty je potřebné monitorovat rizikové kombinace: půdní typ/klimatický region/nevhodné užití půdy. Ohroženy jsou především tyto orné půdy (Sobocká, 2007):

- půdy s organozemním horizontem, půdy drenážované (dříve zamokřené); tj. půdy s předpokladem rychlé mineralizace půdní organické hmoty (předpokládá se úbytek organické hmoty po odvodnění, orbě a aplikaci minerálních hnojiv),
- půdy s humózním horizontem na exponovaných, velkoplošných a otevřených parcelách; tj. kvalitní orné půdy se sníženým podílem přilehlé krajinné zeleně (předpokládá se i ztráta půdy vlivem větrné eroze),
- nížinné půdy (fluvizemě, gleje); tj. vlhké půdy a půdy s vysokým obsahem organické hmoty (předpokládá se snížení podobně jako u prvního bodu po kultivaci a drenáži),
- mělké nebo slabě vyvinuté půdy (rankery, regozemě); případně vegetací nekryté nebo slabě strukturní půdy na strmých svazích (předpokládá se ztráta půdy vodní erozí),
- písčité půdy s přirozeně nižším podílem kvalitního humusu ve svrchních horizontech (regozemě, podzoly),

- antropogenní půdy (člověkem vytvořené), ve kterých se organická hmota kumuluje při určitém využívání krajiny. Při změně využití krajiny, a tím i půdy, dochází k rychlé ztrátě organických látek.

Vliv kultivace na vybrané parametry vertisolů v Texasu (Brady a Weill, 2002):

Půda	humus	P	objem makropórů	objem mikropórů	objemová hmotnost
	(%)	(%)	(%)	(%)	(g/cm ³)
0–15 cm					
panenská prairie	5,6	58,3	32,7	25,6	1,11
kultivace 50 roků	2,9	50,2	16	34,2	1,33
15–30 cm					
panenská prairie	4,2	56,1	27,0	29,1	1,16
kultivace 50 roků	2,8	50,7	14,7	36,0	1,31

Organická hnojiva v půdě

Organické látky obsažené především v posklizňových zbytcích a organických hnojivech (tedy zdroj půdního humusu), zlepšují půdní úrodnost přímo i nepřímo. Bez vyrovnané bilance organických látek se postupně snižuje obsah živného i trvalého humusu a zároveň to negativně ovlivňuje celou řadu půdních vlastností (půdní reakci, objemovou hmotnost, minimální vzdušnost, infiltraci, retenční kapacitu apod.). Proto je třeba zajistit dostatečný a pravidelný přísun organických látek v množství alespoň 1,5–2 t/ha a rok viz níže.

Současný stav organického hnojení:

Průměrná roční bilancovaná spotřeba organických látek je na orných půdách přibližně 4 t/ha, přičemž na jejím pokrytí se v roce 1991 z 57 % podílely posklizňové zbytky (včetně kořenové hmoty a exudátů=2,35 t org. látek/ha) a ze 43 % je měla uhradit org. hnojiva (1,76 t org. látek/ha). Fyzicky však bylo dodáno pouze 1,26 t org.látek/ha (Škarda a Římovský, 1991). V r. 2001 pak bylo dodáno již jen 0,6 až 0,7 t organických látek na 1 ha orné půdy (Richter et al. 2001). To znamená o cca 1 t/ha méně oproti potřebě.

Co brání vyššímu využívání organických hnojiv?

- cena
 - náklady na hnojení tuhými průmyslovými hnojivy se dle použité technologie a výměry pohybují cca od 200 do 300 Kč/ha,
 - náklady na hnojení hnojem se při dávce 30 tun/ha pohybují cca od 2.500 do 6.500 Kč/ha (Kovaříček 2002).
- nedokonalé ekonomické hodnocení přínosů organického hnojení.

- neexistující metodika pro oceňování organické hmoty v hnojivu dle kvalitativních ukazatelů

Opatření proti poklesu obsahu půdní organické hmoty

Greenland ve své práci (1975) navrhl šest základních principů půdního managementu pro udržitelné zemědělství:

1. náhradu živin odebraných z půdy,
2. stabilizace fyzikálních poměrů v půdě,
3. udržení konstantního obsahu humusu,
4. půda nesmí být rezervoárem nemocí, plevelů a škůdců,
5. hladina toxických prvků nesmí stoupat a půdní reakce klesat, a
6. úroveň eroze půdy musí být pod úrovní její tvorby.

Obsah humusu však může být konstantní pouze v případě, že mineralizace a humifikace budou v rovnováze. Zásoba, složení, případně dynamika obsahu humusu v půdě souvisí s celým souborem faktorů a podmínek půdotvorného procesu (klíma, rostliny, mikroorganismy a matečná hornina), (Sotáková 1982). Zejména na lehkých půdách, s nízkým obsahem humusu, však opakované pěstování obilovin tuto situaci spíše zhoršuje. Jako možný způsob řešení tohoto problému se na těchto půdách doporučuje zintenzivnění živočišné výroby (na 0,35–0,80 dobytčí jednotky/ha), případně zvětšování výměr pastvin a ploch pro píce, používání osevních postupů s podsevem apod. (Makowski, 2004).

Pozitivní vliv na obsah organických látek v půdě mají rovněž vyšší dávky organického hnojení a minimalizační technologie (Seifert, 1982). Dlouhodobá účinnost především hnoje zvyšuje výnosy v průměru o 20 % oproti nehnojené půdě. Rovněž platí, že účinnost hnoje stoupá s klesající potenciální úrodností půdy (v horských a podhorských oblastech dosahuje samotná dávka průmyslových hnojiv jen 60% účinnosti hnoje). V osevním postupu bez víceletých pícnin je relativní účinnost hnoje vyšší než v osevním postupu s víceletými pícninami. Průměrné využití živin z hnoje dosahuje u dusíku 35 %, u fosforu 30 % a u draslíku 45 %. Zbytek se ukládá v rámci humusu. V lehčích půdách však může dojít k vyplavování části dusíku a draslíku.

Organická hnojiva jsou velmi významná pozitivním působením na zemědělskou výrobu, lesnictví, sadovnictví, ale i při rekultivacích. Jejich nedostatek má velmi nepříznivý dopad na fyzikální, chemické vlastnosti a útlum činnosti edafonu. Nejvíce se tyto negativní dopady projevují na rekultivovaných jalových zeminách a na plochách na krátkou dobu opuštěných zemědělskou výrobou.

ACIDIFIKACE / OKYSELOVÁNÍ

Acidifikace půdy je definována jako změna, (v tomto případě **pokles**) **schopnosti půdy neutralizovat kyseliny** u celkové pevné (minerální a organické) případně kapalné fáze půdy (De Vries et Breeuwsma, 1987). Můžeme v zásadě rozlišit **aktuální acidifikaci**, (způsobenou přímou ztrátou bazických kationtů) a **potenciální** (oddálenou zadržením, akumulací aniontů).

Acidifikace probíhá **přírozně** v humidním (vlhkém) klimatu, ale v současné době je tento proces v různé míře akcelerován i **antropogenně**. Tento proces je provázen růstem koncentrace vodíkových kationtů, za současné ztráty bazických kationtů Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ ze sorpčního komplexu a uvolňováním hliníku a železa. Sorpční půdní komplex je poté méně odolný vůči vnějším vlivům přísunu dalšího vodíku.

Acidifikace půdy má tyto primární příčiny:

- depozice acidifikujících sloučenin (zejména síry a dusíku),
- pokles množství látek schopných neutralizovat kyseliny,
- zvýšení primární produkce (případně odvoz biomasy),
- zvýšená míra nitrifikace nebo oxidace síry,
- změny ve využívání krajiny (tj. zalesnění, zavádění rostlinných druhů, které zvyšují acidifikaci půdy, změny hospodaření v lesích apod.),
- redukce rychlosti rozkladu opadu a půdní organické hmoty mikroorganismy,
- zvýšená produkce a pohyb organických kyselin s prosakující půdní vodou.

Acidifikace se vyvíjí v čase a změny (odehrávající se často dlouho skrytě v půdním prostředí), se projevují teprve po určité době (v závislosti na pufrální kapacitě půdy). U agroekosystémů jsou navíc jakékoliv vnější projevy acidifikace maskovány každoročními vstupy hnojiv a pesticidů a obděláváním těchto půd.

Mechanismy přírozené acidifikace půd

Jednou z nejpodstatnějších vlastností ve vztahu k acidifikaci půd je půdní sorpční komplex. Ten na svém povrchu nese negativní náboj (buď na jílových minerálech, nebo na částicích organické hmoty). Kyselost půdy je určena poměrem mezi množstvím bazických kationtů (Ca, Mg, K, Na), a množstvím sloučenin hliníku na sorpčním komplexu. Ve smyslu účinků acidifikace na půdu může být ztráta těchto bazických kationtů a mobilizace hliníku označena jako klíčový proces. Hlavními příčinami popsaného jevu může být například vyšší odběr bazí biomasou (např. u dospělého lesního porostu), hromaděním velkého množství, pomalu se rozkládající organické hmoty na povrchu půdy, případně vymýváním.

Acidifikace půdy pod vlivem silných kyselých (síranových a dusičnanových) aniontů je v přirozených systémech poměrně vzácná. V půdách majících silnou, pomalu se rozkládající humusovou vrstvu, v procesech vyplavování se důležitá role přisuzuje aniontům organických kyselin (např. při tvorbě podzolů, kryptopodzolů).

Mechanismy antropogenní acidifikace půd

Oxidy síry a dusíku pocházející z antropogenních zdrojů (průmysl, doprava, energetika, ale i zemědělství) oxidují v atmosféře a na povrchu vegetace za vzniku kyseliny sírové a kyseliny dusičné, které snižují pH srážkové vody. Do ekosystémů se dostávají dvěma mechanismy: prvním je „mokrý depozice“, tedy síra/dusík obsažený ve srážkových vodách; druhým je „suchá depozice“, která se zachycuje z atmosféry ve formě aerosolu na povrchu vegetace, půdy apod. kde dochází k oxidaci, a při nejbližší dešti jsou tyto kyseliny spláchnuty do půdy. Pochopitelně vyšší „efektivitu“ zachytu suché depozice má ekosystém s větším souhrnným povrchem (jehličnatý porost), který si svůj velký povrch zachovává i v zimních měsících. Suchá depozice síry tvoří minimálně jednu polovinu celkové depozice.

Po redukci antropogenní zátěže sírou v posledních desetiletích přebírá hlavní roli acidifikujícího elementu dusík. V současnosti největším producentem dusíkatých látek emitovaných do prostředí je zemědělství (Galloway et al., 2003). Dlouhodobá nadměrná zátěž dusíkem má navíc za následek vyčerpání akumulací kapacity ekosystému (Galloway et al., 2003) a následně ztrátu stability ekosystému (Bobbink a Roelofs, 1995). Ta je provázena zvýšeným množstvím dusíku vystupujícím z ekosystému ve formě plyných emisí, ale i ve formě dusičnanů v rámci podzemních vod.

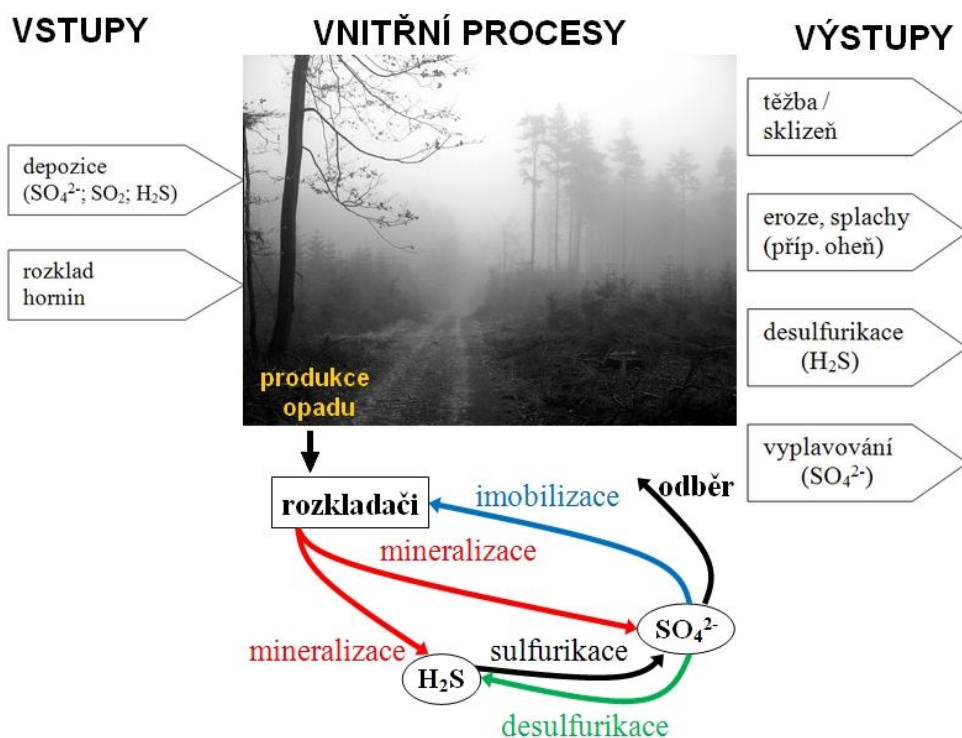
Uvádí se, že zásoba bazických kationtů v půdách vytvořená primárním zvětráváním od konce poslední doby ledové, tedy během zhruba posledních 12 000 let, byla během posledního století z velké části vyčerpána. Tomu odpovídají také alarmující zjištění, že rychlost vyčerpávání bazických kationtů z půdního výměnného zásobníku je stále vyšší než je rychlost jejich doplňování procesem zvětrávání (Melegy, Pačes, 2005).

Bazické kationty jsou v případě kyselých depozic vyplavovány ve vazbě na kyselé anionty (SO_4^{2-} a NO_3^-). Změny půdní reakce vyplývající z kyselých depozic nastanou až po uplynutí určité doby, která závisí na pufrací kapacitě a pohybuje se v horizontech mnoha desetiletí. V kyselých půdách, kde je však zásoba výměnných bazí výrazně menší než výměnná acidita, se významné změny mohou projevit již v horizontu několika let případně desetiletí. Kapacita většiny našich půd neutralizovat kyseliny zvětrávacími procesy je v rozpětí od 0,5 kmol/ha a rok na chudých substrátech, do 2 kmol/ha a rok na bohatších substrátech.

Acidifikující potenciál síry

Síra patří mezi biogenní makroelementy, pro rostliny je přijatelná především ve formě síranů, přičemž celkový obsah síry většiny našich půd kolísá mezi 0,002 a 0,2 % a v půdě se vyskytuje ve sloučeninách minerálních i organických (bílkoviny, polypeptidy, aminokyseliny). Každoročními sklizněmi se odčerpá přibližně 15–50 kg/ha síry. V běžných půdách je nejvíce síry v síranové formě a i přes svou poměrně malou rozpustnost ve vodě může rostlinám zajistit potřebné množství síry během vegetace. Síra v plynné formě vstupuje do ekosystému zejména ve formě oxidu siřičitého.

Z hlediska acidifikace je nejvýznamnější výstup síry v podobě síranových aniontů. Síranové anionty jsou dominantní formou minerální síry, zároveň ale i nejvýznamnějším zdrojem síry pro rostliny. V ekosystému mají biologické procesy (společně s určitou kapacitou půd) schopnost zadržet SO_4^{2-} a oddálit tak negativní dopady (ztráta bazických kationtů, zvýšení mobility hliníku atd.) o určitou dobu. Při překročení hranice saturace ekosystému sírou, jsou ale ztráty síry vyplavováním (ve formě síranových aniontů) značné. Z hlediska zachování funkčnosti ekosystému jsou nejrizikovější ztráty bazických kationtů, na které jsou právě tyto sírany vázány (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+).



Zjednodušený model cyklu síry v ekosystému. Je znázorněno propojení vnitřního cyklu síry prostřednictvím vstupů a výstupů.

Acidifikující potenciál dusíku

Dusík je nutný k syntéze bílkovin a nukleových kyselin a společně s uhlíkem, fosforem, kyslíkem a sírou patří k biogenním prvkům. Má největší relativní zastoupení v zemské

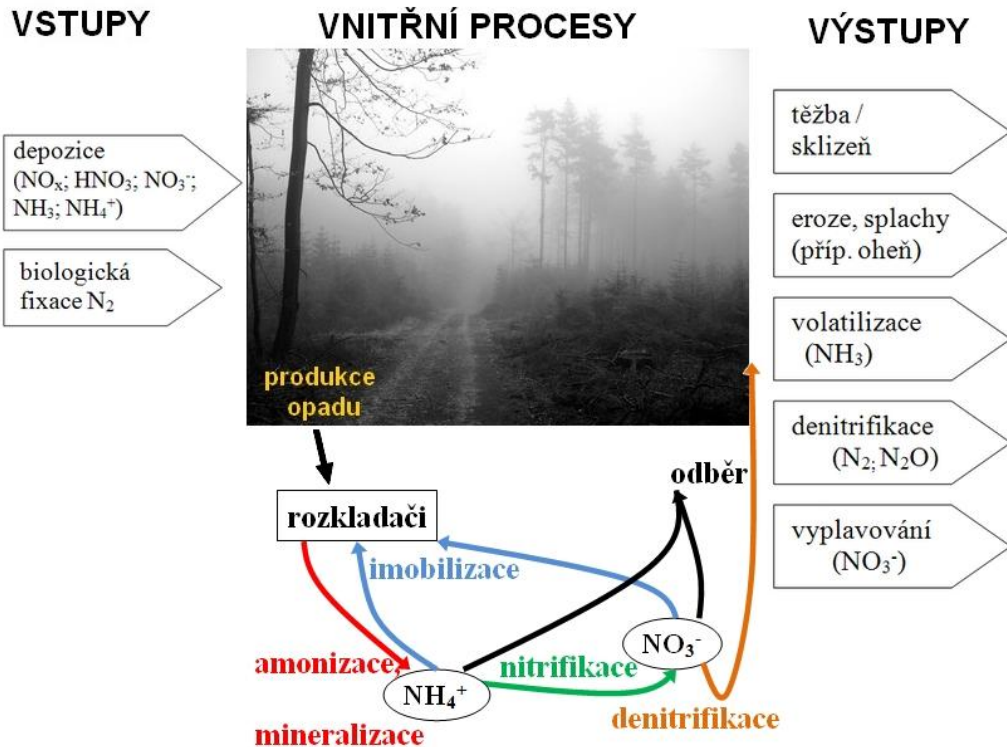
atmosféře, hydrosféře a biosféře, nicméně díky pevnosti své trojné vazby je prvkem nejméně dostupným. Jeho obsah v půdě se běžně pohybuje mezi 0,1 a 0,3 %. Roční bilance vstupů pro naše zemědělské půdy: déšť (5–40 kg), fixace (60–400 kg), mineralizace (30–270 kg), hnojiva (50–150 kg) a výstupů: vyluhováním (3–80 kg), mikrobiální sorpcí (50–300 kg), denitrifikací (2–30 kg), odčerpání vegetací (5–250 kg).

