FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Chemie geosféry
B240008

Autor: Jiří Kroužek
Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

Úvod do Chemie geosféry

- zimní semestr
- Chemie geosféry (Geochemistry) B240008
- vyučující
  - Ing. Jiří Kroužek, Ph.D. (garant)
  - Ing. Marek Martinec, Ph.D.
  - Ing. Radek Škarohlíd, Ph.D.
- hodinová dotace 2/1
- hodnocení
  - zápočet – výpočty + 5 min prezentace
  - zkouška – test + ústní

CC BY SA

Účel předmětu Chemie geosféry

- teoretický základ oboru geochemie a příbuzných oborů se zaměřením na environmentální chemii
- chemismus, fyzikální aspekty i biologie pedosféry
- chemické a fyzikálně-chemické jevy v pedosféře
- aplikovaná geochemie z hlediska antropogenního vlivu na pedosféru
- základní aspekty geologie, geografie, pedologie a hydrogeologie – základní rámec pro pochopení a aplikaci geochemie

Aplikace anorganické, organické, environmentální, fyzikální i analytické chemie na geosféru, zejména pedosféru či litosféru

CC BY SA

Sylabus předmětu

1. Úvod a vymezení základních pojmů, definic a principů
2. Základy geologie - endogenní a exogenní geologické procesy, geologická stavba ČR, geologické mapy
3. Pedosféra - půdní pokryv Země, vznik a vývoj půdy, půdotvorné faktory, podmínky a procesy, půdní profil, půdní režimy
4. Chemické složení půd - anorganická složka, půdní minerály, krystalografie, mineralogie
5. Chemické složení půd - půdní organická hmota
6. Fyzikální vlastnosti půdy - zrnitost půdy, půdní struktura, pórovitost půdy
7. Fyzikálně - chemické procesy v půdě - chemické rovnováhy v půdě, termodynamika, půdní roztok
8. Fyzikálně - chemické procesy v půdě - adsorpce v půdě, iontová výměna, redox reakce
9. Půdní organismy a biologická činnost v půdě
10. Geochemické cykly C, N, P, S, Ca, K, Na, Mg
11. Základy hydrogeologie - proudění v saturované a nesaturované zóně, druhy kolektorů podzemní vody, Darcyho zákon, teplo v půdě, atmogeochemie
12. Ochrana půdy a fyzikální a chemická degradace půdy - kontaminace organickými polutanty a kovy, atmosférická depozice/acidifikace
13. Ochrana půdy a fyzikální a chemická degradace půdy - eutrofizace, dekontaminační technologie/možnosti nápravy, transport kontaminace, legislativa
14. Základy geografie - zeměpisné a astronomické souřadnice, výpočty na kouli, GPS