Månsson a Falkengren-Grerup (2003) ve své práci věnované lesním ekosystémům dávají do přímého vztahu vysoké atmosférické depozice dusíku, s nezvykle vysokými výkyvy mikrobiální mineralizace organického uhlíku v půdě. Studie dále poukazuje na vyčerpání akumulací kapacity umožňující vstřebat další dusíkatou zátěž. Výsledným jevem je zvýšený výstup dusíku ve formě dusičnanů (Persson et al., 2000).

Pufrační systém půdy (Ulrich, 1991)

Pufrovací zóna	rozpětí pH/H₂O	hlavní reakční produkty a důsledky
karbonátová CaCO ₃	6,2–8,6	Ca(HCO ₃) ₂ v roztoku (tj. vyplavení Ca a bazí)
silikátová primární silikáty	celé rozpětí pH, zejména při pH > 5 bez karbonátů	jílové minerály
výměnných kationtů jílové minerály	4,2–5,0	nevýměnné n[Al(OH) _x ^{(3-x)+}] (blokování trvalého náboje, snížení kationtové vým.kapacity)
Mn oxidů jílové minerály		Výměnný Mn ²⁺ (snížení nasycení bazemi), výměnný Al ³⁺ (snížení nasycení bazemi)
hliníku mezivrstevný Al, Al-hydroxy-sírany	< 4,2 (3,0–4,2)	Al ³⁺ v roztoku (translokace hliníku, redukce permanentního náboje)
hliníku/železa jako u pufračního systému hliníku za přítomnosti Fe(OH) ₃	< 3,8	výměnný H ⁺ a Fe, organické komplexy se železem (translokace železa, vybělení)
železa	< 3,2	výměnný H ⁺ a Fe (translokace železa,

Ad. **zóna silikátová**, zvýšený vstup vodíkových iontů je tlumen v procesu rozkladu primárních silikátů. Při pH pod 5,5 již dochází k poruchám ve výživě většiny polních plodin, pH je ale stále ještě optimální např. pro lesní porosty.



Zjednodušený model cyklu dusíku v ekosystému. Je znázorněno propojení vnitřního cyklu dusíku vstupy a výstupy s okolím (s vnějším cyklem N)

Některé negativní důsledky acidifikace:

- redukováná, méně aktivní populace půdních mikroorganismů, což zpětně zpomaluje dekompozici rostlinných zbytků a koloběhy základních rostlinných živin. Nejvíce postiženy jsou horské oblasti s vysokými srážkami, velkou lesnatostí a převážně nízkou pufrací (tlumivou) kapacitou půd v důsledku pomalého zvětrávání minerálů a nízké nasycenosti půdy bazickými kationty.
- aktivizace patogenních a jiných hub v půdě s následným rozvojem chorob rostlin, snížení počtu a aktivity hlízkových bakterií, snížení nitrifikační schopnosti půd,
- **zpomalení uvolňování minerálního dusíku** z organické hmoty a humusu v půdě
- **zhoršení půdní struktury** a provzdušněnosti tvorbou nekvalitního humusu
- **snížení efektivity použitých hnojiv, zhoršení úrodnosti:** pokusy z let 1996–1998 hodnotící vliv pH a hnojení dusíkem na produktivitu ječmene jarního (cv. Jubilant) ukázaly, že všechny hodnoty hnojení N byly na neutrálních půdách efektivní, s výnosem lehce stoupajícím (až po dávku 60 kg N/ha). Na extrémně kyselých

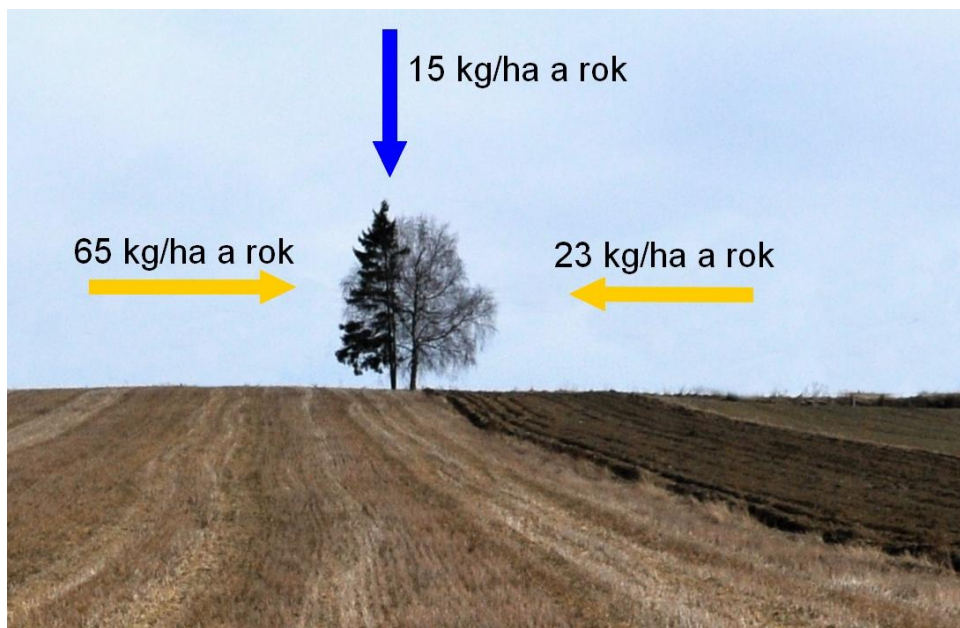
půdách však docházelo k blokování dusíku, který limituje výnos (Hejnak et al., 2001). Stanovení obsahu minerálního dusíku nepodává dostatečnou informaci o dostupnosti dusíku pro rostliny, která je generována mikrobiální aktivitou.

- většina aplikovaného minerálního N je bezprostředně imobilizována půdními mikroorganismy a provázena zvýšenou aktivitou mikroorganismů spojenou s úbytkem snadno metabolizovatelných organických látek a tím i s negativním vlivem na obsah a kvalitu humusu v půdě (převaha FK nad HK)
- **snížení klíčivosti semen** a snížení výnosu kulturních plodin
- snížená dostupnost bazických kationtů vede ke **snížení odolnosti rostlin vůči suchu a mrazu**
- **snížení sorpční kapacity a pufovitosti**
- **snížení příjmu fosforu** (jeho petrifikace ve formě variscitu a strengitu) **a bóru rostlinami**
- **deficience draslíku a jeho uvolňování do půdního roztoku**
- **zvýšená mobilita těžkých kovů** a jejich zvýšená akumulace v rostlinách, toxicita hliníku a poškozování kořenů rostlin,
- zvýšení rizika **eroze** rozpadem struktury

Vazby mezi procesy produkce a spotřeby H⁺ iontů v ekosystému (De Vries, Breeuwsma, 1987, upraveno)

Procesy produkce H ⁺ iontů	Procesy spotřeby H ⁺ iontů
odběr kationtů	odběr aniontů
mineralizace aniontů	mineralizace kationtů
oxidační reakce	redukční reakce
disociace slabých kyselin (oxid uhličitý, organické kyseliny)	asociace slabých kyselin (oxid uhličitý, organické kyseliny)
zvětrávání, desorpce aniontů, procesy srážení, adsorpce kationtů	zvětrávání, desorpce kationtů, procesy srážení, adsorpce aniontů

Míra acidifikace bude tedy závislá na biochemických procesech uvnitř ekosystému a pufrací kapacitě dané půdy (tedy na stavu zásob bazických kationtů, obsahu humusu, hloubce půdy, složení matečné horniny apod.).



Ilustrační vstup kyselých atmosférických depozic síry do ekosystému a do půdy: průměrně padá v ČR za rok na jeden hektar 15 kg síry v rámci mokré depozice (deštěm). V rámci suché depozice dostává navíc smrkový porost 65 kg síry na hektar, u listnatého lesa je to „jen“ 23 kg síry na hektar. Disproporce je způsobena menší listovou plochou listnatého lesa oproti jehličnatému, která se navíc v zimním období ještě zmenšuje (foto V. Vlček).

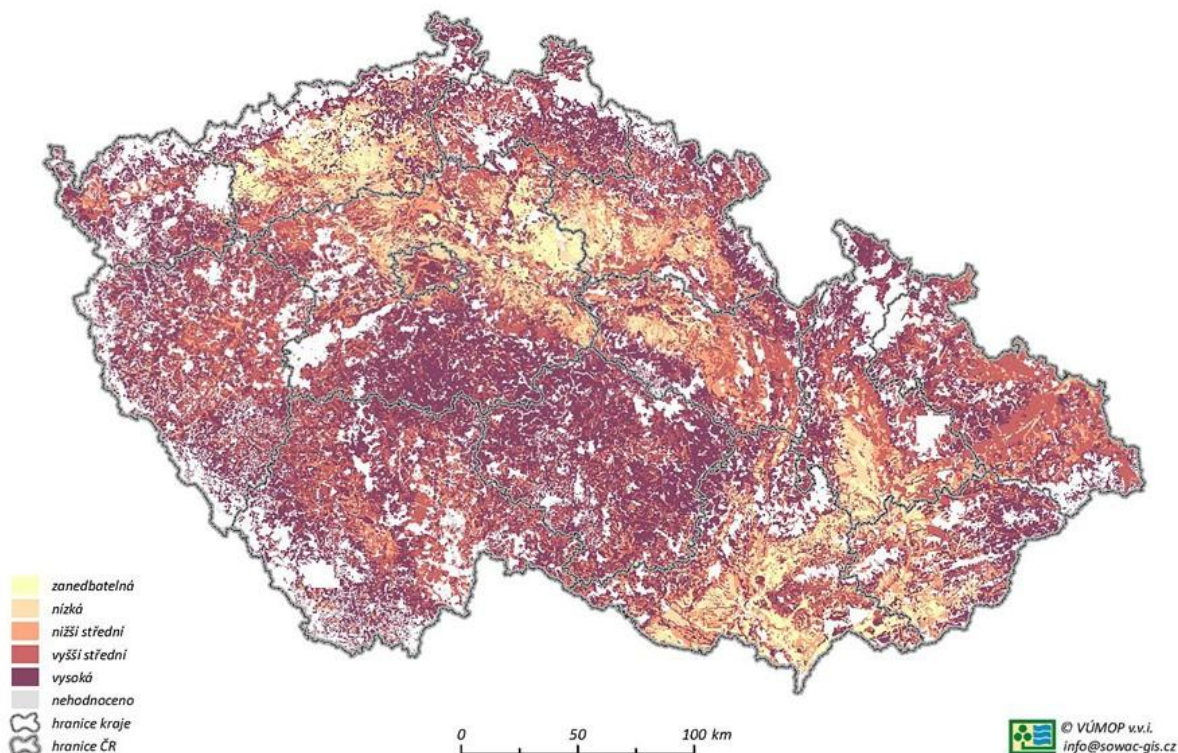
Současný stav a rozšíření acidifikace v ČR

Nejvyšší hodnoty depozic síry jsou odhadovány na konci sedmdesátých a v první polovině let osmdesátých. V této době byla dobudována soustava uhelných elektráren v podkrušnohorských pánvích, přičemž se začala zhoršovat i kvalita těženého hnědého uhlí. V této době rovněž kulminovaly emise oxidů síry ve zbytku Evropy. Pokles reálného znečištění lze v osmdesátých letech dvacátého století zaznamenat jen v západní a jihozápadní části Čech (Český les, Šumava, Slavkovský les a část Krušných hor). Pokles kyselých depozic, zvláště po roce 1989, není ovšem provázen přímo úměrnou změnou půdní reakce v odtékajících povrchových vodách. Příčinou tohoto stavu je zejména pokles neutralizační schopnosti půd v současnosti ve srovnání se stavem v počátcích okyselování (zásoba bazických kationtů v půdě byla vyčerpána).

Do roku 1975 nedokázala spotřeba vápenatých hnojiv pokrýt potřebu vápnění odvozenou z půdních rozborů a podíl kyselých orných půd tak vzrostl z 28 % na 34 %. Do roku 1989 se tento stav výrazně zlepšil (podíl kyselých půd klesl na 15 %). Následovalo prudké snížení aplikovaných dávek vápenatých hmot po roce 1989, které se ale dosud negativně neprojevilo na půdní reakci. Průměrná hodnota půdní reakce orných půd v ČR je 6,4. Příčinou této stagnace půdní reakce po roce 1989 mohlo být pomalé uvolňování vápníku z dřívě

aplikovaných (často hrubě mletých) vápenatých hnojiv, nižší působení okyselujících faktorů tj. nízká intenzita minerálního hnojení a nižší podíl kyselých spadů (Klement a Sušil, 2005). S ohledem na zhoršující se zdravotní stav našich lesů nicméně pověřila vláda usnesením č. 532/2000 Ministerstvo životního prostředí, aby vypracovalo studii “Návrh komplexního a systémového řešení směřujícího k zastavení degradace lesních půd pod vlivem imisí”. Výsledkem je rajonizace území do čtyř základních skupin (klasifikovaných jako zóny): zóna extrémně narušených půd (2 % plochy ČR); silně narušených půd (12 %); středně narušených půd (53 %); mírně narušených půd (32 %). Extrémně narušené oblasti je nutno považovat za silně problémové i do budoucna i při redukci emisí, imisí a depozice. I když je odumírání lesa stále spojováno s účinky kyselých depozic, je velmi nepravděpodobné, že by byl nalezen jeden „rozhodující“ faktor, který poskytne univerzální vysvětlení odumírání lesa (Longhurst et al., 1993). Současné studie vlivu acidifikace se proto soustřeďují na vyhledávání vztahů mezi rozhodujícími příčinami a následky jako jsou desorpce a mineralizace síry, bazických kationů, procesy spojené s přeměnami dusíku v ekosystému, případně následky klimatických změn (Bull et al., 2004).

Potenciální zranitelnost půd acidifikací



Potenciální zranitelnost půd vůči acidifikaci, za povšimnutí stojí rozsah ploch „Zanedbatelné zranitelnosti“ (žlutá barva), který můžete srovnat s rozsahem ploch spraše v kapitole o větrné erozi.

Opatření proti acidifikaci

V rámci úpravy půdní reakce na příznivé hodnoty u našich zemědělských půd do hloubky 20 cm by bylo třeba aplikovat necelých 6 milionů tun CaO (dávka melioračního vápnění na hlinité půdě pro úpravu pH v hloubce 0–20 cm při pH 6,2–6,5 je 1,4 tuny CaO/ha). Ani při dodání uvedeného množství vápenatých hmot se však nedá počítat s trvalým zlepšením, pokud současně nedojde ke změně v současnosti používaných způsobů kultivace půd. Každoročně se totiž z každého hektaru produkčních ploch vyplaví, odveze, či je použito na neutralizaci kyselých vstupů přibližně 200 kg Ca. V roce 2004 bylo, ale průměrně na půdu aplikováno pouze 34 kg vápníku na hektar, nepoměr je tedy více než zřejmý.

- určitým řešením by bylo snížení aplikace minerálních forem N do půdy (nikoliv organických N-hnojiv s poměrem C:N vyšším než 25:1 a nikoliv jiných hnojiv zohledňující odběr rostlinstvem).
- zařazení rostlin z čeledi vikvovitých do osevních postupů (umožňují obohacení ekosystému i o více než 200 kg N v daném roce),
- vápnění, stanovení jeho dávky se dělá obvykle výpočtem z výměnné půdní reakce. Je nutné znát výměnnou půdní reakci pozemku, jeho výměru, druh vápenaté hmoty, hloubku ornice a objemovou hmotnost ornice. Buď provádíme meliorační vápnění (dávka vápnění, která je spolu s udržovacím vápněním schopna zvýšit a udržet požadovanou hodnotu pH), nebo udržovací vápnění (vyrovnává meziroční ztráty vápníku po melioračním vápnění).

ZASOLOVÁNÍ PŮD (SALINIZACE - SODIFIKACE)

Vodorozpustné soli, nejčastěji sodíku, případně hořčíku, které způsobují zasolení, se v půdě mohou hromadit různými způsoby. Z přirozených pochodů je to vulkanická činnost (uvolňováním zejména sloučenin chlóru a síry), resp. postvulkanické přeměny jako například zvětrávání hornin bohatých na vodorozpustné sloučeniny uvolněné při vulkanické činnosti. Rylit, andezitové tufy, plagioklasy a další obsahují velké množství uhličitánů a hydrogenuhličitánů (Na_2CO_3 , NaHCO_3), které se mohou v závislosti na podnebí, morfologii a hydrologii daného území hromadit v půdách. Druhotným přirozeným zdrojem solí bývají usazené horniny (např. mořské usazeniny), povrchové a podzemní vody, atmosféra apod. Problém zasolování půd vlivem lidské činnosti, je často spojen s nadměrným používáním minerálních hnojiv či použitím nevhodné závlahové vody.



Vysrážené soli na povrchu půdy (foto V. Vlček).

Pro většinu zemědělských plodin se **nebezpečnost** snižuje v pořadí: $\text{MgCl}_2 > \text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{CaCl}_2 > \text{MgSO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4$. Soli CaSO_4 , MgCO_3 , a CaCO_3 jsou škodlivé jen při vyšších koncentracích. Pro škodlivost nicméně není podstatná koncentrace, ale především druh solí: NaCl a MgCl_2 poškozují rostliny od koncentrací 0,1% v sušině, uhličitany a hydrogenuhličitany sodíku dokonce již od 0,05 %.