cc BY SA

Literatura

- WHITE, William M. Geochemistry. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2013. ISBN 9780470656679
- NEISER, Jan, Marcel HOLÝ a Jiří VIDLÁŘ. Geochemie. Ostrava: Ostravská univerzita, 1993. ISBN 8070427094
- FETTER, C. W. Applied hydrogeology. 4th ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2001. ISBN 0130882399
- ČAPEK, Richard. Planetární geografie. Dotisk. Praha: Karolinum, 1997. ISBN 80-7066-698-6
- PANSU M., & GAUTHEYROU, J. Handbook of Soil Analysis - Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Berlin Heidelberg New York: Springer, 2006
- MITCHELL, J. K., & SOGA, K. Fundamentals of soil behavior, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 2005
- EVANGELOU, V.P. Envionmental Soil and Water Chemistry: Principles and Applications, New York: John Wiley & Sons, 1998, ISBN 0471165158
- APPELO, C.A.J, POSTMA, D. Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2nd Ed., Leiden: A.A. Balkema Publishers, 2005, ISBN 0415364213
- MEUNIERS, A., Clays, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005, ISBN: 3-540-21667-7
- VRÁBLÍKOVÁ, J., VRÁBLÍK, P., Aplikovaná pedologie, 2008, Univerzita J.E. Purkyně Ústí nad Labem – FŽP, skriptum
- BLAŽKOVÁ, M., Základy geologie, 2014, Univerzita J.E. Purkyně Ústí nad Labem – FŽP, skriptum
- REJŠEK, K., VÁCHA, R., Nauka o půdě, 2019, Agriprint, Olomouc, ISBN 978-80-87091-82-1
- TOMÁŠEK, M., Půdy České republiky, 2020, ČGS Praha ISBN 9788070758618
- ŠIMEK, M., Skleníkové plyny z půdy a zemědělství, 2019, Academia Praha, ISBN 978-80-200-3011-5
- CHVÁTAL, M., Úvod do mineralogické krystalografie, 2020, Vodní zdroje Chrudim, ISBN 978-80-87883-14-3
- CHVÁTAL, M., Úvod do systematické mineralogie, 2020, Vodní zdroje Chrudim, ISBN 978-80-87883-13-6
- WEISS, Z., KUŽVART, M., Jílové minerály a jejich nanostruktura a využití, 2005, Karolinum, ISBN 80-246-0868-5
- ČERNÍK, M., Geochemie a remediace důlních vod, 2009,Aquatest Praha, ISBN 978-80-254-2921-1
- HONS, R.J., Atlas našich hornin, 2017, Aladin Agency, ISBN 978-80-906737-4-8

CC BY SA

Základní pojmy – vědy o geosféře

- GEOLOGIE – věda o Zemi
  - zkoumá složení Země, její stavbu a historický vývoj
  - celá řada podoborů – geochemie, geofyzika, hydrogeologie, mineralogie, petrologie, vulkanologie, seismologie, fyz.geografie, paleontologie, geotechnika atd.
  - dynamická, strukturní, historická, sedimentární, ložisková, regionální, aplikovaná, inženýrská, geonika
- GEOCHEMIE – věda o chemickém složení Země
  - zkoumá obsah, distribuci a procesy migrace prvků ve složkách ŽP, látkové a energetické toky v čase a prostoru, interakce látek s hydrosférou, atmosférou a biosférou
- PEDOLOGIE – půdoznalectví (pedon = země/půda + logos = slovo/nauka)
  - zabývá se vznikem, podstatou, vlastnostmi, proměnami a rozšířením půd
  - výzkum půdy ve vazbě na chemii, fyziku, biologii, geologii a zemědělství
- HYDROGEOLOGIE
  - zabývá se podzemními vodami, jejich původem, podmínkami výskytu, zákony pohybu, jejich fyzikálními a chemickými vlastnostmi a jejich interakcí s okolním prostředím (povrch. vodami, horninami, atmosférou)
- GEOGRAFIE – zeměpis (grafein=psát)
  - studuje prostorové rozšíření jevů na Zemi, jejich interakce a vývoj v čase
  - krajinná sféra – litosféra (petrologie, geomorfologie aj.), hydrosféra (hydrografie, hydrologie aj.), atmosféra (klimatologie, meteorologie), pedosféra (pedologie, pedogeografie), biosféra (biogeografie)
  - fyzická geografie, socioekonomická geografie, regionální geografie, kartografie

CC BY SA

Základní pojmy - geochemie

- Horninová geochemie
  - zkoumá obsah a distribuci chemických prvků v horninách a minerálech v celém zem.tělese, dále zákonitosti procesů a vytváří teorie/modely vzniku zem.sfér, ložisek nerostných surovin, hornin atd.
- Izotopová geochemie
  - obsahy izotopů lehkých i těžkých prvků ve složkách geologického či životního prostředí
- Organická geochemie
  - organické látky ve složkách geologického či životního prostředí
- Biogeochemie
  - interakce biosféry a geosféry, toky a cykly chemických prvků v ekosystémech za účasti organismů a obsah a distribuci prvků v živých organismech
- Environmentální geochemie
  - aplikace geochemických metod na studium problematiky ochrany životního prostředí, zejména v souvislosti s antropogenním znečištěním
- Kosmochemie
  - obsah a distribuce chemických prvků ve vesmíru
- málo používané termíny
  - pedogeochemie týkající se půdy
  - hydrogeochemie o podzemní vodě
  - atmogeochemie o půdním vzduchu

CC BY SA

Co studuje obecná geochemie??

- chemismus ve Vesmíru – historie vzniku Země, planety, meteority, komety
- složení Země – jádra + pláště + kůry, historie vývoje Země
- sedimentární horniny – vývoj pedosféry, mořské sedimenty
- izotopová geochemie – principy studia historie vývoje Země
- podrobná fyzikální chemie pro pochopení principů vývoje Země – termodynamika, kinetika atd.
- zahrnuje chemii atmosféry
- hydrochemie, chemie oceánů a moří
- biogeochemie – historický vývoj života na Zemi (chemicky)
- environmentální geochemie – souvisí s činností člověka

Předmět Chemie geosféry je zaměřen na environmentální geochemii, základy obecné geochemie potřebné pro pochopení tohoto oboru, aplikace těchto obecných poznatků v této oblasti a základy dalších příbuzných/navazujících oborů.

Cílem je rozvinout znalosti týkající se budoucího uplatnění studovaného oboru na VŠCHT

CC BY SA

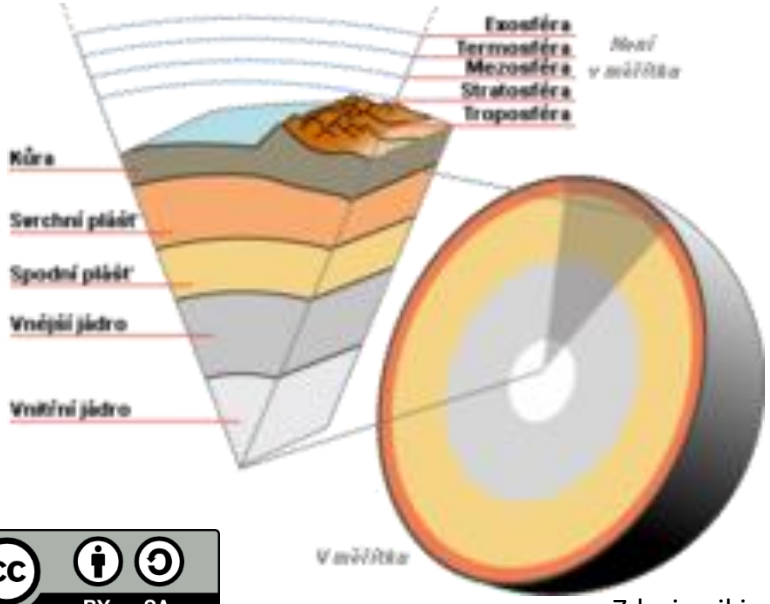
Chemie geosféry v praxi

- ochrana podzemních vod (zdrojů pitné vody)
- zemědělství – agrochemie (pesticidy, hnojiva), ochrana zemědělského fondu, udržitelný rozvoj, cirkulární ekonomika, zemědělské odpady, odpad z čištění odpadních vod
- sanace starých ekologických zátěží a řešení ekologických havárií (ochrana zdraví obyvatelstva i ekosystémů) – sanační technologie, analýza rizik
- vzorkování a analýza životního prostředí
- těžba nerostných surovin – uhlí, ropa, plyn, rudy,
- geotechnika, geotermální energie, zdroje pitné vody, geologický/geochemický průzkum, výstavba, odkaliště, haldy, odvaly
- technologie ochrany životního prostředí – skládky odpadů a skládkové výluhy, tuhé průmyslové odpady (metalurgie, elektrárny, spalovny), radioaktivní odpady, nakládání s průmyslovými odpady, důlními vodami, ochrana srážkových vod, úprava pitné vody, zasakování a nakládání s komunálními odpadními vodami
- nakládání se sedimenty ve vodních dílech (odbahnění)
- atmosférická depozice – ochrana povrchových vod, lesních porostů
- matematické modelování transportu látek v horninovém prostředí
- legislativní požadavky na OŽP – komplexní problematika včetně geochemie, např. EIA, odbory životního prostředí na KÚ, agenda MŽP a podřízených organizací (CENIA, ČIŽP aj.)
- ochrana přírody (NP, CHKO atd.)