Při nízkých koncentracích nezpůsobují tyto sloučeniny v půdě vážnější problémy, při vyšších koncentracích však mohou vést k výraznému omezení využívání půdy. Jako nezasolené se označují půdy s koncentrací pod 0,2 % vodorozpustných solí v sušině, nebo elektrickou vodivostí vodného roztoku menší než 4 mS/cm

Klasifikace půd dle zasolení

Základní hodnocení elektrické vodivosti (EC) (Gardner et al., 1999)

skupina podle USDA	hodnocení	EC _{SE} (dS/m)	celková konc. soli v %	reakce plodin
0	nezasolené	0–2	<0,15	dopady salinity jsou zanedbatelné s výjimkou nejvíce citlivých rostlin
1	slabě zasolené	4–8	0,15–0,35	úrodnost většiny plodin je omezena
2	středně zasolené	8–15	0,35–0,65	dostatečně plodí jen odolné rostliny
3	silně zasolené	>15	>0,65	dostatečně plodí jen velmi odolné rostliny

Mezi velmi tolerantní plodiny vůči zasolení můžeme zařadit cukrovku, ječmen; mezi citlivé plodiny pak například fazol, jetel, mrkev, salát.

K hromadění vodorozpustných solí v půdě dochází, pokud jsou jejich vstupy do půdy vyšší, než je jejich vymývání. Voda je obvykle zdrojem obou těchto procesů (přísunu solí i jejich vymývání), soli se ale začínají hromadit obvykle v případech, kdy se voda odpařuje z povrchu půdy a zanechává tyto soli na povrchu nebo těsně pod povrchem půdy. Z tohoto důvodu je zasolení konstantní nebezpečí pro suché a polosuché oblasti, kde převažuje výpar nad infiltrací. Použití nekvalitní vody na zavlažování (tj. s vysokou úrovní rozpustných solí), případně používání nevhodných, či příliš vysokých dávek minerálních hnojiv se proces hromadění solí ještě dále urychluje.

Dělení zasolení:

Salinizace je vysoká úroveň solí v půdním roztoku. Nejčastěji se jedná o kationty vápníku (Ca^{2+}), hořčíku (Mg^{2+}), či sodíku (Na^+) ve sloučeninách s Cl^- (chloridy), sírany (SO_4^{2-}) a hydrogenuhličitanu (HCO_3^-).

K **sodifikaci** půdy dochází v případech „přebytku“ výměnného sodíku a následné degradaci fyzikálních vlastností půdy.

Charakteristika půd postižených salinizací a sodifikací (Thien, Graveel, 2003)

	normální půda	salinizace	sodifikace	salinizace- sodifikace
pH	< 8,5	< 8,5	> 8,5	< 8,5
elektrická vodivost (mS/cm)	< 4,0	> 4,0	< 4,0	> 4,0
obsah výměnného sodíku (%)	< 15	< 15	> 15	> 15



NPR Mohelenská hadcová step, kde najdete hadec, resp. serpentinizovaný peridotit Iherzolit. Z půd zde můžete najít hořečnatý ranker nebo h. kambizem. Limitujícím faktorem je nadbytek hořčíku a těžkých kovů (Ni, Cr), a relativní nedostatek vápníku, dusíku, draslíku a dalších prvků. Uvedené způsobuje nanismy, přičemž zhruba 130 leté smrky mají podobný průměr kmene jako 45 leté smrky na okolních ne-hadcových lokalitách (foto V. Vlček).

Tolerance plodin vůči zasolení

Zasolení způsobuje problémy zvyšováním osmotického tlaku. To znamená, že rozpuštěné ionty v půdním roztoku přitahují molekuly vody a rostliny musí vynaložit další energii na získání takto vázané vody. Rostliny vykazují značnou variabilitu ve své toleranci k zasolenosti v závislosti na celkových podmínkách vody v půdě, typu soli, fázi vývoje apod.

Velmi citlivý proces na obsah solí je vlastní klíčení rostlin. Při posuzování vhodnosti vody a půdy pro zavlažování je také třeba vzít v úvahu toleranci jednotlivých plodin vůči zasolení.

Tolerance vybraných plodin k zasolení (podle Gupta, Abrol, 1990, upravil Šarapatka)

plodina	tolerance [mS/cm]	50% výnos [mS/cm]
ječmen	8,0	18,0
cukrovka	7,0	15,0
pšenice	6,0	13,0
sója	5,0	7,5
rajčata	0,5	7,6
kukuřice	1,7	5,9
vojtěška	2,0	9,0

Negativní dopady zasolení

Při zdvihu podzemních vod a následném vypařování, dojde ke krystalizaci solí v půdě mělce pod povrchem, či přímo na povrchu v podobě solného výkvětu. V důsledku vysokého zastoupení iontů sodíku nebo draslíku pak dochází k tzv. peptizaci koloidů (tj. ztrátě půdní struktury, zničení půdních agregátů apod.). Půda se tím pádem za sucha stává náchylnější k větrné erozi, naopak za vlhka dochází k poměrně rychlému rozplavení povrchových částí, voda špatně vsakuje a odtéká po povrchu (tj. zvýšené riziko vodní eroze).

Kvantifikace zasolení

Závlahová voda, případně samotná půda v rizikových oblastech by měla být analyzovaná na:

- koncentraci vodorozpustných solí stanovením **elektrické vodivosti** (EC). Čistá voda je sama o sobě špatný vodič elektrického proudu, vodivost ale významně zvyšují ve vodě rozpuštěné ionty. Existuje tedy pozitivní vztah mezi koncentrací solí v roztoku a velikostí elektrické vodivosti. Běžně se uvádí v deciSiemens na metr (dS/m), případně miliSiemensch na centimetr (mS/cm). Hranice pro nezasolenou půdu jsou 4mS/cm.
- adsorpčního koeficientu sodíku (SAR = sodium adsorption ratio). Hodnota SAR je míra relativní koncentrace sodíku ke koncentraci dvojmocných kationtů (vápníku a hořčíku). SAR lze vypočítat z následující rovnice:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

kde Na, Ca a Mg jsou vyjádřeny v milimolech na litr (mmol/l).

Hodnocení SAR je prováděno na základě analýz vody. Vysoké koncentrace sodíku v závlahové vodě mohou vést k degradaci půdní struktury, snížení infiltrace vody do půdy a omezení aerace. Pokud poměr SAR stoupne nad 12 až 15, nastávají již

obvykle vážné problémy u fyzikálních vlastností půdy (struktura, infiltrace) a rostliny mají potíže s absorpcí vody (Munshower, 1994).

Rozšíření zasolení v Evropě

Zasolování půd se v Evropě týká asi 4 milionu hektarů, přičemž nejvíce je ohrožena Kampánie, údolí řeky Ebro a Velká uherská nížina. Škody způsobené zasolováním v nejpostiženějších zemích EU se odhadují na 150 až 300 milionů euro (Šuta, 2008).

Rozšíření zasolení v ČR

Zasolení se váže v České republice pouze na oblast jižní Moravy. Na zasolené půdy zde upozornili již v 30. letech 20. století Novák a Maláč. Obecně jsou označovány jako sulfátové zasolené půdy. Vyskytují se v menších nadmořských výškách výjimečně přesahujících 200 m n.m. Nejtypičtější síranově zasolené půdy, především ve formě solončakované černozemě se vyskytují v oblasti hustopečské pahorkatiny. Další lokality se nacházejí na aluviích řek mezi Rokytnicí a Jevišovkou a na aluviu řeky Dyje. Menší lokality lze najít i na dalších aluviích (Sedlák, 1981).

Opatření proti zasolování

Metod zúrodňování zasolených půd existuje celá řada, obvykle zohledňují druh a úroveň zasolení jako jsou např.:

- **drenážování** – obvykle v případech kdy je profil ovlivňován vztlínající mineralizovanou podzemní vodou.
- **meliorační osevní postupy** – mají za úkol vytvořit drobtovitou strukturu, obohatit půdu o živiny a organickou hmotu.
- **hluboká orba + podryvání** (jednou za 3 – 4 roky)
- **závlahy** – nekontaminovanou vodou se vyplaví přebytky solí z profilu
- **střídání TTP a orné půdy** (po 4 letech) – TTP svým bohatým kořenovým systémem umožňují vytvářet půdní strukturu a zlepšit fyzikální vlastnosti.
- **aplikace vyšších dávek organických hnojiv** (40–50 t/ha)
- **aplikace některých minerálních hnojiv na vytěsnění solí z povrchových vrstev** (sádra, sulfitové výluhy apod.) a úpravu pH

KONTAMINACE PŮD

Kontaminace je proces znečišťování životního prostředí polutanty (látka, substance nebo prvek, který znečišťuje prostředí), (Visser, 1993).

Kontaminace z hlediska vzniku může být původu:

- přírodního,
- technogenního
- kombinace obou výše uvedených

Při řešení problematiky kontaminace životního prostředí se obvykle řeší:

- zdroj polutantu
- způsob a formy přenosu polutantu do prostředí;
- působení a délka přetrvání v životním prostředí.

Potenciálně rizikové prvky se mohou do půdy dostat několika způsoby. Přirozené (tzv. pozadové) obsahy rizikových prvků jsou dány jejich obsahem v půdotvorném substrátu. Zvýšené koncentrace rizikových prvků se váží obvykle na specifické horniny, v takových případech hovoříme o půdách geogenně anomálních. Jde o půdy vyvinuté na substrátech s přirozeně zvýšeným obsahem rizikových prvků. V České republice byly vytipovány celkem tři skupiny geogenně anomálních půd:

- půdy ze svahovin bazických (např. čedič), a ultrabazických hornin (např. hadec), se zvýšenými obsahy zejména Ni, Cr, Co a V (jde především o kambizemě),
- půdy ze svahovin kyselých vyvřelých nebo metamorfovaných hornin s projevy zrudnění (metalogenní zóny), se zvýšenými obsahy zejména As, Cu, Zn, Pb, (opět zejména kambizemě)
- půdy ze svahovin produktů zvětrávání vápenců se zvýšenými obsahy zejména Cd, dále i Cr, Ni (rendziny, částečně pararendziny).

Rizika spojená s kontaminací půd cizorodými látkami a potenciálně rizikovými prvky, začala vystupovat do popředí lidského zájmu, zejména v návaznosti na kontaminace půdy v okolí průmyslových center nebo aplikací čistírenských kalů do půd. Začalo být zřejmé, že už nelze vystačit pouze s přístupem, kdy je půda chápána pouze jako médium potřebné pro produkci potravin bez dalších souvislostí. Půda začala být v tomto kontextu považována za mnohem složitější, ale také zranitelnější médium, než jen jako pouhý „mezistupeň“ rizikových látek, které vstupují do potravního řetězce.

Obecně je sice plošná zátěž našich zemědělských půd rizikovými prvky nízká, byly ale nalezeny bodově zvýšené obsahy některých rizikových prvků (severní Čechy a severní

Morava), případně v horských oblastech (kombinace antropogenní imisní zátěže a zátěže geogenní).

Koncentrace chemických prvků (mg/kg) v různých hmotách (Hraško, Bedrna, 1988)

prvek	silikátové horniny	půda	vápenec	superfosfát	kaly	ropa
Cd	0,1–5	0,1–1	0,1–2	7,3–175	0–10	0,02
Cr	10–25	2–15	920	66–243	1–68	-
As	1–13	1–10	1–4	2–1 200	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

Antropogenní vstupy rizikových prvků do půd mají svůj původ v procesech, spojených s lidskou činností, jako je například:

zemědělství	emise	radioaktivní kontaminace	odpady	vojenskou činností
pesticidy	průmyslové	havárie	průmyslové	
hnojiva	energetické	testy	zemědělské	
komposty	dopravní	těžba	komunální	
závlahy	lokální zdroje (komunální)	energetika	kaly	
eroze			sedimenty	

Jako závažný zdroj těžkých kovů, případně organických polutantů jsou v současné době považovány kaly z ČOV, resp. jejich aplikace do půdy. Proto byly stanoveny limitní hodnoty obsahu těžkých kovů (viz. Zákon 382/2001 Sb., příloha č.3).

riziková látka	maximální hodnota koncentrace v kalech (mg/kg) v sušině
As	30,0
Cd	5,0
Cr	200,0
Cu	500,0
Hg	4,0
Ni	100,0
Pb	200,0
Zn	2 500,0
AOX	500,0
PCB*	0,6

* suma šesti kongenerů 28,52,101,138,153,180.

Za poměrně specifický, člověkem pouze částečně ovlivnitelný, lze považovat vstup polutantů do půd v záplavových pásmech, případně jejich ukládání v sedimentech na dně nádrží a vodních toků.

Obsah, pohyb a akumulace vybraných rizikových prvků v půdách

Rizikové prvky se mohou do půdy dostat přirozeně, nebo vlivem antropogenní činnosti. *Přirozené (přírodní) zdroje* zahrnují prvky či sloučeniny, které se do půdy dostávají zvětrávacími procesy z matečného substrátu, atmosférickou depozicí, vulkanickými procesy apod. *Antropogenně* pak zejména činnostmi spojenými se spalováním fosilních paliv, průmyslovou výrobou, haváriemi, ale i zemědělskou činností (např. v minulosti hojně používaným superfosfátem z Afriky, který byl však poměrně výrazně kontaminovaný arzénem, kadmíem, rtuťí a dalšími látkami viz Tabulka Koncentrace chemických prvků (mg/kg) v různých hmotách.

Nebezpečí rizikových prvků souvisí zejména s jejich dlouhodobým setrváním v přirozených cyklech v prostředí, a jedovatosti i ve velmi malých množstvích v rámci potravního řetězce. Experimentálně bylo dokázáno, že podlimitní obsah rizikových látek v půdě ještě nezajišťuje podlimitní hodnoty v pěstovaném produktu. Příjem rizikových látek rostlinami je totiž závislý na druhu rostliny případně na půdních vlastnostech (tj. zda je látka mobilní či nikoliv).

V půdách se nacházejí rizikové prvky v různých formách a jejich obsah i dynamiku ovlivňuje množství faktorů, (Beneš, 1993):

- **faktory statické:** matečná hornina, klimatické podmínky, morfologie terénu (člověk je může ovlivnit jen velmi omezeně)
- **faktory dynamické:** obsah a kvalita humusu, půdní reakce, zrnitost, propustnost, sorpční kapacita, mikrobiální aktivita, atd.

Dělení

Můžeme rozlišit v zásadě dvě velké skupiny kontaminantů:

- **stopové, neboli esenciální prvky** jde o chemické prvky, které jsou v organismu nenahraditelné (metabolismus, enzymy apod.). V nadměrných koncentracích však mohou tyto prvky působit v organismech toxicky.
- **rizikové látky** vyvolávají toxický účinek již v malých koncentracích, dělí se na:
 - **těžké kovy** - jejichž objemová hmotnost je vyšší než 5 g/cm³. (pozor ale: Be je toxický kov, ale ne těžký kov; Fe a Mn jsou těžké kovy, ale ne toxické kovy, je třeba rozlišovat).
 - **perzistentní organické polutanty (tzv. POP's)** zahrnují velké množství organických sloučenin s toxickými účinky a často i dlouhou dobou rozpadu v prostředí.

Pozadové hodnoty

Jak je uvedeno již v kapitole o chemických vlastnostech, podílí se přibližně 89 prvků na stavbě půd. Hranice pozadových a maximálně přípustných celkových obsahů prvků v půdách ČR :

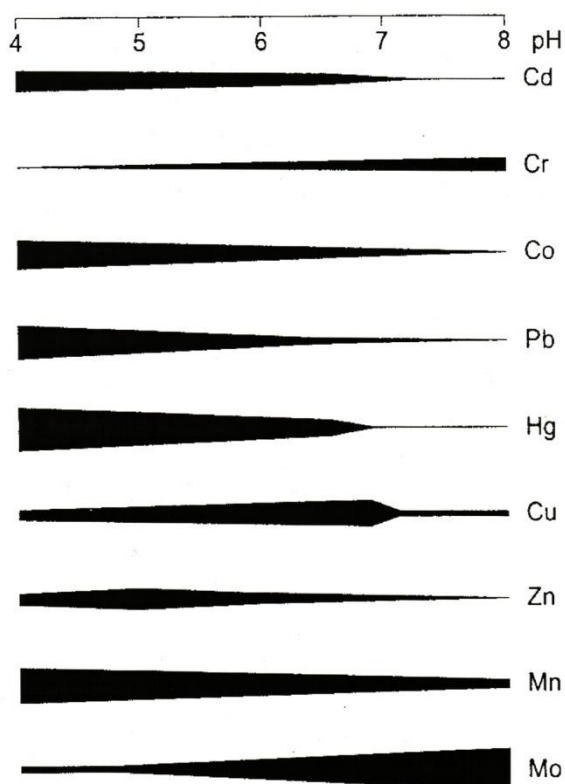
Hranice pozadových a maximálně přípustných celkových obsahů prvků v půdách ČR (mg/kg) (In: Beneš, 1993)

prvek	hranice pozadových hodnot		maximální přípustné obsahy	
	lehké půdy	ostatní půdy	lehké půdy	ostatní půdy
As	10,0	20,0	30,0	30,0
Be	1,5	3,0	7,0	7,0
Cd	0,3	0,4	0,4	1,0
Cr	85,0	130,0	100,0	200,0
Cu	45,0	70,0	60,0	100,0
Hg	0,3	0,4	0,6	0,8
Pb	60,0	80,0	100,0	140,0
Zn	90,0	150,0	130,0	200,0

Za nejnebezpečnější rizikové prvky se v současnosti považují: kadmium (Cd), olovo (Pb), rtuť (Hg), chrom (Cr), arzén (As) případně organické sloučeniny cínu (Sn). Za další rizikové prvky, se ale například považují i nikl (Ni), molybden (Mo), měď (Cu), zinek (Zn) a další.

Mobilita těchto prvků je obvykle podmíněná změnou: půdní reakce, oxidačně-redukčního potenciálu, aktivity půdního edafonu, kvality a množství organické hmoty apod.

Těžké kovy (příklady některých prvků)



Mobilita prvků v závislosti na pH

kadmia schopno migrace. Na zvýšené koncentrace reagují citlivě špenát, sója, tabák.

Chrom (Cr)

Toxicita chrómu je závislá na oxidačním stupni (Cr^{6+} je toxičtější). Prokázány mutagenní a karcinogenní účinky. Všeobecně se sorpce chrómu v půdách směrem od kyselé reakce k alkalické při Cr^{3+} zvyšuje a při Cr^{6+} snižuje. Vzájemné změny Cr^{3+} na Cr^{6+} jsou především mikrobiálního charakteru, v přítomnosti lehké rozložitelné organické hmoty.

Rtuť (Hg)

Velmi silně se akumuluje v sedimentech. Pomocí mikroorganismů může docházet k metylaci za vzniku těkavých mimořádně toxických sloučenin. Rtuť se akumuluje, vzhledem k její těkavosti, zejména v horizontech bohatých na organickou hmotu. Je mimořádně toxická pro

Arzén (As)

Z hlediska životního prostředí je tento prvek problematický pro vysoký akumulační potenciál v říčních sedimentech, půdách a vyšších organismech. Migrační schopnost As je podobná síře. Do půdy se dostával mimo jiných zdrojů (spalovny, teplárny) ve formě arzénových pesticidů.

Kadmium (Cd)

Zdrojem jsou emise (energetika, doprava, metalurgie, průmysl) a v zemědělství pak aplikace fosforečných a vícesložkových hnojiv a čistírenských kalů. Pohyb kadmia v půdním profilu ovlivňuje zejména půdní reakce, při pH 4,0–5,5 je až 80 %

člověka. Do půdy se dostává formou rtuťových fungicidů a mořeným zrnem (Šindelářová, 1988).

Olovo (Pb)

V půdě je olovo málo mobilní (tvoří poměrně stabilní, nemobilní olovnaté sloučeniny), proto ho najdeme pouze do určité vzdálenosti od větších silnic. Poměrně dobře se sorbuje na jílovou koloidní frakci a humus. Příjem olova se snižuje vápněním a organickým hnojením vyzrálými komposty. Až 80 % olova v rostlinách pochází z imisí přes atmosféru (Beneš, 1993).

Zinek (Zn)

V kyselém prostředí je adsorbce Zn^{2+} snižena jinými kationy, což vede k vymývání a lehké mobilizaci. V alkalickém prostředí je zase rozpustnost ovlivněna organickými nosiči, které mohou způsobit větší rozpustnost. Toxicita zinku se projevuje zejména v kyselých půdách a při nadbytku železa. Zvýšenou inhibicí zinku způsobuje přítomnost Ca^{2+} , Mg^{2+} uhličitany, případně fosforečnany (Kolář, 1999).

Citlivost jednotlivých organismů na těžké kovy je velmi různorodá. Některé druhy jsou adaptované na abnormální koncentrace, jiné organismy poškozují již velmi malá množství. Homeostatické mechanismy probíhající v rostlinách produkují proteiny snižující toxicitu daného těžkého kovu (tzv. fytochelatiny, u zvířat se nazývají metalothiony).

Relativní toxicita vybraných rizikových látek (Tyler et al., 1992)

prvek	půdní 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

Hodnocení zatížení životního prostředí v současnosti vychází ze dvou základních přístupů (Podlešáková a Němeček, 1997):

- 1) hodnocení zvýšených vstupů polutantů do půdy ve srovnání s pozadovými hodnotami
- 2) ekologické hodnocení účinků polutantů z pohledů ohrožení:
 - a) potravního řetězce transferem z půdy do rostliny,
 - b) biologických půdních procesů,

c) zdraví člověka příjmem polutantů z půdy, vody a ovzduší.

Transferové koeficienty jsou nejběžnějšími ukazateli biopřístupnosti, založené na kvantifikaci rozdílů biopřístupnosti kovů pro rostliny.

Organické polutanty

Mezi organické polutanty můžeme zařadit zejména tyto látky:

- **ropu a její složky** (benzín, asphalt, bitumeny, kerosén, minerální oleje, apod.)
- **polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)**: původ je přirozený (mikrobiální syntéza, uhlí, sedimentární horniny apod.) a antropogenní (teplárny, spalování nafty, komunální vytápění). V emisích se vážou na částice prachu a s dešťovou vodou se dostávají do půdy.
- **polychlorované bifenyly (PCB)**: patří k nejjedovatějším organickým látkám vyrobeným člověkem. Současně se odhaduje jejich výroba ve světě na 1–2 mil. tun (součást trafosystémů, plastifikátory, teplotnosná média, nátěrové hmoty apod.). Limitní hodnota jednotlivých polychlorovaných bifenyly je pouze 10 µg/kg. V půdě jsou vázány zejména na humus. Škodlivost pro rostliny a mikroorganismy je méně známá.
- **chlórované uhlovodíky**: rozpouštědla, chladící směsi, narkotika, pesticidy.

Perzistence polutantů v prostředí.

Na příkladu pesticidů si ukážeme možný osud některých dalších kontaminantů, zejména těch organických. Po vlastní aplikaci se pesticidy mohou rozkládat vlivem celé řady fyzikálních, chemických ale i biologických faktorů. Jejich rozklad případně změny probíhají nejčastěji vlivem slunečního záření (fotolýzou), teploty (odpařováním), vlhkosti (hydrolýzou), vzdušným kyslíkem (oxidací), pomocí mikroorganismů na povrchu rostlin či v půdě apod.

Místa, kde se můžeme s pesticidy setkat v prostředí nejčastěji, jsou kromě exponovaných organismů, půda a voda. Pohyb pesticidů v půdě se v zásadě může uskutečňovat dvěma způsoby, a to buď difuzí, nebo s proudem vody. Voda tak obvykle slouží nejen jako transportní medium v rámci půdy, ale může jejím prostřednictvím dojít k další kontaminaci podzemních a povrchových vod.

Obecně o pesticidech platí, že jejich rychlost degradace je při optimálních podmínkách ovlivňována zejména jejich fyzikálně-chemickými vlastnostmi a faktory prostředí vstupují do popředí tehdy, pokud jsou podmínky životního prostředí extrémnější. Z uvedeného důvodu není možno hodnotit transport pesticidů v půdě jako celku.

Většina studií se shoduje, že sorpce/desorpce pesticidů v půdách souvisí především s obsahem a složením humusu případně se zrnitostí. Půdní organická hmota je ale poměrně heterogenní, takže sorpční vlastnosti závisí nejen na jejím množství, ale i na její kvalitě.

Předpokládá se nicméně, že intenzita sorpce je z 66 % tvořena organickou hmotou a z 33 % jílovou frakcí. Celkově tedy index filtrace, resp. imobilizace organických xenobiotik v půdě závisí na: množství srážek, množství a kvalitě půdní organické hmoty, hloubce humusového horizontu, obsahu jílu a hloubce půdy.

Potenciál imobilizace v půdě, jak ukazují některé pokusy, může ovlivňovat rovněž půdní reakce. Pokud je pH vodného roztoku větší, než disociační konstanta pesticidu tak dochází ve vodném roztoku k jeho disociaci a pesticid se vykytuje zejména ve formě aniontů. Ty jsou odpuzovány záporně nabitým povrchem půdních částic a koloidů a pesticid se stává v půdním prostředí mobilním.

Obecně lze říci, že čím je intenzita sorpce pesticidu či jeho rozklad nižší a čím je vyšší intenzita srážek, případně sklonitost terénu na daném území, tím je potenciální možnost horizontálního i vertikálního transportu vyšší, s rizikem kontaminace povrchových či podzemních vod.

Pokud se ještě vrátíme k těžkým kovům, tak ty jsou sorbovány v pořadí: $Pb > Cu > Zn > Ni > Cd$, ale rozdíly jsou i mezi jednotlivými jílovými minerály a půdní reakcí. V organozemích je oproti tomu pořadí sorbce poněkud jiné: $Pb > Cu > Cd = Zn > Ca$ (Alloway a Ayres, 1993). Obecně je olovo a měď sorbované silněji než zinek a kadmium (jsou slaběji vázané a tím biopřístupnější). Problematika těžkých kovů je aktuální hlavně v kyselém prostředí. Přítomnost sírníků (SO_4^{2-}) tento proces ještě akceleruje vznikem kyseliny sírové, což napomáhá další acidifikaci (Lübben, Sauerbeck 1991)

Hodnocení kontaminací

Základem pro stanovení kontaminace životního prostředí je hodnota pozadí tzv. referenční bod, který již můžeme považovat za kontaminaci. K hodnocení půd však není možné přistupovat stejně jako k hodnocení jiných homogennějších médií (hydrosféra, atmosféra), ale je nutné vycházet z více hledisek. Pro posouzení hygienického stavu půdy jsou nejdůležitější **mobilní a mobilizovatelné formy** látek, které mohou být potenciálně toxické a biopřístupné pro flóru a faunu.

Obsah rizikových prvků v půdách dle vyhlášky č. 13/1994 Sb.

je založen na rozdělení půd podle zrnitosti, na lehké a ostatní půdy a způsobu extrakce v 2M HNO₃ (poměr půdy k vyluhovačce 1:10) a v lučavce královské. Uvedená norma neplatí pro organozemě:

prvek	maximální přípustné hodnoty v 2M HNO ₃ (mg/kg)		maximální přípustné hodnoty v lučavce královské (mg/kg)	
	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	10,0	25,0
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

Uvedené údaje platí pro směsné vzorky do hloubky 0,25 m, vysušené na vzduchu do konstantní hmotnosti.

Remediace

představuje technologické postupy, zaměřené na odstranění polutantu z půdního prostředí, případně omezením jeho negativního působení v půdě. Podle šetrnosti remediačních metod vůči půdě můžeme rozlišit „tvrdé“ remediace (praní a promývání půdy kyselinami a louhy, horkou vodní párou, použití elektro-kinetických procesů, apod. kdy často dochází i k destrukci organické hmoty a mikrobiálního života) a „měkké“ remediace (použití sorbentu, stimulaci mikrobiální činnosti, vápnění, použití zelených a organických hnojiv, fytoremediace apod.). Metody je vhodné volit dle rozsahu kontaminace, ekonomické dostupnosti, způsobu využití plochy apod. V současnosti nabývá stále více na významu fytoremediace, neboli využití schopnosti některých rostlin akumulovat těžké kovy a to v koncentracích nad 0,1 hm. % v sušině (výjimkou je Zn kde je uváděna koncentrace nad 1 %, Cd nad 0,01 % a Au nad 0,0001 %). Pro rostliny se používá termín metalofyt. Jednou z často studovaných metalofytů akumulující Zn a Cd je Penízeček modravý (*Thlaspi caerulescens*). Poměrně vysoké hodnoty akumulace jsou známy i u některých druhů rodu *Brassica* (olovo), *Helianthus annuus* L. (Cd,

Pb a Zn); případně *Zea mays* L. (Cd, Ni, Cu, Zn). Hyperakumulátory jsou minoritní složkou vegetace, v současnosti je známo přibližně 400 druhů těchto rostlin. Fytoakumulace je metoda založená na příjmu kontaminantu kořeny rostliny s následným transportem a akumulací v její nadzemní části, která je poté sklizena a zpracována jako odpad (Zehnálek a kol. 2010).

V současnosti probíhá i výzkum hyperakumulací u hub např. stříbra, muchomůrkou šiškovitou (*Amanita strobiliformis*), zinku rodem *Russula* (holubinky) apod. Houby totiž mohou akumulovat až o několik řádů těžkých kovů více než zelené rostliny.

PRÁVNÍ PŘEDPISY

Přehled právních předpisů zachycuje část právních předpisů, jež se vztahují k půdě.

Právní předpis číslo	Název právního předpisu
500/1990 Sb.	Zákon ČNR o působnosti orgánů České republiky ve věcech převodů vlastnictví státu k některým věcem na jiné právnické nebo fyzické osoby ve znění pozdějších předpisů
229/1991 Sb.	Zákon o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku
284/1991 Sb.	Zákon ČNR, o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech
569/1991 Sb.	Zákon ČNR o Pozemkovém fondu České republiky ve znění pozdějších předpisů
265/1992 Sb.	Zákon o zápisech vlastnických a jiných věcných práv k nemovitostem ve znění pozdějších předpisů
334/1992 Sb.	Zákon o ochraně zemědělského půdního fondu
344/1992 Sb.	Zákon ČNR o katastru nemovitostí (katastrální zákon) ve znění pozdějších předpisů
51/1993 Sb.	Nařízení vlády ČR, o způsobu finančního vypořádání za nájem pozemků přidělených pozemkovým úřadem
252/1997 Sb.	Zákon, o zemědělství
156/1998 Sb.	Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech) ve znění pozdějších předpisů
190/1996 Sb.	Vyhláška Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, kterou se provádí zákon č. 265/1992 Sb., o zápisech vlastnických a jiných věcných práv k nemovitostem, ve znění zákona č. 210/1993 Sb. a zákona č. 90/1996 Sb., a zákon ČNR č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí ČR (katastrální zákon), ve znění zákona č. 89/1996 Sb., ve znění pozdějších předpisů
275/1998 Sb.	Vyhláška MZe o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků ve znění pozdějších předpisů
327/1998 Sb.	Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich vedení a aktualizaci, ve znění pozdějších předpisů (546/2002 Sb.)

95/1999 Sb.	Zákon o podmínkách převodu zemědělských a lesních pozemků z vlastnictví státu na jiné osoby a o změně zákona č. 569/1991 Sb., o Pozemkovém fondu České republiky, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 357/1992 sb., o dani dědické, dani darovací a dani z převodu nemovitostí, ve znění pozdějších předpisů
72/1999 Sb.	Nařízení vlády, o stanovení způsobu úhrady nákladů souvisejících s vedením a aktualizací bonitovaných půdně ekologických jednotek a nákladů spojených s oceněním věcí, identifikací parcel a vyměřením pozemků
120/2000 Sb.	Zákon, kterým se mění zákon č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí České republiky (katastrální zákon), ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 284/1991 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením
256/2000 Sb.	Zákon o Státním zemědělském intervenčním fondu a o změně některých dalších zákonů
505/2000 Sb.	Nařízení vlády, kterým se stanoví podpůrné programy k podpoře mimoprodukčních funkcí zemědělství, k podpoře aktivit podílejících se na udržování krajiny, programy pomoci k podpoře méně příznivých oblastí a kritéria pro jejich posuzování
100/2001 Sb.	Zákon o posuzování vlivů na životní prostředí (EIA)
162/2001 Sb.	Vyhláška Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, o poskytování údajů z katastru nemovitostí České republiky ve znění pozdějších předpisů
253/2001 Sb.	Zákon, kterým se mění zákon č. 95/1999 Sb., o podmínkách převodu zemědělských a lesních pozemků z vlastnictví státu na jiné osoby a o změně zákona č. 569/1991 Sb., o Pozemkovém fondu České republiky, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 357/1992 Sb., o dani dědické, dani darovací a dani z převodu nemovitostí, ve znění pozdějších předpisů
254/2001 Sb.	Zákon o vodách a změně některých zákonů (vodní zákon) ve znění pozdějších předpisů
500/2001 Sb.	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 505/2000 Sb., kterým se stanoví podpůrné programy k podpoře mimoprodukčních funkcí zemědělství, k podpoře aktivit podílejících se na udržování krajiny,

	programy pomoci k podpoře méně příznivých oblastí a kritéria pro jejich posuzování
139/2002 Sb.	Zákon o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů
221/2002 Sb.	Vyhláška, kterou se stanoví sazebník náhrad nákladů za odborné a zkušební úkony vykonávané v působnosti Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského, ve znění pozdějších předpisů
545/2002 Sb.	Vyhláška o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav
546/2002 Sb.	Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 327/1998 Sb., kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup při jejich vedení a aktualizaci
554/2002 Sb.,	Vyhláška, kterou se stanoví vzor žádosti o vydání integrovaného povolení, rozsah a způsob jejího vyplnění
103/2003 Sb.	Nařízení vlády, o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech
241/2004 Sb.	Nařízení vlády, o podmínkách provádění pomoci méně příznivým oblastem a oblastem s ekologickými omezeními, ve znění pozdějších předpisů
242/2004 Sb.	Nařízení vlády o podmínkách provádění opatření na podporu rozvoje mimoprodukčních funkcí zemědělství spočívajících v ochraně složek životního prostředí (o provádění agroenvironmentálních opatření) , ve znění pozdějších předpisů
308/2004 Sb.	Nařízení vlády, o stanovení některých podmínek pro poskytování dotací na zalesňování zemědělské půdy a na založení porostů rychle rostoucích dřevin na zemědělské půdě určených pro energetické využití
528/2004 Sb.	Vyhláška o požadavcích na národní referenční laboratoře a referenční laboratoře v oblasti činností v působnosti zákona o Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském
16900/2004-11000,	Pravidla, kterými se stanovují podmínky pro poskytování finanční pomoci na projekty Operačního programu Rozvoje venkova a multifunkční zemědělství
94/2005 Sb.	Zákon o zrušení Státního fondu pro zúrodnění půdy, o změně zákona č. 95/1999 Sb., o podmínkách převodu zemědělských a lesních pozemků

	z vlastnictví státu na jiné osoby a o změně zákona č. 569/1991 Sb., o Pozemkovém fondu České republiky, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 357/1992 Sb., o dani dědické, dani darovací a dani z převodu nemovitostí, ve znění pozdějších předpisů, a o změně zákona č. 252/1997 Sb., o zemědělství, ve znění pozdějších předpisů
144/2005 Sb.	Nařízení vlády, o stanovení některých podmínek poskytování jednotné platby na plochu zemědělské půdy pro kalendářní roky 2005 a 2006, ve znění pozdějších předpisů
148/2005 Sb.	Nařízení vlády, o stanovení podmínek pro poskytování dotace na nepotravinářské užití semene řepky olejné pro výrobu metylesteru řepkového oleje, ve znění pozdějších předpisů
456/2005 Sb.	Vyhláška, kterou se stanoví seznam katastrálních území s přiřazenými průměrnými základními cenami zemědělských pozemků
82/2006 Sb.	Nařízení vlády, o stanovení dalších údajů evidovaných u půdního bloku u dílu půdního bloku v evidenci využití zemědělské půdy
500/2006 Sb.	Vyhláška o územně analytických podkladech, územně plánovací dokumentaci a způsobu evidence územně plánovací činnosti
23/2007 Sb.	Vyhláška, o podrobnostech vymezení vodních děl evidovaných v katastru nemovitostí České republiky
79/2007 Sb.	Nařízení vlády o podmínkách provádění agroenvironmentálních opatření
81/2007 Sb.	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 242/2004 Sb., o podmínkách provádění opatření na podporu rozvoje mimoprodukčních funkcí zemědělství spočívajících v ochraně složek životního prostředí (o provádění agroenvironmentálních opatření), ve znění pozdějších předpisů
91/2007 Sb.	Vyhláška., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 274/1998 Sb. o skladování a způsobu používání hnojiv, ve znění pozdějších předpisů
122/2007 Sb.	Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 545/2002 Sb., o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav
219/2007 Sb.	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech

239/2007 Sb.	Nařízení vlády, o stanovení podmínek pro poskytování dotací na zalesňování zemědělské půdy
287/2007 Sb.	Vyhláška, o stanovení seznamu katastrálních území s přiřazenými průměrnými základními cenami zemědělských pozemků
333/2007 Sb.	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 80/2007 Sb., o stanovení některých podmínek poskytování platby pro pěstování energetických plodin
10/2008 Sb.	CV k pracovnímu znění zákona o oceňování majetku a oceňovací vyhlášky
35/2008 Sb.	Zákon, kterým se mění zákon č. 252/1997 Sb., o zemědělství, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 256/2000 Sb., o Státním zemědělském intervenčním fondu a o změně některých dalších zákonů (zákon o Státním zemědělském intervenčním fondu), ve znění pozdějších předpisů
99/2008 Sb.	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 242/2004 Sb., o podmínkách provádění opatření na podporu rozvoje mimoprodukčních funkcí zemědělství spočívajících v ochraně složek životního prostředí (o provádění agroenvironmentálních opatření), ve znění pozdějších předpisů
108/2008 Sb.	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech, ve znění nařízení vlády č. 219/2007 Sb.
113/2008 Sb.	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 75/2007 Sb., o podmínkách poskytování plateb za přírodní znevýhodnění v horských oblastech, oblastech s jinými znevýhodněními a v oblastech Natura 2000 na zemědělské půdě (LFA)
114/2008 Sb.	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 79/2007 Sb., o podmínkách provádění agroenvironmentálních opatření
118/2008 Sb.	Zákon, kterým se mění zákon č. 95/1999 Sb., o podmínkách převodu zemědělských a lesních pozemků z vlastnictví státu na jiné osoby a o změně zákona č. 569/1991 Sb., o Pozemkovém fondu České republiky, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 357/1992 Sb., o dani dědické, dani darovací a dani z převodu nemovitostí, ve znění pozdějších předpisů
119/2008 Sb.	Zákon, kterým se mění zákon č. 569/1991 Sb., o Pozemkovém fondu

	České republiky, ve znění pozdějších předpisů
148/2008 Sb.	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 239/2007 Sb., o stanovení podmínek pro poskytování dotací na zalesňování zemědělské půdy, a nařízení vlády č. 308/2004 Sb., o stanovení některých podmínek pro poskytování dotací na zalesňování zemědělské půdy a na založení porostů rychle rostoucích dřevin na zemědělské půdě určených pro energetické využití, ve znění nařízení vlády č. 512/2006 Sb.
180/2008 Sb.	Zákon, kterým se mění zákon č. 20/2004 Sb., kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů
181/2008 Sb.	Zákon, kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů
399/2008 Sb.	Vyhláška, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 221/2002 Sb., kterou se stanoví sazebník náhrad nákladů za odborné a zkušební úkony vykonávané v působnosti Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského, ve znění vyhlášky č. 129/2005 Sb.
412/2008 Sb.	Vyhláška, o stanovení seznamu katastrálních území s přiřazenými průměrnými základními cenami zemědělských pozemků
9/2009 Sb.	Zákon, kterým se mění zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony
11/2009 Sb.	Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 449/2006 Sb., o stanovení metodik zkoušek odlišnosti, uniformity, stálosti a užitné hodnoty odrůd, ve znění pozdějších předpisů
45/2009 Sb.	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 79/2007 Sb., o podmínkách provádění agroenvironmentálních opatření, ve znění nařízení vlády č. 114/2008 Sb.
257/2009 Sb.	Vyhláška o používání sedimentů na zemědělské půdě
335/2009 Sb.	Nařízení vlády č. 335/2009 Sb., o stanovení druhů krajinných prvků
479/2009 Sb.	Nařízení vlády č. 479/2009 Sb., o stanovení důsledků porušení podmíněnosti poskytování některých podpor (GAEC) v novelizacích: N.v. 448/2012 Sb., N.v. 264/2012 Sb., 369/2010 Sb., N.v. 264/2012 Sb.
372/2010 Sb.	Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 75/2007 Sb., o

	podmínkách poskytování plateb za přírodní znevýhodnění v horských oblastech, oblastech s jinými znevýhodněními a v oblastech Natura 2000 na zemědělské půdě, ve znění pozdějších předpisů
262/2012 Sb.	Nařízení vlády, o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu

Právní předpisy v zásadě můžeme rozdělit na:

Mezinárodní právní smlouvy

- Evropská charta o půdě (1972)
- Světová charta o půdě (1981)
- Úmluva o boji s desertifikací v zemích postižených velkým suchem a/nebo desertifikací, zvláště v Africe (UNCCD) (1994) apod.

Národní právní úpravy

a) ochrana půdy vytvořením rámce a podmínek pro využívání území v daných limitech ekologické únosnosti, např.:

- zákon o posuzování vlivů na životní prostředí (tzv. EIA, 100/2001 Sb.)
- nařízení vlády, o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech (108/2008 Sb.)
- zákon ČNR, o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech (284/1991 Sb.)

b) předpisy zaměřené na ochranu zemědělské a lesní půdy, např.:

- zákon o ochraně zemědělského půdního fondu (334/1992 Sb.)
- vyhláška o používání sedimentů na zemědělské půdě (257/2009 Sb.)
- nařízení vlády o stanovení důsledků porušení podmíněnosti poskytování některých podpor (GAEC)

c) předpisy, které chrání půdu společně s jinou složkou životního prostředí, např.:

- zákon o ochraně přírody a krajiny (114/1992 Sb.)
- horní zákon (44/1988 Sb. ve znění pozdějších předpisů)
- zákon o odpadech (185/2001 Sb.)

V roce 1972 byla výborem ministrů Evropského společenství schválena **Evropská charta o půdě**. V ní se zástupci jednotlivých států shodli, že dochází ke zvýšenému tlaku na zemědělskou a lesní půdu v mnoha částech Evropy, a to zejména emisemi, erozí a špatným hospodařením.

Evropská charta o půdě uznává, že:

- půda je omezený zdroj, který je možno snadno zničit;
- krajina má širokou škálu použití a vládou je třeba zajistit správnou plánovací strategii pro rozvoj měst a inženýrských staveb;
- zemědělci a lesníci musí zachovat kvalitu půdy;
- půda musí být chráněna před erozí a znečištěním;
- je zapotřebí dalšího výzkumu a spolupráce s cílem zajistit rozumné využívání a ochranu půdy.

V roce 1981 pak byla na zasedání FAO přijata **Světová charta o půdě**:

1. Mezi hlavní dostupné zdroje pro člověka patří krajina (země), zahrnující půdu, vodu a s ní související rostliny a zvířata. Využívání těchto zdrojů by nemělo způsobit jejich degradaci, protože přítomnost člověka závisí na jejich existenci a produktivitě.
2. Uznávajíc mimořádný význam půdního fondu pro přežití a blaho lidí a ekonomickou nezávislost jednotlivých zemí, a také kvůli rychle rostoucí potřebě větší produkce potravin, je nutné dát vysokou prioritu podpoře optimálního využívání půdy, k zachování a zvýšení úrodnosti půdy a na zachování zdrojů půdy.
3. Degradace půdy znamená částečnou nebo úplnou ztrátu produktivity půdy a to buď kvantitativně, kvalitativně, nebo obojí v důsledku procesů, jako je půdní eroze způsobená větrem nebo vodou, zasolování, zamokření, vyčerpání živin, zhoršení struktury půdy, rozšiřování pouští a znečištění. Navíc jsou denně ztraceny významné oblasti půdy na nezemědělské využití. Tento vývoj je alarmující s ohledem na naléhavou potřebu zvýšení produkce potravin, vláken a dřeva.
4. Degradace půdy má přímý vliv na zemědělství a lesnictví snížením výnosů, případně v rámci nevhodných vodních režimů. Má vliv i na další odvětví ekonomiky a životního prostředí jako celku, včetně průmyslu a obchodu, které jsou často vážně narušeny například záplavami nebo zanášením řek, přehrad a přístavů.
5. Hlavní úlohou a zodpovědností jakékoliv vlády je, aby nedopustily takové hospodaření na půdě, které nebude klást důraz na dlouhodobé udržení a zlepšení její úrodnosti a omezení ztrát úrodné půdy. Uživatelé půdy musí vlády ekonomicky zainteresovat na racionálním využívání všech půdních zdrojů, s důrazem na dlouhodobé strategie.
6. Poskytování správných pobídek na úrovni zemědělských provozovatelů, ať již ve formě technické, institucionální či ve formě právních rámců, je základní podmínkou pro dosažení dobrého využití půdy.

7. Asistence zemědělcům, případně dalším uživatelům, by měly být praktické a měly by podporovat přijetí opatření pro dobré zacházení s půdou.

8. Některé struktury držby půdy mohou být překážkou pro přijetí ochrany půdy. Měli bychom hledat způsoby a prostředky k překonání těchto překážek, s ohledem na práva vlastníků nebo nájemců půdy, v souladu s doporučeními Světové konference o agrární reformě a rozvoji venkova.

9. Uživatelé půdy a široká veřejnost, by měli být informováni o nutnosti a způsobech, jak zlepšit produktivitu půdy a zachovat její úrodnost. Zvláštní důraz by měl být kladen na vzdělávání, nástavbové studium a odbornou přípravu zemědělských pracovníků na všech úrovních.

10. Aby bylo zajištěno optimální využití půdy, je důležité, aby půdního fond dané země byl posuzován z hlediska vhodnosti v různých úrovních vstupů, pro různé druhy využití půdy, včetně zemědělství, pastevectví a lesnictví.

11. Pro dosažení cíle, kterým je optimální využívání půdy je důležité, aby byly půdní zdroje hodnoceny podle své vhodnosti pro různé typy využívání. Ty půdy, které jsou vhodné pro širší spektrum využití, by měly být využity tak, aby nebyla znemožněna případná změna tohoto jejich využití.

12. Rozhodnutí o využití a hospodaření s půdou a jejími zdroji by měla upřednostňovat spíše dlouhodobé než krátkodobé využití, které může vést až k vykořisťování, degradaci a možnému zničení půdních zdrojů.

13. Opatření na ochranu půdy jsou vlády povinny zahrnout do plánů regionálního rozvoje území a náklady zabezpečit v příslušné kapitole státního rozpočtu.

Ve smyslu těchto principů dále charta obsahuje postupy pro její dosažení, které v zásadě respektují principy udržitelného rozvoje.

UNCCD: Úmluva o boji s desertifikací v zemích postižených velkým suchem a/nebo desertifikací, zvláště v Africe je konvence o boji proti desertifikaci a zmírnění důsledků sucha prostřednictvím národních akčních programů, které zahrnují dlouhodobé strategie podporované mezinárodní spoluprací a partnerskými dohodami. Byla přijata v Paříži 17. června 1994 (v platnost vstoupila o dva roky později). Je prvním a prozatím i jediným mezinárodně závazným rámcem nastaveným tak, aby řešil problémy související s desertifikací. Předcházela jí, ale poměrně dlouhá jednání již v minulosti: **rok 1977:** konference OSN o desertifikaci (UNCOD) v Nairobi (Keňa): desertifikace je shledána celosvětovým problémem číslo jedna a je přijat plán akcí v boji proti desertifikaci (PACD). **Rok 1992:** konference OSN o životním prostředí a rozvoji (UNCED) konaná v Rio de

Janeiru, (Brazílie): požadavek na valné shromáždění OSN, kde by byla zřízena mezivládní komise pro přípravu právních nástrojů zaměřených na problematiku desertifikace.

Česká Republika podepsala tuto úmluvu 24. dubna 2000 (ČR není brána jako postižená země ve smyslu úmluvy, ale jako země donorská). Pomoc se týká hlavně zemí zasažených degradací půdy ve formě hydrogeologického a hydrologického průzkumu, pomocí se zalesňováním, konzultační poradenství apod.

Zákon č. 334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu:

- určuje základní podmínky pro hospodaření na zemědělském půdním fondu z hlediska ochrany životního prostředí, s cílem udržení čistoty půdy, zdrojů pitné vody, nenarušení podmínek existence živých organismů apod.
- zemědělský půdní fond (ZPF) je základním přírodním bohatstvím naší země, nenahraditelným výrobním prostředkem umožňujícím zemědělskou výrobu a je jednou z hlavních složek životního prostředí. Ochrana zemědělského půdního fondu, jeho zvelebování a racionální využívání jsou činnosti, kterými je také zajišťována ochrana a zlepšování životního prostředí.
- ZPF tvoří pozemky zemědělsky obhospodařované (orná půda, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, louky, pastviny) a půda, která byla a má být nadále zemědělsky obhospodařována, ale dočasně obdělávána není. Do zemědělského půdního fondu náleží též rybníky s chovem ryb nebo vodní drůbeže a nezemědělská půda potřebná k zajišťování zemědělské výroby, jako polní cesty, pozemky se zařízením důležitým pro polní závlahy, závlahové vodní nádrže, odvodňovací příkopy, hráze sloužící k ochraně před zamokřením nebo zátopou, ochranné terasy proti erozi apod.
- hospodařit musí vlastníci nebo nájemci pozemků tak, aby neznečišťovali půdu a tím potravní řetězec a zdroje pitné vody škodlivými látkami ohrožujícími zdraví nebo život lidí a existenci živých organismů, nepoškozovali okolní pozemky a příznivé fyzikální, biologické a chemické vlastnosti půdy a chránili obdělávané pozemky podle schválených projektů pozemkových úprav.
- vymezuje podmínky, za kterých se uděluje souhlas s odnětím půdy ze ZPF (např. pro stavební účely) a podmínky/poplatky k vyměření odvodů za toto odnětí.
- upravuje podmínky pro aplikaci sedimentů z rybníků, vodních nádrží a vodních toků
- vymezuje pravomoci a sankce na tomto úseku i působnost orgánů ochrany zemědělského půdního fondu.

Orgány ochrany ZPF jsou:

Obecní úřady:

- ukládají změnu kultury zemědělské půdy na pozemcích o výměře do 1 ha,
- provádí dozorovou a kontrolní činnost, kontrolují odstranění závad,
- poskytují souhlas k odnětí do 1 ha, rozhodují o odvodech, udělují pokuty

Pověřené úřady:

- udělují souhlas ke změně louky nebo pastviny na ornou půdu,
- ukládají změnu kultury zemědělské půdy na pozemcích o výměře nad 1 ha,
- rozhodují o tom, že pozemek kontaminovaný škodlivými látkami ohrožujícími zdraví nebo život lidí nesmí být používán pro výrobu potravin,
- uplatňují stanovisko k regulačním plánům a k návrhům vymezení zastavěného území
- udělují souhlas k odnětí půdy ze ZPF o výměře do 1 ha;
- udělují souhlas k použití sedimentů z rybníků, vodních nádrží a vodních toků a vedou evidenci jejich použití na pozemcích ve svém správním obvodu.

Krajské úřady:

- udělují souhlas k návrhům na stanovení dobývacích prostorů o výměře 10–20 ha
- udělují souhlas k odnětí půdy ze ZPF o výměře 1–10 ha

Ministerstvo životního prostředí:

- uplatňuje stanovisko k zásadám územního rozvoje, územním plánům obcí, ve kterých je sídlo kraje, a k územnímu plánu, který řeší celé území hlavního města Prahy,
- uděluje souhlas k návrhům na stanovení dobývacích prostorů, o výměře nad 20 ha,
- uděluje souhlas k odnětí půdy ze ZPF o výměře nad 10 ha, přitom stanoví podmínky k zajištění ochrany zemědělského půdního fondu, schvaluje plán rekultivace, popřípadě stanoví zvláštní režim jeho provádění a vymezí, zda a v jaké výši budou předepsány odvody za odnětí půdy ze zemědělského půdního fondu,
- vypracovává koncepci ochrany ZPF, a provádí kontrolní činnost.

Správy národních parků:

- vykonávají působnost na území těchto parků podle § 78 zákona ČNR č. 114/1992 Sb.

Vojenské újezdy:

- funkci orgánů ochrany ZPF vykonávají zvláštní orgány federálního ministerstva obrany (zákon č. 169/1949 Sb., o vojenských újezdech).

INFORMAČNÍ ZDROJE O PŮDĚ

- **Ministerstvo zemědělství (MZe)** je ústředním orgánem státní správy pro zemědělství, (s výjimkou ochrany zemědělského půdního fondu), pro vodní hospodářství, (s výjimkou ochrany přirozené akumulace vod, ochrany vodních zdrojů a ochrany jakosti vod), a pro potravinářský průmysl. Je rovněž ústředním orgánem státní správy lesů, myslivosti a rybářství, mimo území národních parků. Řídí Státní zemědělskou a potravinářskou inspekci, Státní veterinární správu, Státní rostlinolékařskou správu, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský a Českou plemenářskou inspekci.
- **Ministerstvo životního prostředí (MŽP)** bylo zřízeno jako ústřední orgán státní správy a orgán vrchního dozoru ve věcech životního prostředí. Je ústředním orgánem státní správy pro ochranu přirozené akumulace vod, ochranu vodních zdrojů a ochranu jakosti podzemních a povrchových vod, ochranu přírody a krajiny, ochranu zemědělského půdního fondu, výkon státní geologické služby, ochranu horninového prostředí, včetně ochrany nerostných zdrojů a podzemních vod, geologické práce a ekologický dohled nad těžbou, odpadové hospodářství, posuzování vlivů činností a jejich důsledků na životní prostředí včetně těch, které přesahují hranice státu, myslivost, rybářství a lesní hospodářství v národních parcích atd.
- **Agentura ochrany přírody a krajiny (AOPK)** byla zřízena v roce 1995 MŽP jako odborná instituce státní ochrany přírody, zajišťující metodickou, dokumentační, informační, výchovně-vzdělávací, vědecko-výzkumnou a poradenskou činnost v oblasti péče o přírodu a krajinu.
- **CENIA** cílem činnosti je poskytování průřezových informací nejen z oblasti životního prostředí.
- **Česká geologická služba (ČGS)** posláním je výkon státní geologické služby v ČR. Česká geologická služba sbírá a zpracovává údaje o geologickém složení státního území a předává je správním orgánům pro politická, hospodářská a ekologická rozhodování. Poskytuje všem zájemcům regionální geologické informace.
- **Český hydro-meteorologický ústav (ČHMÚ)** Základním účelem je vykonávat funkci ústředního státního ústavu České republiky pro obory čistota ovzduší, hydrologie, jakost vody, klimatologie a meteorologie, jako objektivní odborné služby poskytované přednostně pro státní správu.
- **Český statistický úřad** poskytuje statistická data o jednotlivých složkách životního prostředí.