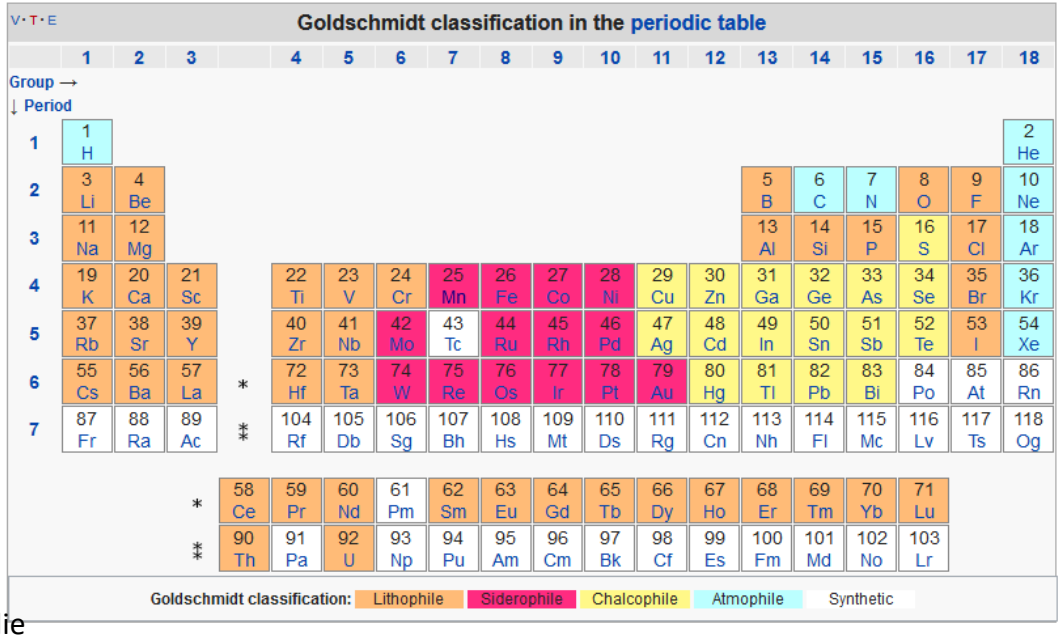
CC BY SA

Základní terminologie

- biogeochemické cykly – cesta pohybu chemických látek (prvků) všemi složkami Země (tj. biosféry, litosféry, atmosféry a hydrosféry), jedná se o krátkodobé cykly
- geochemické cykly – cesta pohybu prvků na povrchu a v kůře Země, zahrnuje geologické a chemické faktory, v geologickém světě zahrnuje i podpovrchové a vulkanické pohyby, nejedná se o krátkodobé změny
- litosféra, pedosféra, atmosféra, hydrosféra, biosféra
- Goldschmidtova klasifikace chemických prvků



Zdroj: wikipedie



Zdroj: wikipedie

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Základy geologie - endogenní a exogenní geologické procesy, geologická stavba ČR, geologické mapy

Autor: Marek Martinec

Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

Země jako planetární těleso

- koule
- zjednodušená představa
- pro rychlé výpočty
- rotační elipsoid
- zjednodušení pro kartografické výpočty
- určení hlavní (a) a vedlejší poloosy (b) a zploštění
- geoid
- těleso, jehož povrch je tvořen klidnou hladinou

CC BY SA

Země jako planetární těleso

- Rovníkový průměr: 12 756,270 km
- Polární průměr: 12 713,500 km
- Zploštění: 0,003 352 861
- Povrch: 510 065 284,702 km^2
- Objem: $1{,}0832 \times 10^{12}$ km^3
- Hmotnost: $5{,}9736 \times 10^{24}$ kg
- Průměrná hustota: 5515 $kg.m^{-3}$

CC BY SA

Země jako planetární těleso

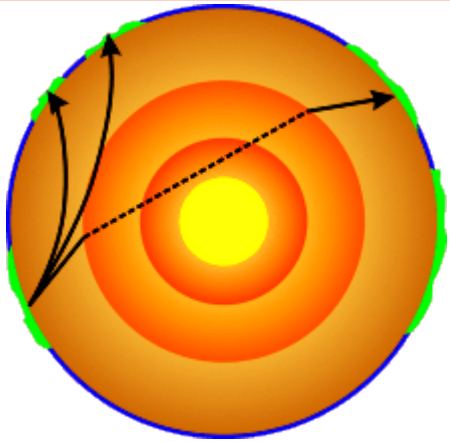
složka	% hmotnosti země
Plášť	67
Jádro	32
Kůra	0,8
Hydrosféra	0,02
Atmosféra	0,00009
Biosféra	0,0000001

Hustota [$g.cm^{-3} = 10^3 kg.m^{-3}$]			
kůra	**plášť**	**jádro**	**průměr**
2357	4509	10914	5515

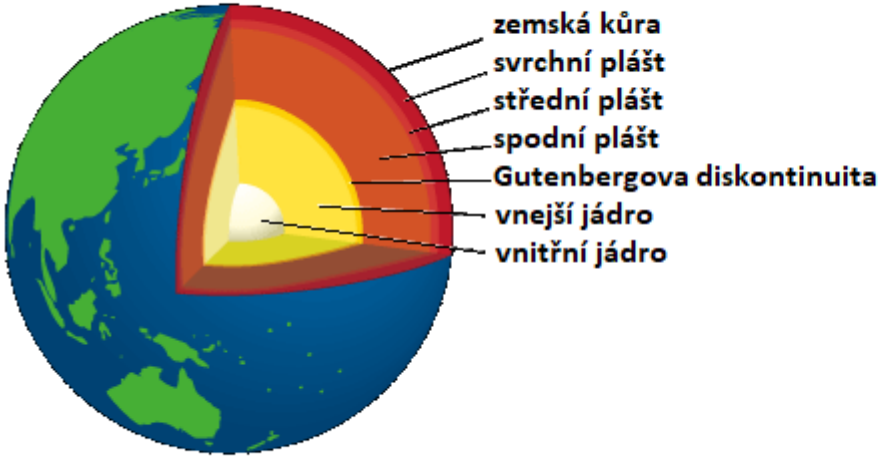
CC BY SA

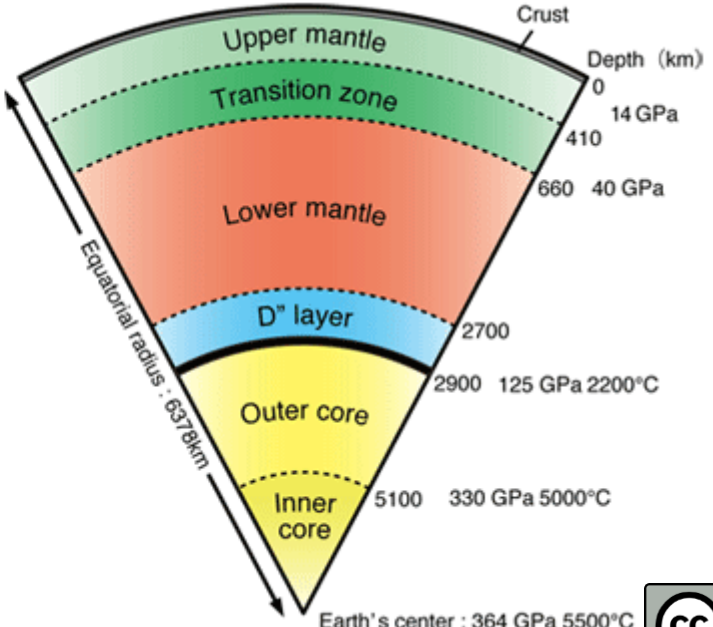
Složení zemského tělesa

- přímé pozorování - vrty jen do 10-12 km
- usuzováno na základě šíření a lomu seismických vln (odráží fyzikální vlastnosti zemské hmoty)