- **Katastr nemovitostí České republiky (KN)** je soubor údajů o nemovitostech v České republice zahrnující jejich soupis a popis a jejich geometrické a polohové určení. KN je zdrojem informací, které slouží k ochraně práv k nemovitostem, pro daňové účely, k ochraně životního prostředí, zemědělského a lesního půdního fondu, nerostného bohatství, kulturních památek, pro rozvoj území, k oceňování nemovitostí, pro účely vědecké, hospodářské a statistické a pro tvorbu dalších informačních systémů.
- **Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ)** provádí správní řízení a vykonává jiné správní činnosti, odborné a zkušební úkony, kontrolní a dozorové činnosti v oblasti odrůdového zkušebnictví, krmiv, agrochemie, půdy a výživy rostlin, osiv a sadby pěstovaných rostlin, trvalých kultur (vinohradnictví a chmelařství) a v oblasti živočišné produkce.
- Rozhodnutím MZe došlo 1. 7. 2008 ke sloučení Výzkumného ústavu zemědělské ekonomiky (VÚZE) a Ústavu zemědělských a potravinářských informací (ÚZPI) do **Ústavu zemědělské ekonomiky a informací (ÚZEI)**. Spojením obou ústavů sledoval zřizovatel záměr propojit agrárně-ekonomický výzkum stávajícího ekonomického pracoviště VÚZE s poradenskou činností organizovanou ÚZPI tak, aby výzkumné aktivity a servisní činnost podle požadavků MZe nacházely uplatnění v informačním poradenském systému a v oblasti odborné přípravy.
- **Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i (VÚLHM)** je lesnickým výzkumným ústavem. Rozhodující podíl činnosti tvoří řešení výzkumných úkolů pro lesní hospodářství a zajišťování expertních a výzkumných činností pro státní správu a vlastníky lesů všech kategorií.
- **Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. (VÚRV)** v současnosti je jedinou nezávislou státní institucí provádějící výzkumné a expertní činnosti zaměřené na problémy pěstování zemědělských plodin. Hlavním účelem činnosti instituce je rozvoj vědeckých poznatků v oblasti rostlinné výroby a v souvisejících vědních oborech, s cílem trvalého rozvoje zemědělství.
- **Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha (VÚMOP)** je příspěvkovou organizací přímo řízenou Ministerstvem zemědělství České republiky. Činností ústavu je mimo jiné i výkon přímé spolupráce s katastrálními úřady, zajišťování závazných podkladů pro zavádění kódů bonitovaných půdně-ekologických jednotek (BPEJ) do katastru nemovitostí a zajišťování závazných podkladů pro průběžnou aktualizaci tohoto systému.

Portály

- Portál o ŽP: <http://www.cenia.cz/>
- Národní geoportál Inspire (mapové podklady): <http://geoportal.cenia.cz/>
- Portál KN: <http://www.cuzk.cz>
- Statistiky: <http://www.czso.cz/>
- Geoportál SOWAC-GIS <http://www.sowac-gis.cz/>
- Půdní mapa ČR 1:50 000 <http://mapy.geology.cz/pudy/>
- Databáze Brownfield <http://www.brownfieldy.cz/>
- Nejlepší dostupné technologie (Best practices) v zemědělství na stránkách Regionálního referenčního centra UNCCD <http://rrc.mendelu.cz/cz/projekty>

MONITORING PŮD

Proč se provádí monitoring půd

Půda jako neobnovitelný přírodní zdroj přímo nebo nepřímo podléhá působení člověka. Lze tak předpokládat a velmi často i dokladovat negativní dopady průmyslové výroby, energetiky, těžby, urbanizace, rozvoje dopravy, nebo jen nešetrného hospodaření na půdě. Protože některé z negativních změn v půdě mají kumulativní charakter (acidifikace, salinizace, eroze apod.), je možno tyto změny na velkých územních celcích podchytit pouze dlouhodobým sledováním celé řady charakteristik. Jako prioritní se jeví zejména oblasti postižené zvýšenou antropickou činností (emisní oblasti, oblasti zatížené kontaminanty apod.). Výsledky monitoringu jsou navíc pro zemědělce podkladem pro zpracování racionálního systému hnojení. Ministerstvu zemědělství umožňuje sledovat vývoj půdní úrodnosti v rámci celé republiky, posoudit vliv intenzity hnojení na půdní vlastnosti, predikovat spotřebu hnojiv apod.

Soubor pozorovacích ploch bazálního monitoringu zemědělských půd (BMP) vznikl v roce 1992. Tehdy také proběhly první odběry půdních vzorků, v rámci základní sítě 190 pozorovacích ploch. V roce 1997, byl založen subsystém 27 kontaminovaných ploch (anorganické znečištění antropogenního nebo geogenního původu).

Hlavní zásady výběru pozorovacích ploch v základním systému monitoringu:

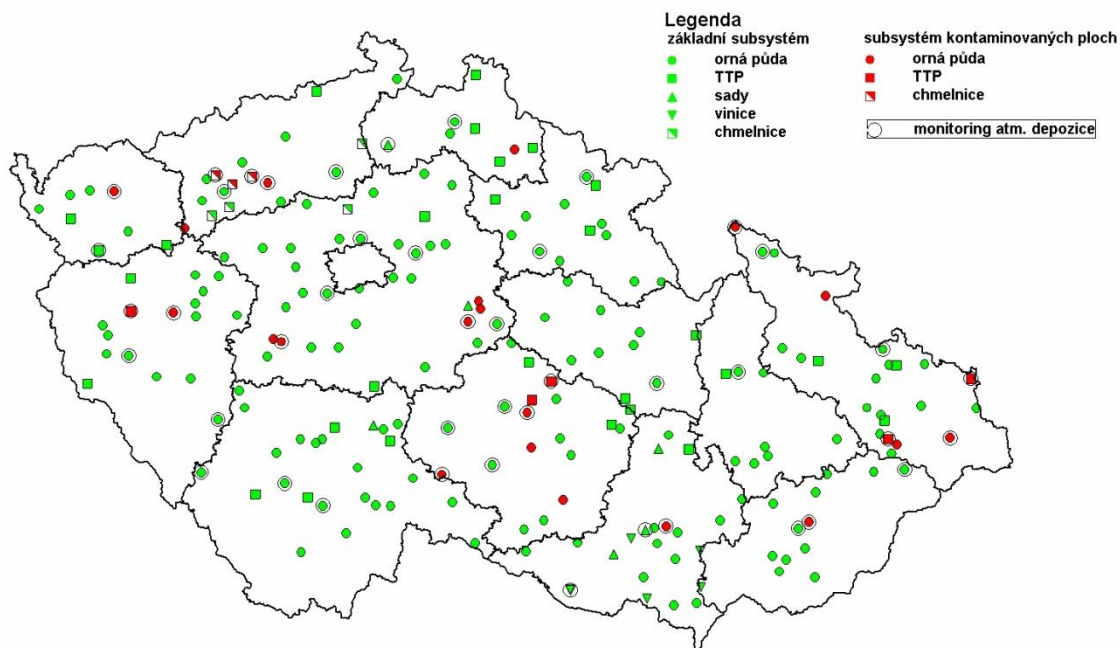
- dodržení vzájemného poměru mezi půdními typy,
- zastoupení kultur podle výskytu v České republice,
- rovnoměrné rozložení pozorovacích míst na ploše okresu (regionu),
- vystižení rozdílných výrobních podmínek regionu.

Nejvýznamnější podmínkou pro založení plochy v subsystému kontaminovaných ploch byly nadlimitní (ve smyslu vyhlášky č. 13/1994 Sb.) obsahy rizikových prvků.

Pozorovací plochy jsou definovány jako obdélníky o délce stran 25 x 40 m (= o celkové ploše 1000m²).

Vzorky půdy se odebírají z

- orné půdy: ornice (dle mocnosti horizontu, maximálně do 30 cm) a podorničí (30–60 cm),
- sady a vinice: 0–30 cm, 30–60 cm,
- chmelnice: z ornice (10 - 40 cm) a podorničí (40 - 70 cm);
- trvalé travní porosty: z horizontů 0–10 cm, 10–25 cm, 25–40 cm; (vždy po odstranění svrchní drnové vrstvy).



Jednorázové odběry (při založení pozorovací plochy):

- fyzikální charakteristiky půdy: zrnitostní složení, okamžitá vlhkost, maximální kapilární vodní kapacita, měrná hmotnost, objemová hmotnost redukováná, pórovitost, okamžitá provzdušenost, minimální vzdušnost
- fyzikálně-chemické charakteristiky půd: potenciální a efektivní kationtová výměnná kapacita, Cox, Ntot
- chemické parametry: Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, No, Ni, Pb, V, Zn po rozkladu lučavkou královskou

Základní odběry („základní“ perioda 1x za šest let, první odběr v r. 1992)

- agrochemické parametry: aktivní a výměnná půdní reakce, obsah přístupných živin (P, K, Mg, Ca), obsah přístupných mikroelementů (Cu, Mn, Zn, Fe, B),
- chemické parametry: As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn ve výluhu 2M HNO₃; Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, No, Ni, Pb, V, Zn po rozkladu lučavkou královskou, celkový obsah Hg

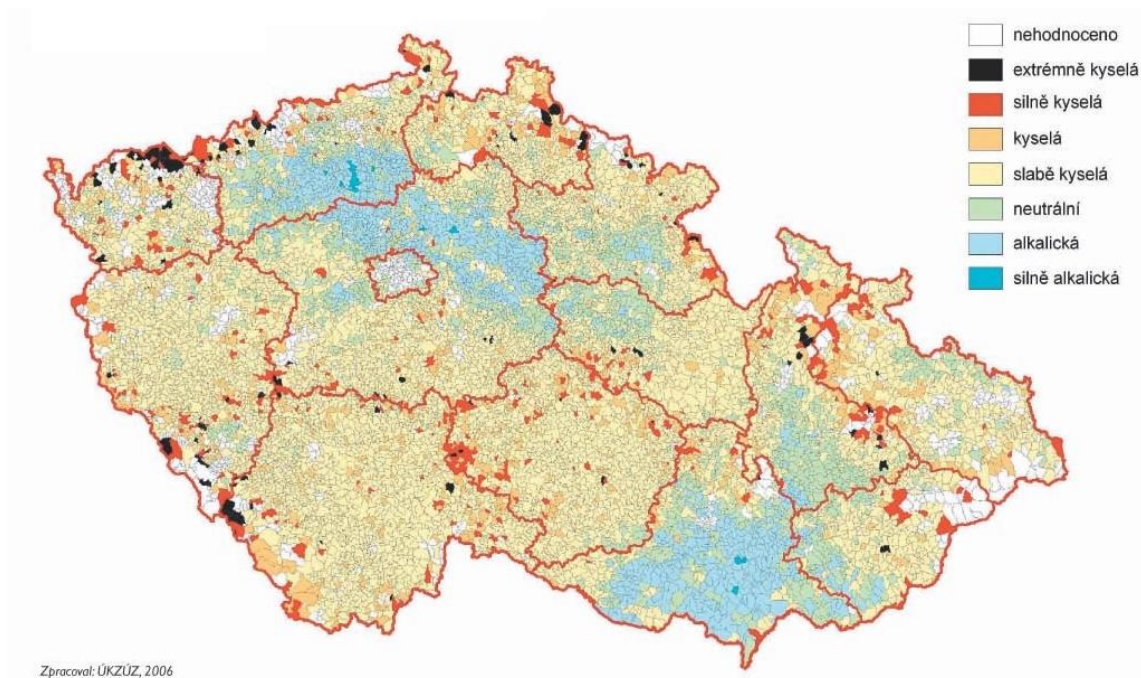
Každoroční odběry (pro sledování polutantů, celkem na 45 plochách: 40 ploch BMP, 5 ploch ze systému chráněných území)

- organické znečištění půd: PCB, PAH, organochlorové pesticidy,
- obsah rizikových prvků v rostlinách,
- vybrané vlastnosti mikrobiální biomasy

Do roku 1980 se periody odběrů a rozborů opakovaly v pětiletých cyklech. Výrazná intenzifikace zemědělství a rychlejší změny půdních vlastností si vyžádala zkrácení této periody na 3 roky. Poslední tříletý interval byl dokončen v roce 1992 a dále byl i s ohledem na státní rozpočet cyklus prodloužen na šest let. V současném, čtvrtém, šestiletém cyklu

zkoušení od roku 2011 je každoročně odebráno zhruba 70 000 vzorků. Na základě těchto rozborů je pak možno stanovit optimální dávky fosforu, draslíku, hořčíku případně potřebu vápnění.

Půdní reakce na orné půdě (jeden z výstupů Bazálního monitoringu půd)



DLOUHODOBÉ POKUSY

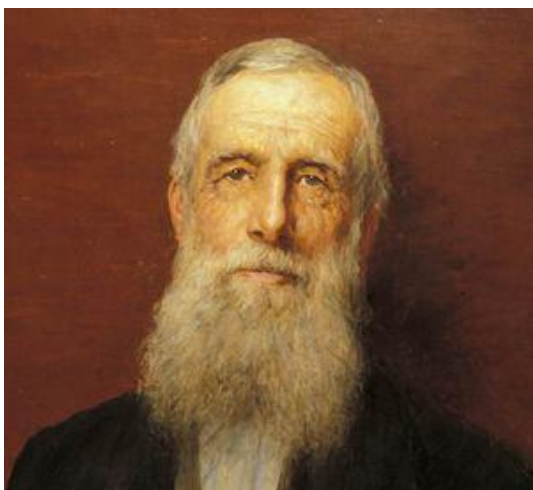
Jedna ze základních koncepcí ekologie říká, že velikost populace na určité ploše je určována nosnou kapacitou prostředí. Zemědělství takovému zvyšování nosné kapacity prostředí sice umožňuje, nicméně dlouhodobé pokusy v Rothamstedu ukazují, že takovéto neustálé zvyšování nosné kapacity prostředí není trvale udržitelné (Southwood, 1994). Pojem „trvale udržitelné zemědělství“ by měl v praxi znamenat zachování určité úrovně výnosů, ale bez negativních vlivů na životní prostředí. Zda je to možné, se zjišťuje právě v rámci dlouhodobých polních pokusů. Z nich je možno například zjistit:

- variabilitu výnosů v delším časovém horizontu
- efekt nových pěstitelských metod
- změny výskytu chorob a škůdců
- změny půdních vlastností (pH, humusu, kontaminaci, změnu fyzikálních vlastností apod.)
- hodnocení cyklů živin, efektivnost ve využívání živin, hodnocení ztrát živin apod.

Vzhledem k tomu, že procesy jako je akumulace případně transformace organické hmoty, transport živin jsou dlouhodobé, a na druhé straně změny stavu některých podstatných půdních vlastností jsou zase díky vysoké heterogenitě půdy (a s tím variabilitou měřených hodnot) v krátkodobém čase jen velmi těžko postižitelné, lze tyto procesy spolehlivě studovat jen na základě delších sledování ve stabilních podmínkách (hnojení, půdní vlastnosti, klima atd.), tj. v dlouhodobých polních pokusech. Jako takové jsou proto unikátní a v řádu desetiletí neobnovitelné archivy půdních procesů.

Dlouhodobé pokusy ve světě

Rothamsted experimental station (Harpenden v Hertfordshire, Anglie) založena v roce 1843 jako nejstarší dlouhodobý polní pokus světa. Biologické studie a trávnickářské pokusy

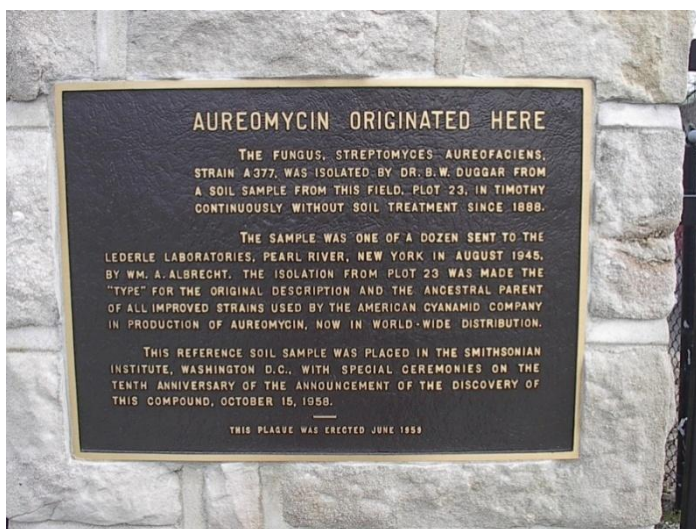


byly založeny v roce 1856. U vzniku této instituce stál *John Bennet Lawes* (na obrázku z Rothamsted Research), který na svém panství Rothamsted zkoumal vliv anorganických a organických hnojiv na výnosy.

Založil rovněž jednu z prvních továren na „strojená“ neboli minerální hnojiva (1842). Ve spolupráci s chemikem *Joseph Henry Gilbertem*, založili první dlouhodobý polní pokus světa. Po padesátisedmi letech založili nadaci na principech

moderního zemědělství. V roce 1902 se stal ředitelem nadace Daniel Hall (dva roky po Lawesově smrti), a rozhodl o další specializaci Rothamsted Research, přičemž se mu podařilo pro výzkumy získat i státní podporu. Mnoho vědců považuje Rothamsted za nejdůležitější kolébku moderní statistické teorie a praxe. Odtud vzešla celá řada významných statistiků jako je Ronald Fisher (Fisher-Snedecorovo rozdělení), Oscar Irwin, John Wishart, Frank Yates, William Cochran či John Nelder. I díky rozvoji statistiky došlo k rozvoji a vývoji např. systémových herbicidů a insekticidů, ale vznikaly tu i průkopnické příspěvky na poli virologie, nematologie a pedologie. Během druhé světové války, s cílem zvýšit výnosy plodin pro bojující národ, zde byl i vyvinut 2,4-D v současnosti nejrozšířenější herbicid.

Sanborn Fields (Missouri, USA) se nachází v kampusu University of Missouri. Pokusná pole byla založena v roce 1888 a šlo o první zařízení ve Spojených státech, určené k měření eroze a bilance živin pro různé plodiny a zemědělské praxe. Práce na Sanborn Fields měly vliv na politiku ochrany půdy ve Spojených státech. V r. 1945 byl na pozemku č. 23 poprvé



izolován organismus *Streptomyces aureofaciens*, původní zdroj antibiotika aureomycin, (v humání medicíně není v současnosti již používán, ve veterinární medicíně ano).