Průchod seismických vln Zemí





Zdroj: http://www.spring8.or.jp/en/news_publications/research_highlights/no_57/

CC BY SA

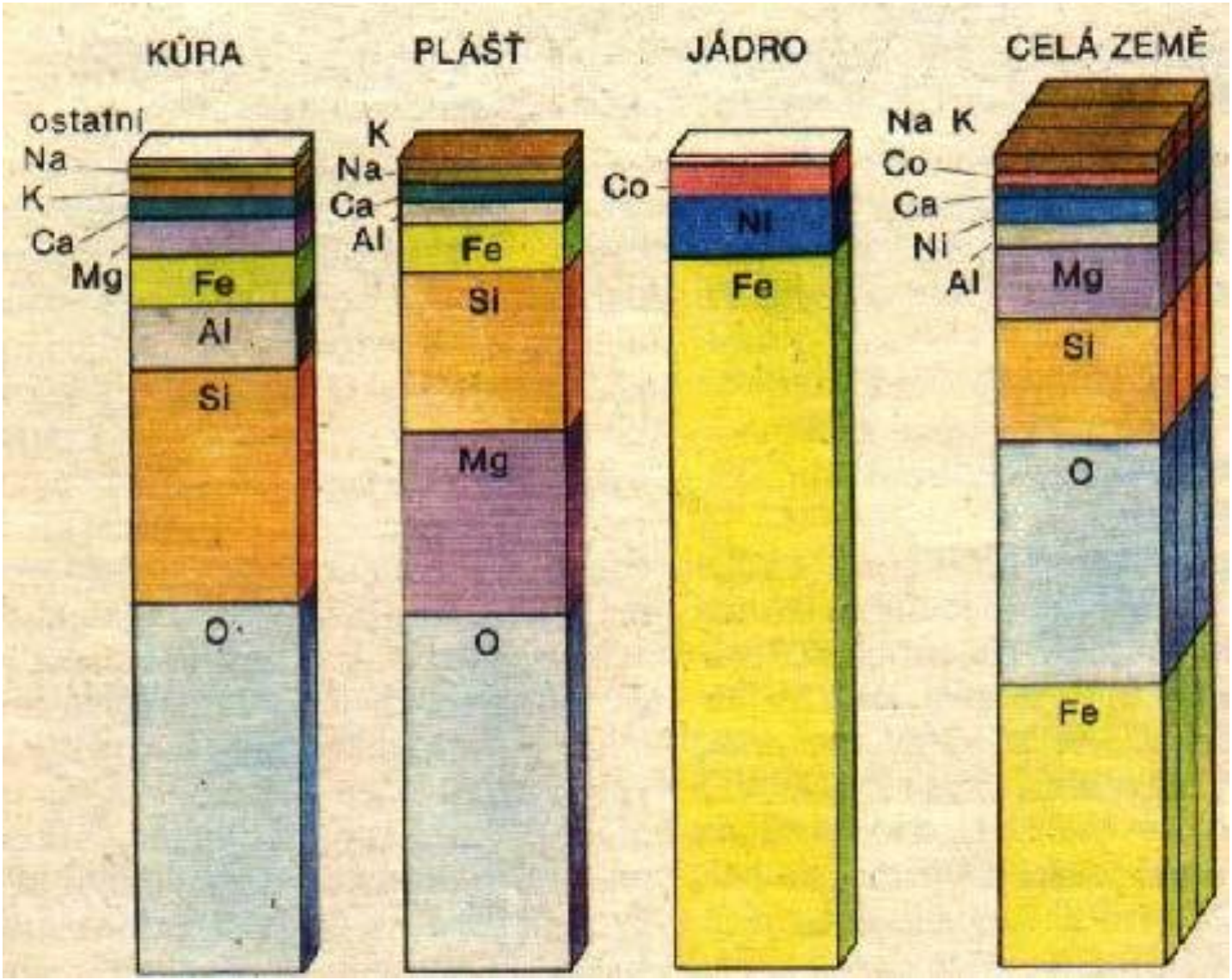
Fyzikální vlastnosti jádra

- Vnější jádro:
- mocnost 2300 km
- zřejmě v tekutém stavu
- teploty 3700 – 4300°C
- hustota 10 -12 $g.cm^{-3}$
- generátor magnetického pole Země