Výzkum na Sanborn Fields začínal s organickými hnojivy, ke kterým se v roce 1914 připojila hnojiva minerální. Pokusy rovněž ukázaly hodnotu střídání plodin, případně se zkoumala obnova vyčerpaných půd. V souvislosti

se Sanborn Fields je třeba zmínit ještě jméno S. A. Waksmana, vynálezce, biochemika a mikrobiologa. Jeho výzkum byl zaměřen na organické látky (z velké části na organismy žijící v půdě). Spolupodílel se na objevu streptomycinu (za což obdržel v roce 1952 Nobelovu cenu "za objev antibiotika účinného proti tuberkulóze").

Bad Lauchstädt (Německo) založené 1902. Nejstarší dlouhodobý pokus pevninské Evropy. Hlavním cílem bylo posouzení vlivu organického a minerálního hnojení na výnos a kvalitu plodin a na půdní úrodnost. Systematický návrh experimentu se skládá z 8 polí, přičemž pozemky hlavní řady jsou více méně beze změn od roku 1902. Od roku 1924 se zkoumá vliv vápnění (každé 4 roky vápnění pod brambory), a vliv luskovin v osevním postupu. Každý rok jsou odebírány vzorky půdy a rostlin, které jsou archivovány. Pokusy s kontinuálním hnojením jsou tak jedny z nejstarších a nejcennějších na světě.

Los Baños (Filipíny) mezinárodní institut pro výzkum rýže (**IRRI**) byl založen v roce 1959 s podporou Fordovy a Rockefellerovy nadace a Filipínské vlády. Jedná se o největší asijské neziskové zemědělské výzkumné centrum a odhaduje se, že se dotýká téměř poloviny světové populace. IRRI vyvinul první nové odrůdy rýže odolné proti viru rzi travní již v roce 1960. Institut v současnosti vlastní sbírku zhruba 100 000 kultivarů rýže. Pokusy probíhají na 252 ha experimentálních ploch.

Dlouhodobé pokusy u nás (uvedeny pouze vybrané)

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha Ruzyň (VÚRV, v.v.i.) nejstarší nepřetržitě běžící experimenty, probíhající od roku 1955. Výzkum je zaměřen na systémy hospodaření na půdě, biologické a technologické aspekty udržitelnosti, produktivitu agroekosystémů v různých půdních a klimatických podmínkách, vliv různých systémů hospodaření a hnojení na půdní úrodnost apod. Pokusy probíhají na sedmi vlastních pokusných stanicích a na třech smluvních, metodicky řízených stanicích. Stanice mají vytvářet plynulou klimatologickou a pedologickou sekvenci charakteristickou pro Českou republiku.

MENDELU

- Na školním statku v **Žabčicích** byla v roce 1926 založena Polní pokusná stanice, v roce 1927 byla z podnětu V. Nováka doplněna o klimatologickou stanici. Nepřetržitě dlouhodobé pokusy probíhají od roku 1970.
- Výzkumná pícninářská stanice **Vatín** byla vybudována v letech 1963–1967. Výzkum se orientoval především na pícniny na orné půdě a rozšířil se i o další stacionární plochy s lukařským výzkumem. V současné době se provádějí pokusy s přísevy do TTP, pokusy s minimalizací eroze při příválových deštích, pokusy s různými druhy a hybridy trav a jejich zapojení do TTP apod.

Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž s r.o. (založen v roce 1951 jako Výzkumný ústav obilnářský v Kroměříži), dlouhodobé pokusy probíhají od roku 1961, bez přerušení od roku 1972. Hlavní pozornost byla zaměřena na studium šlechtitelských metod, na rozpracování odrůdové agrotechniky obilnin, především ozimé pšenice, zvláště systému hnojení podle požadavků jednotlivých odrůd. Zvýšená pozornost je věnována studiu odolnosti obilnin vůči chorobám a škůdcům.

Bílý kříž (Beskydy, 905 m n. m.) stanice byla založena v roce 1986 ústavem ekologie krajiny Akademie věd, v rámci projektu Komplexní výzkum vlivu imisí na lesní hospodářství Beskyd.



V současnosti zde probíhá výzkum vlivu zvýšené koncentrace CO₂ na lesní porosty. Zkoumá se zde mimo jiné i chování proudění v korunové vrstvě, vliv horského hřebene na noční proudění vzduchu a toky CO₂ v lesním porostu apod. Pracoviště je možné po předchozí domluvě navštívit.

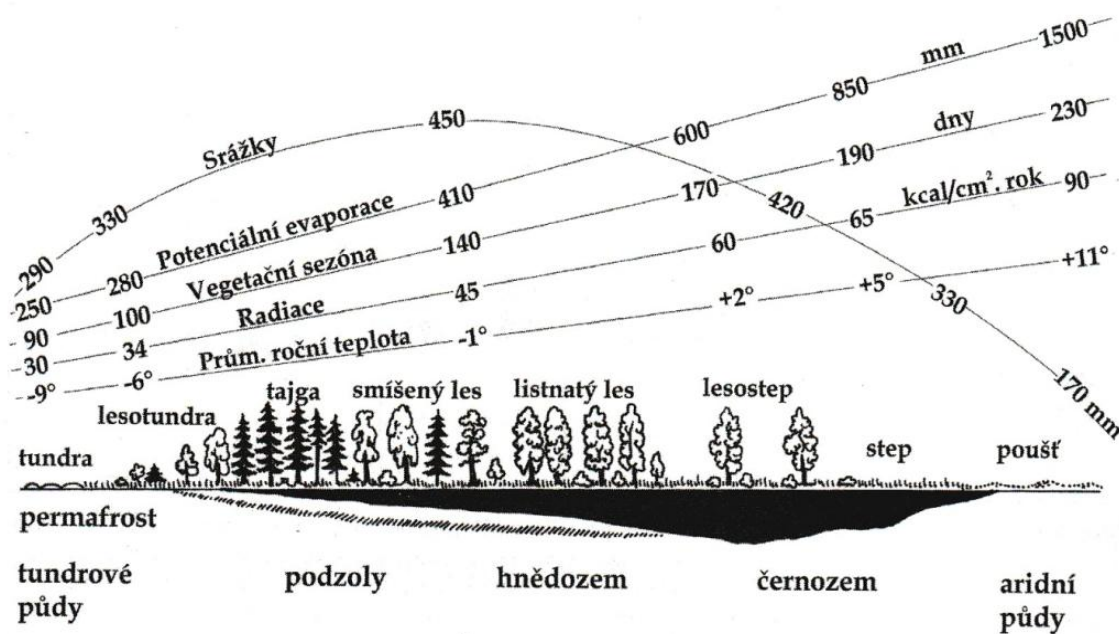
Stanice Bílý kříž, (akademický bulletin AV ČR, 2012)

I když je význam dlouhodobých polních pokusů především v rozvoji poznání, jsou spolu s ostatními krátkodobými pokusy (3–5 let) využívány v praxi, například pro demonstraci nových agrotechnických postupů, různých systémů hnojení a ochrany rostlin případně odrůdových testů.

KLIMATICKÁ ZMĚNA A DEGRADACE PŮDY

(Použito materiálu: Vlček V., Brtnický M., Pokorný E. Očekávané pedoklimatické změny na území ČR. 2010. In Problematika sucha a možnosti její nápravy- sborník příspěvků. s. 1-7. ISBN 978-80-7375-432-7. zkráceno, upraveno)

Půda, jakožto základní stavební prvek většiny terestrických ekosystémů, je velmi složitý systém. Názory na její genezi prošly v průběhu formování pedologie jako vědy určitým vývojem. Pojem tzv. faktorů (faktorový přístup) rozvádí jako první ve svých pracích už jeden ze zakladatelů pedologie Vasilij Vasilijevič Dokučajev v roce 1899, či jeho následovníci z Ruska, ale i zahraničí (Jenny 1941). Tento přístup předpokládá existenci tzv. půdotvorných faktorů, jako jsou například substrát, **klima**, biologický faktor, reliéf, čas, činnost člověka apod., jako vnějších činitelů, přičemž jejich vliv na vývoj půdy je obvykle sledován jako vztah mezi těmito faktory a vlastnostmi půd (Němeček a kol. 1990). Vliv vztahu klimatu na pedogenezi je znázorněn na obrázku níže.



Vztahy mezi půdními typy a biomy v širším geografickém měřítku (Prach, 2009). Podobnou půdní zonalitu pozoroval již např. V. V. Dokučajev při své cestě po Rusku v 19. století.

Předpoklady:

- podle většiny v současnosti dostupných scénářů se v mírném pásmu střední Evropy očekává jen malé zvýšení celkového úhrnu srážek. Ke zvýšení úhrnu by mělo dojít zejména v zimních měsících, naopak k poklesu v měsících letních. Průměrný roční úhrn srážek zůstane tedy přibližně stejný, změní se ale rozdělení srážek v rámci roku.

Predikce je nicméně omezena vysokou variabilitou klimatu v rámci území našeho státu, z důvodů mísení oceánického a kontinentálního klimatu.

- Předpokládá se negativní vliv na tvorbu půdní organické hmoty. Růst desertifikačních jevů, jako je vysušování krajiny spojené s působením limitujících faktorů. Nedostatek vody v půdě, utlumení filtračních, transformačních a výměnných procesů může způsobit degradaci půdy. Při vyšších teplotách by mohly být negativní vlivy částečně kompenzovány fertilizačním efektem CO₂, tj. větší produkcí biomasy. Budou dominovat salinizační a alkalizační procesy, tvorba krust, kompakce půdy a postupná změna fyzikálních, chemických, a biologických vlastností. Výrazná variabilita klimatu může díky erozi výrazně ovlivnit změny morfologie a vlastností celého půdního profilu.

Pravděpodobné dopady

1. Předpokládané zvýšení koncentrace CO₂ v atmosféře, za současného zvýšení teploty, zřejmě povede k hromadění půdní organické hmoty vlivem vyšší produktivity C₃ rostlin. U C₃ rostlin (což je drtivá většina v současnosti pěstovaných zemědělských plodin) však dochází za vyšší teploty vlivem stresu k vyšším fotorespiračním ztrátám, než např. u C₄ rostlin (z běžně pěstovaných plodin lze uvést proso, kukuřici či cukrovou třtinu). Podle některých autorů, např. Brinkman a Sombroek (1996), se však pravděpodobně zvýší fotosyntéza a dojde ke zvýšení růstového indexu a účinnosti využití vody vegetací.
2. Zvýšená evapotranspirace, hromadění půdní organické hmoty a zvýšení biologické aktivity půdy jako důsledek zvýšení množství kořenové hmoty a kořenových exsudátů.
3. Očekávaná aridizace klimatu pravděpodobně způsobí vysušování půdního profilu, zvýšení provzdušnění půdy a oxidaci půdního materiálu. Důsledkem bude zvýšení mineralizace, ta však bude částečně kompenzována procesy uvedenými v předcházejících bodech. Zde bude záležet na míře zásobenosti jednotlivých území vodou.
4. Zvýšená mineralizace/mikrobiální aktivita bude mít za následek zvýšený parciální tlak CO₂ v půdním roztoku. To způsobí větší uvolňování živin (P, K, Mg, příp. mikroelementy) pro rostliny, zároveň se ale zvýší nebezpečí vyplavování těchto živin do podzemních, případně povrchových vod.
5. Půdní struktura se bude jako první měnit ve svrchních, člověkem nejvíce ovlivňovaných horizontech (epipedonech) a bude výrazně závislá na množství uhlíku. Při dostatku půdní organické hmoty bude struktura poměrně odolná. Problémem ale již v současné době jsou osevní postupy s převahou tzv. spotřebitelů uhlíku, případně s vyšším zastoupením plodin, které se pak jako spotřebitelé uhlíku začínají chovat (jako je tomu při zastoupení více než 60 % obilovin v osevním postupu). Důsledkem je nejen ztráta půdní

organické hmoty ale negativní jevy na to vázané: degradace půdní struktury, snížená pufrační schopnost půdy, zvýšení eroze atd.

6. Všeobecně se předpokládá vznik utužení, v těžkých půdách tvorba krust a povrchových trhlin. V aridních oblastech může dojít ve svrchních horizontech k intenzivnější tvorbě tvrdých panů (kalcikový a petrokalcikový horizont), se všemi negativními důsledky na to vázanými.

7. Mezi naše nejodolnější půdy v rámci klimatické změny budou patřit naše nejkvalitnější nedegradované zemědělské půdy s černickým horizontem, tj. černozemě a černice. Tyto půdy jsou nicméně na mnoha místech degradovány erozí.

8. Nejvíce náchylné na změny jsou půdy zrnitostně lehké, navíc s nestabilní půdní strukturou, nízkou kationtovou výměnnou kapacitou, nízkou infiltrační schopností a mělkým humusovým horizontem (tj. některé regozemě, litozemě a arenické subtypy).

V dlouhodobém časovém horizontu desítek až stovek let lze z pedogenetického hlediska očekávat:

- na spraších se původní melanický horizont v podmínkách teplého a suchého klimatu může měnit na černický, (z regozemě karbonátové může retrogradně vznikat černozem)
- pokud se v černozemních oblastech zvýší množství srážek a voda zasakující do profilu translokují půdní koloidy (které se akumulují pod humusovým A-horizontem) a vznikne půdní typ šedozem. V případě eroze by na těchto lokalitách vznikala regozem karbonátová.
- fluvizemě na aluviálních sedimentech se v podmínkách výparného vodního režimu při akumulaci humusu mění v půdní typ černice s různým stupněm oglejení,

Obecně lze většinu změn v zemědělství, v důsledku změn klimatu, odhadnout a shrnout jako:

- Potenciální zvětšování plochy řepařské výrobní oblasti, což je zdánlivě pozitivní vzhledem k jejímu vysokému produkčnímu potenciálu. K růstu nicméně dochází zejména na méně kvalitních půdních typech (kambizemě), zatímco plocha ŘVO na nejkvalitnějších půdách (černozem, hnědozem, černice apod.) se výrazně snižuje a to u všech scénářů. Dle některých scénářů se výměra řepařské výrobní oblasti na kvalitních půdních typech k roku 2050 blíží nule (Pražan J., a kol. 2007).
- Na nejkvalitnějších půdách pravděpodobně začne dominovat kukuřičná výrobní oblast, která je některými scénářovými daty nahrazována novými VO, které jsou charakterizovány vyšší teplotní sumou a samozřejmě i vodním deficitem.

- Klimazměna bude sice pravděpodobně znamenat prodloužení vegetační sezóny a možnost pěstování nových teplomilných plodin, zároveň ale bude znamenat nástup období výrazného vodního deficitu i v oblastech, kde jsme se s ním setkávali doposud pouze výjimečně (např. oblast Hané). Již v současné době (rok 2010) lze pozorovat prodloužení vegetační sezóny oproti roku 1950 o cca 21 dní.
- Pravděpodobně dojde k omezení niky, u v současnosti dominující dřeviny našich lesů, smrku. Smrk začne být v nižších polohách limitován srážkami a částečně i teplotou.

Shrnutí

- Zemědělské využití pozemků bez závlah bude v kukuřičné výrobní oblasti v letních měsících (červen-srpen) omezené, či vyloučené vlivem vláhového deficitu těchto měsíců. Rentabilita závlah bude, ale narážet na problém vlhkých/suchých period i v rámci jednoho roku.
- Současně s tím lze očekávat nárůst rizika výskytu suchých epizod i během prvních měsíců vegetačního období (např. Brázdil a Kirchner, 2007), s projevy například v oblasti Hané, jižních Čech či Českomoravské vysočiny.
- Lze predikovat i vyšší riziko větrné a vodní eroze zejména během extrémně suchých let v oblastech, které jsou již v současnosti tímto ohroženy (jižní Morava a Polabí).
- Modelové analýzy jako např. Žalud a Dubrovský, (2002); Trnka a kol., (2004); Trnka a kol., (2008) naznačují posun vývojových fází jařin a ozimů do časnějšího jara, které by mělo být vláhově poměrně dobře zajištěno. Již v současné době lze toto prodloužení vegetačního období pozorovat (Denešová a kol. 2009).

POUŽITÁ A DOPORUČENÁ LITERATURA

- AOPK (2013) ceník prací AOPK, online dostupné z adresy:
<http://www.dotace.nature.cz/res/data/003/000637.xls>
- ARNOLD, R.W., SZABOLCS, I., TARGULJAN, V.O. Global Soil Change. Ilasa, Laxenburg, 1990. 110 s.
- ARSHAD, M.A., COEN, G.M., 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. Am. J. Alternative Agric. 7, 12–16.
- ALLOWAY, B.J., AYRES, D.C. 1993. Chemical principles of Environmental Pollution. Blackie Academic U.K: p 140-149
- BEDRNA, Z., Environmentálne pôdoznanectvo. Bratislava: Veda, 2002.
- BENEŠ S. 1993: 1st part: Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. – The Department of Agriculture of the Czech Republic, Prague.
- BOBBINK, R., ROELOFS, J.G.M. 1995. Nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: the empirical approach. Water Air Soil Pollut., 85: 2413-2418.
- BRADY, N.C., WEIL R.R. 2002. The Nature and Properties of Soils, 13th Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 960 p.
- BUČKO, Š., MAZÚROVÁ, V. 1958. Výmoľová erózia na Slovensku. In: Zachar, D., ed., Vodná erózia na Slovensku. Bratislava, Vydavateľstvo SAV, s. 68-101.
- BULINSKI J., NIEMCZYK H., 2011. Effect of tractor traffic in traditional cultivation technology on the yield of winter rape Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Agriculture No 57 (Agricultural and Forest Engineering) 2011: 5–14
- BULL, K.R., et al., 2004: Dynamika dusíku a expanze ovsíku vyvýšeného (*Arrhenatherum elatius*) na vřesovištích v Národním parku Podyjí. Příroda: 92-100.
- BUZEK, L. 1998. Eroze lesní půdy v moravskoslezských Beskydách. In:Krajina a povodeň. Zvl. č. 12, s. 40-41 Veronica. roč. 12.
- BRÁZDIL, R., et al. Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku, Brno, Praha, Ostrava, Masarykova univerzita, ČHMU, Ústav geoniky AV ČR, 2007, 432s.
- BRINKMAN, R., SOMBROEK, B. W. G. The effects of global change on soil conditions in relation to plant growth and food production, In BAZZAZ F., SOMBROEK, W. G. (eds.) Global climate change and agriculture production, John Wiley and Sons Ltd., 1996, 354p.
- CARRETERO M.I., POZO M. 2009. Clay and non-clay minerals in the pharmaceutical industry Part I. Excipients and medical applications. App. Clay Sci. Vol. 46, Issue: 1 pp: 73-80, DOI: 10.1016/j.clay.2009.07.017
- CIBULKOVÁ P., 2011. Brownfields v krajině jižní Moravy. Diplomová práce MENDELU. 91s.

- CLARK E.H., The off-site costs of soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, 01/40, 1985.
- CRUTZEN, P. J., STOERMER E. F., 2000. The 'Anthropocene'. *Global Change Newsletter* 41: 17–18.
- CZECHINVEST: <http://www.czechinvest.org/stare-prumyslove-arealy2>
- DAVIES, B. et al. 1993. *Soil Management*, Farming Press, London.
- DENEŠOVÁ O., et al. 2009. Air temperature change in the Kroměříž territory for the years 1956-2005. In: *Sustainable development and bioclimate. Proceedings*. Eds. Pribullová and Bičárová, Stará Lesná: Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences and Slovak Bioclimatological Society of the Slovak Academy of Sciences, 2009, s. 10–12. ISBN 978-80-900450-1-9.
- DEVRIES, W., A. BREEUWSMA, 1987: The relation between soil acidification and element cycling. *Water Air and Soil Pollution* 35 (3-4): 293-310.
- DOKUČAJEV V.V., 1899. In: Spirhanzl J., 1951: V.V. Dokučajev - Vybrané práce. Praha, Přírodovědecké nakladatelství, 240s.
- DORAN, J.W., PARKIN T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In J.W. Doran, D. C. Coleman, D.F. Bezdicek and B.A. Stewart, eds. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- DORAN, J.W., PARKIN T.B., 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In J.W. Doran and A.J. Jones, eds. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- DOSTÁL T., KRÁSA J., VÁŠKA J., VRÁNA K. 2002. Mapa erozního ohrožení půd a transportu sedimentu v České republice, *Vodní hospodářství* 2/2002
- EDESI L., KUHT J., REITHAM E., TRUKMANN K., 2007. Influence of soil compaction on the grain yield of barley. *Agronomy* 2007, 9-12.
- ELLMER F., et al., 2000. Tillage and fertilizing effects on sandy soils. Review and selected results of long term experiments at Humboldt University in Berlin. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*: 163(3):267-272.
- FALKENGREN-GRERUP, U., J. BRUNET, M.DIEKMANN, 1998: Nitrogen mineralisation in deciduous forest soils in south Sweden in gradients of soil acidity and deposition. *Enviro. Pol.* 102: 415-420 Suppl. 1.
- FRYE W.W., BENNET O.L., BUNTLEY G.J.: Restoration of crop productivity on eroded or degraded soils. *Soil erosion and crop productivity 1985*. Wi 53711, USA. (In.: Janeček, M. et. al. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV nakladatelství, 2002. 201s.).
- FULAJTÁR, E. 2000. Assessment and determination of the compacted soils in Slovakia. *Advanced in geoecology* (32): 384-387.
- GALLOWAY, J.N., et al. 2003: The nitrogen cascade. *BioScience* 53: 341 – 356.

- GARDNER, C.M.K. et al. (1999): Soil physical constraints to plant growth and crop production. FAO publication, Land and Water Development Division. Rome, 1999. In: Sáška M., Materna J., 2004. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. Edice Planeta. roč. XII, číslo 11/2004, ISSN 1213-3393
- GREENLAND D.J. 1975: Bringing the green revolution to the shifting cultivars. *Science*, 190 s.841-844.
- GUPTA, R.K., ABROL I.P.1990. Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. *Adv. Soil Sci.* 11:223-228.
- HOLÝ, M., 1994. Eroze a životní prostředí, ČVUT Praha.
- HARRIS, R.F., KARLEN, D.L., MULLA, D.J., 1996. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America, Special Publication 49, Madison, WI, pp. 61–82
- HRAŠKO J., BEDRNA Z., 1988. Aplikované půdoznalectvo. *Príroda*, Bratislava, 474s.
- HEJNAK U., LIPPOLD H., HNILICKA F., NOVA U., 2001. Využitie dusíka jačmenom jarným, bilancia dusíka hnojiva. *Acta Fytotechnica et Zootech.* 4(3):76-79.
- JANDÁK, J., PRAX, A., POKORNÝ, E. Půdoznalství. MZLU v Brně. 2001.
- JANEČEK M. et al., 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: ISV nakladatelství, 201 s.
- JENNY H. 1941/1994 *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*. New York: Dover Press. (Reprint, with Foreword by R. Amundson, of the 1941 McGraw-Hill publication)
- JONES A. et al. 2012. *The State of Soil: 2012, A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report–SOER 2010*. http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_reference_report_2012_02_soil.pdf
- JONES, R.J.A., et al. 2004. *The map of organic carbon in topsoils in Europe*. Version 1.2, September 2003: Special Publication Ispra, No.72 (S.P.I.04.72). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- KALENDA, M. (odpov.) *Komplexní průzkum zemědělských půd ČSR: Závěrečná zpráva*. ČAZ – ústav pro zemědělský průzkum půd v Praze Suchdole. 1972.
- KARCZEWSKI, T. 1978. Wplyw predkosci przejazdu na zmiany zageszczenia gleby przez kola maszyn rolniczych. *Z.Probl.Post.Nauk Roln.*, 201: 69-74 (v Polštině) In: Chesworth, W. 2008. *Encyclopedia of Soil Science*. Springer.
- KLEMENT, V. SUŠIL, A., 2005. Porovnání vývoje agrochemických vlastností půd za období 1993 -1998 a 1999 - 2004. ÚKZÚZ Brno, Odbor agrochemie, půdy a výživy rostlin, Brno, ÚKZÚZ.

- KOBZA J., et al. 2002. Monitoring pód slovenskej republiky. Súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pód 1997-2001. VÚPOP, Bratislava, 180 s.
- KOLÁŘ L. 1999. Hygiena půd, České Budějovice, skriptum JČU.
- KÓRSCHENS M. 1990: Humic substances as an active part of the system soil-plant. Praha, s.42-53.
- KOVAŘÍČEK, P. 2002. Technologické postupy hnojení, online dostupné na: http://www.vuzt.cz/poraden/doporuc/r_vyr/kovarice/tph/tph.htm
- KUBÁT, J., LIPAŤSKÝ, J. The Effect of Fertilization and Liming on the Carbon Concentration in Arable Soils. Rostlinná výroba, 45, 1999 (9) s.397-402.
- LAL, R. 1998. Soil Quality nad sustainability. In: Lal R., Blum W.H., Valentin C., Steward B.A. (Ed.) Methods for assessment of soil degradation. CRC Press Boca Raton-New York. p.17-30.
- LÁZNIČKA, Z. Historické zprávy o erosi půdy v Brněnském kraji. Sborník ČSZV 1, 1959.
- LHOTSKÝ, J. 2000. Zhutňování půd a opatření proti němu. Stud. inform. ÚZPI Praha, Rostlinná Výroba č.7, 61 s.
- LONGHURST, J.W. S., et al. 1993: Acid deposition: a select review 1852-1 990 1. Emissions, transport, deposition, effects on freshwater systems and forests. Fuel 72, 1261-1280.
- LOŽEK V., 2001. Přirozené změny podnebí. Vesmír 80, březen 2001
- LOŽEK V., 2007. Zrcadlo minulosti. Česká a slovenská krajina v kvartéru. Dokořán.
- LÜBBEN K.R., SAUERBECK D.R., 1991. Transferfaktoren und Transferkoeffizienten für den Schwermetallübergang Boden-Pflanze. In Auswirkungen von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen (Eds. Sauerbeck D.R., Lübben K.R.), Forschungszentrum Jülich GmbH, Berichte aus der ökologischen Forschung, 6: 180-233.
- MÅNSSON K.F., FALKENGREN-GRERUP U., 2003. The effect of nitrogen deposition on nitrification, carbon and nitrogen mineralisation and litter C:N ratios in oak (*Quercus robur* L.) forests For. Ecol. Manage. 179, 455-467.
- MAKOWSKI N., 2004. Cereal production on sandy soils. Getreide – Magazin, (3):180-183.
- MÍŠA P., ONDERKA M. 2008. Výsledky dlouhodobého pěstování (1970-1987) jarního ječmene v monokultuře. Výzkumný ústav obilnářský Kroměříž.
- MELEGY, A.A., PAČES, T. 2005: Chemical and mineralogical weathering rates during acidification of soil environments in Czech Republic. In: Acid rain 2005, 7th International Conference on Acid deposition, Prague, Czech Republic, June 12 – 17, 2005 (Conference Abstracts), 349.
- MUNI, 2013: Doplňující učebnice kurzu „Geologická stavba České republiky a vztah geologických procesů k životnímu prostředí“. Online: kurz.geologie.sci.muni.cz/ucebnice_uvod.htm

- MUNSHOWER, F.F., 1994: Practical Handbook of Disturbed Land Revegetation. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- MZe 2009: Situační a výhledová zpráva půda. Listopad 2009.
http://eagri.cz/public/web/file/45535/puda_11_2009.pdf
- MZe 2011: Zpráva o stavu zemědělství za rok 2011.
- NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ, L., KUTÍLEK, M. 1990: Pedologie a paleopedologie. Praha, Academia, 552 s.
- NĚMEČEK, J., et al. 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha
- NOVÁK V., MALÁČ B. 1931. Příspěvek k charakteristice jihomoravských půd bohatých na sulfáty. Věstník ČAZ, č.3
- NOVÁK, V. Kulturböden und genetische Bodentypologie. Budapest: Kongres F. Bodenkunde., 1956. s.178–187.
- OLDEMAN, L.R., 1992. Global Extent of Soil Degradation. ISRIC Bi-Annual Report 1991-1992, pp. 19-36
- OLDEMAN, L.R., 1994. The global extent of soil degradation. In: Greenland, D.J. - Szabolcs, I. (eds.): Soil resilience and sustainable land use. CAB International, Wallingford, 99-118.
- PASÁK, V. et al. 1984. Ochrana půdy před erozí. SZN Praha.
- PERSSON, T., et al. 2000. Soil Nitrogen Turnover - Mineralisation, Nitrification and Denitrification in European Forest Soils. In: Carbon and nitrogen cycling in European forest ecosystems /E.-D. Schulze (ed.)/, Ecological studies Vol. 142, Springer Verlag, Berlin, p. 297 – 331.
- PESERA (Pan-Europ. Soil Erosion Risk Assess.):
http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/pesera/pesera_data.html
- PICHLER, V., E. BUBLINEC, J. GREGOR, 2006: Acidification of forest soils in Slovakia – causes and consequences. Journal of Forest Science 52, (Special Issue): 23–27.
- PODLEŠÁKOVÁ E., NĚMEČEK J. 1997. Stav kontaminace půd v ČR. In: Analýza kontaminovaných zemín a půd. Praha, s.10-18.
- PODLEŠÁKOVÁ E., NĚMEČEK J., 1983. Changes in humus content of agriculturally used soil. Proceed.7th International Symposium „Humus et Planta“, s.140-144.
- PRACH, K., ŠTĚCH M., ŘÍHA P. 2009. Ekologie a rozšíření biomů na Zemi. Scientia Praha, 151 s.
- PRAŽAN, J., KAPLER, P., PICKOVÁ, A. a kol. Analýza adaptačních opatření na změnu klimatu na území ČR v oblasti zemědělství výstup funkčního úkolu MZe ČR č. 4228, 2007. 218s.

- REINTAM, E., et al. 2005, Soil compaction and fertilisation effects on nutrient content and cellular fluid pH of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomy Research*, Vol: 3 (2), pp. 189-202.
- RICHTER, R., HLUŠEK, J., RYANT, P. Organická hnojiva a jejich význam pro udržení půdní úrodnosti. *Zemědělec*, 2001, roč. 13, č. 47, s. 11-12.
- ROBINSON A. R. 1977. Relationship between soil erosion and sediment delivery. *International Association of Hydrological Sciences* 122, 159-167.
- ŘÍHA J., 1999. Oceňování ekologické hodnoty půdy. EIA. Posuzování vlivů na životní prostředí, č. 02.
- SÁŇKA, M., MATERNA, J. 2004. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. *Edice Planeta*, roč. XII, č.11/2004.
- SEDLÁK Š., 1981. Kategorie a zúrodnování zasolených půd v ČSSR. *Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do praxe*. ÚVTIZ.
- SEIFERT, J. 1982. In: Prax A., Pokorný E. 1996, *Klasifikace a ochrana půd*. Brno. Skripta MZLU.
- SHERWOOD, S., UPHOFF, N. 2000: Soil health: research, practice and policy for a more regenerative agriculture. *Applied Soil Ecology* 15(1): 85-97.
- SMITH D.L.O. 1985 Compaction by wheels: a numerical model for agricultural soils. *Journal of Soil Science*, 36: 621-632. In: Chesworth, W. 2008. *Encyclopedia of Soil Science*. Springer.
- SOMMER C., PETELKAU H. 1990: Bodenverdichtung – Definition. Messmethoden. Analyse. Lösungsansätze und offene Fragen. *Landtechnik* 45, 11: 404–407
- SOBOCKÁ, J. 2007. Citlivost' a zraniteľnosť' poľnohospodárskych pôd sr vo vzťahu ku klimatickej zmene. *VUPOP Bratislava*, 28s.
- SOTÁKOVÁ, S. Organická hmota a úrodnosť pôdy. Bratislava: *Priroda*, 1982. 234s.
- SOUTHWOOD T.R.E., 1994. The importance of long-term experimentation. In: Leigh RA, Johnson AE (eds) *Long-term experiments in agricultural and ecological sciences*. CAB International, Cambridge
- SVOBODA, J. 2009: *Utajené dějiny podnebí. Řídilo počasí dějiny lidstva?* Praha 2009.
- ŠARAPATKA, B., DLAPA, P., BEDRNA, Z. *Kvalita a degradace půdy*. Olomouc, 2002.
- ŠIMEK M., et al. 1999. Biological and chemical properties of arable soils affected by long-term organic and inorganic fertilizer applications. *Biology and Fertility of Soils*. 29:3, s.300-308.
- ŠINDELÁŘOVÁ, J., 1988. Kontaminace půdy, sledování zdravotní nezávadnosti vstupů do rostlinné výroby a jejich produktů. In *Cizorodé látky v půdě a v rostlině*. České Budějovice: *Dům techniky ČSVTS České Budějovice*. 1988, s. 25-31

- ŠKARDA, M. DAMAŠKA, J. Problém humusu v orné půdě ČSR. Úroda, 1982, roč. 30, č. 7, s. 321–323.
- ŠKARDA, M. Význam organických hnojiv v současných podmínkách. In: Výživa a hnojení rostlin v podmínkách tržní ekonomiky, VÚRV, Praha, s. 32-53, 1992.
- ŠKARDA, M., ŘÍMOVSKÝ, K. Ekologická hlediska organického hnojení. In: Ekologické aspekty výživy a hnojení rostlin, VŠZ, Brno, s. 16-21, 1991.
- ŠUTA, M. 2008. Evropská půda v ohrožení – opomíjený problém. Respekt.cz.
- THIEN, S.J., GRAVEEL J.G., 2003. Laboratory manual for Soil Science, Agricultural & Environmental Principles. 8th.Edition. ISBN 0-07-242881-3.
- TRNKA M., DUMBROVSKÝ, M., SEMERÁDOVÁ, D., ŽALUD Z. 2004. Projections of uncertainties in climate change scenarios into expected winter wheat yields. In: Theoretical and Applied Climatology, 77, s.229-249.
- TRNKA M., et al. 2008. Regional differences in the climate change impacts on the rainfed cereal production in the Central Europe–consequences, uncertainties and adaptation options, In Climate Change.
- TYLER, G., 1992. Critical Concentrations of Heavy Metals in the Mor Horizon of Swedish Forests. Swedish Environmental Protection Agency, Solna.
- UAKE: http://www.uake.cz/frvs1269/obr/temata_obrazky/6_tema/6obr13.jpg
- UNEP 1992. Desertification, land degradation [definitions]. Desertification Control Bulletin 21.
- ÚKZÚZ 1: http://eagri.cz/public/web/file/242589/BMP_92_07_1cast.pdf
- ÚKZÚZ 2: http://eagri.cz/public/web/file/244354/_32007.pdf
- ULRICH, B. 1991. An Ecosystem Approach to soil Acidification. In: Ulrich B., Sumner M.E. (Eds.) Soil Acidity. Springer-Verlag, Berlín. s.28-79.
- USDA 1: The Color of Soil. NRSC (Natural Resources conservation Service), dostupné z: http://web.archive.org/web/20071027060221/http://soils.usda.gov/education/resources/k_12/lessons/color/
- ÚVTIZ Metodika: Ochrana zemědělské půdy před erozí. 5/1992,
- VÁRALLYAY G. 1994. Climate change, soil salinity and alkalinity. In: Soil Responses to Climate Change [Rounsevell, M.D.A. and P.J. Loveland (eds.)]. NATO ASI Series I, Global Environmental Change, vol. 23, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 39-54.
- VILČEK, J., HRONEC, O., BEDRNA, Z. Environmentální pedológia. Nitra: SPU, 2005. 299s.
- VISSER, W. J. F. 1993. Contaminated Land Policies in Some Industrialised Countries. TCB R02, The Hague.
- VLČEK, V. 2007 Statistické hodnocení reálné aberace černozemě na Moravě za Komplexního průzkumu půd a dnes. Disertační práce. MZLU v Brně. 135 s.

- VLČEK V., BRTNICKÝ M., POKORNÝ E. Očekávané pedoklimatické změny na území ČR. 2010. In Problematika sucha a možnosti její nápravy- sborník příspěvků. s. 1-7. ISBN 978-80-7375-432-7.
- VÚMOP: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1887>
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Maryland. SEA USDA, Hyatsville, 58p.
- ZACHAR D., 1970. Erózia pôdy. SAV, Bratislava, 528 s. In Janeček 2002.
- ZEHNÁLEK J., KRYŠTOFOVÁ O., ADAM V., KIZEK R. Zemědělské plodiny využitelné pro hyperakumulaci těžkých kovů a fytoremediace. Listy cukrovarnické a řepařské. s.419. 2010
- ZHAO-FANG JIE et al., 2007. Effects of soil compaction and irrigation on the concentrations of selenium and arsenic in wheat grains. Science of The Total Environment Vol. 372, Iss. 2–3, pp 433–439.
- ŽALUD, Z., DUMBROVSKÝ, M. Modeling climate change impacts on maize growth and development. In Theoretical Applied Climatology, 2002, 72: s.85–102.