- Vnitřní jádro:
- mocnost 1200 km
- zřejmě pevné
- teploty 4300 - 7200°C
- hustota 15 - 17 $g.cm^{-3}$
- zdroj vnitřní energie Země (rozpad radioaktivních prvků)

CC BY SA

Složení zemského tělesa

Zdroj: Jakeš, P. Planeta Země. Praha, Mladá fronta, 1984. 413 s.



CC BY SA

Vznik zemské kůry

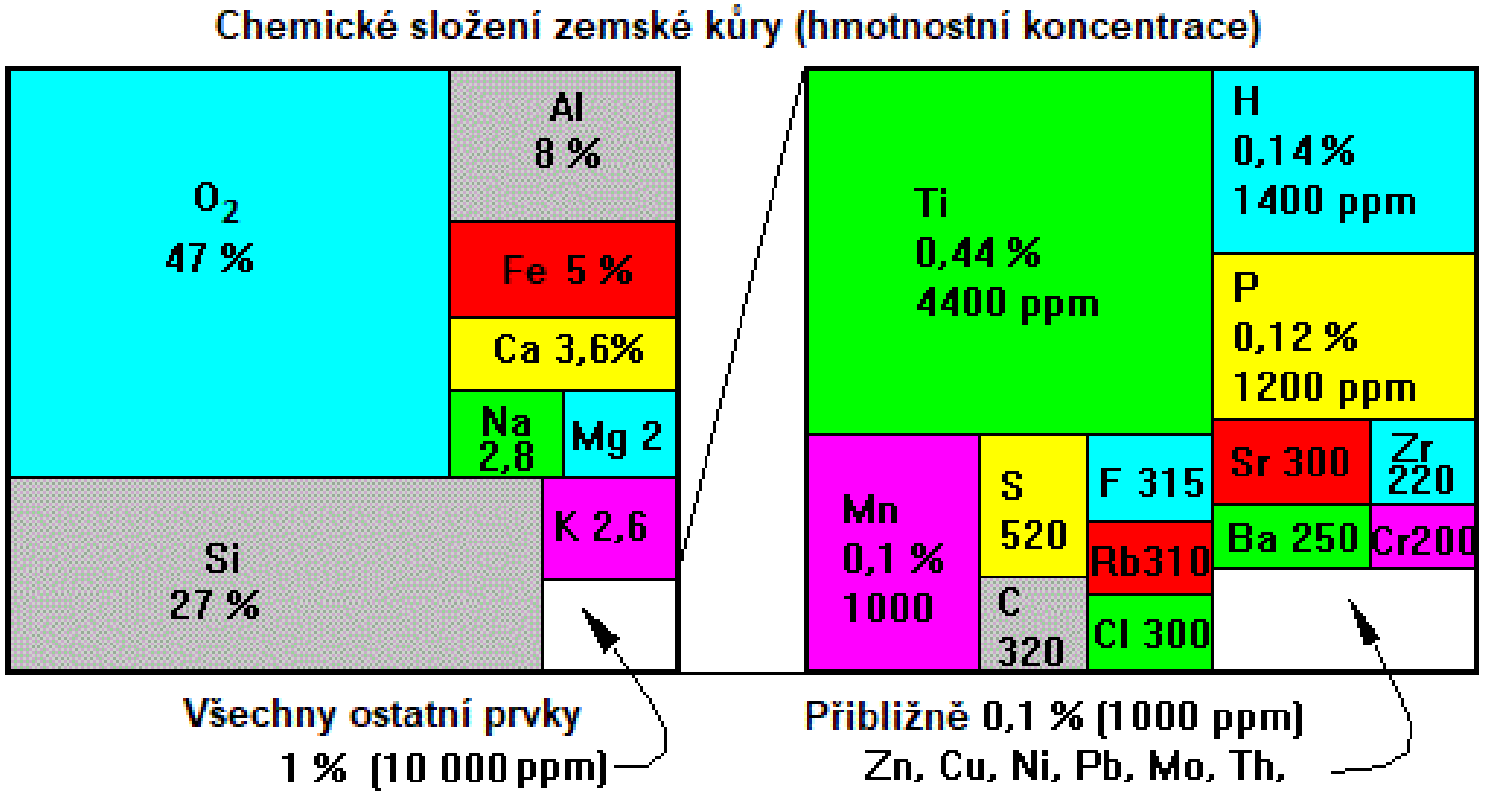
3 způsoby vzniku:

- Vytavováním hornin z pláště, od nichž se diferenciací odštěpily lehčí korové látky, které postoupily do kůry.
- Rozrušením těchto lehčích látek na povrchu exogenními a biogenními činiteli a jejich přemístěním do sedimentů.
- Metamorfózou sedimentů i látek vytavených z pláště v oblastech zvýšených tlaků a výstupů tepla.

CC BY SA

Složení zemské kůry

Zdroj: Composition of the Continental Crust, R. L. Rudnick, University of Maryland



CC BY SA

Strukturní geologie

- tvary geologických těles
- způsob vnitřního uspořádání
- primární struktury vznikají během vzniku hornin
- vrstvy
- soubory
- tektonické struktury
- spojité (konjunktivní), bez přerušení těles (vrásy, flexury)
- nespojité (disjunktivní), s přerušením těles (ruptury – zlomy, příkrovy, pukliny, kliváž)

CC BY SA

Tektonické struktury

- velikost kolísá od mikroskopických rozměrů až po stovky kilometrů
- velké regionální a kontinentální struktury – rozeznatelné jen z map či leteckých a družicových snímků
- Dělí se dle velikosti:

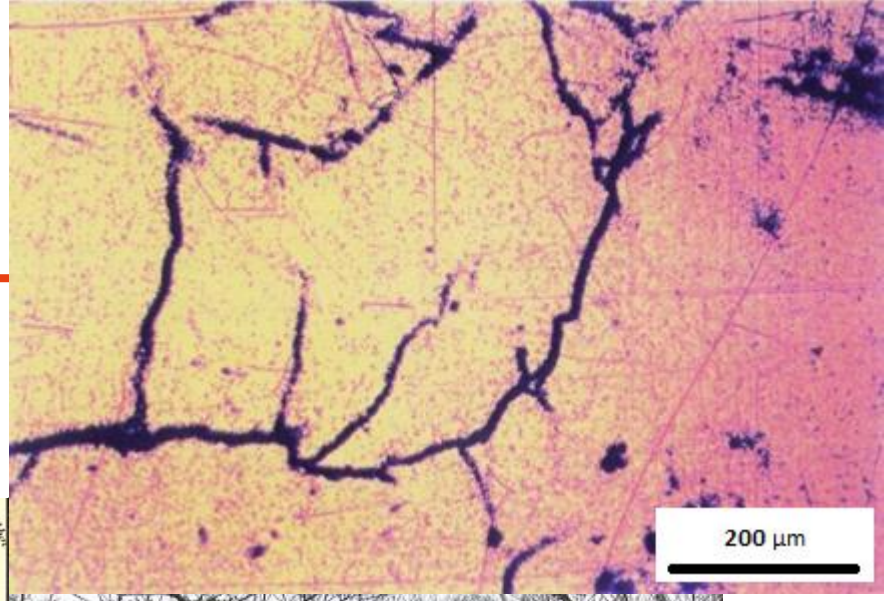
- mikroskopické tektonické struktury,
- mezoskopické (pozorovatelné okem),
- megaskopické (regionální, kontinentální).

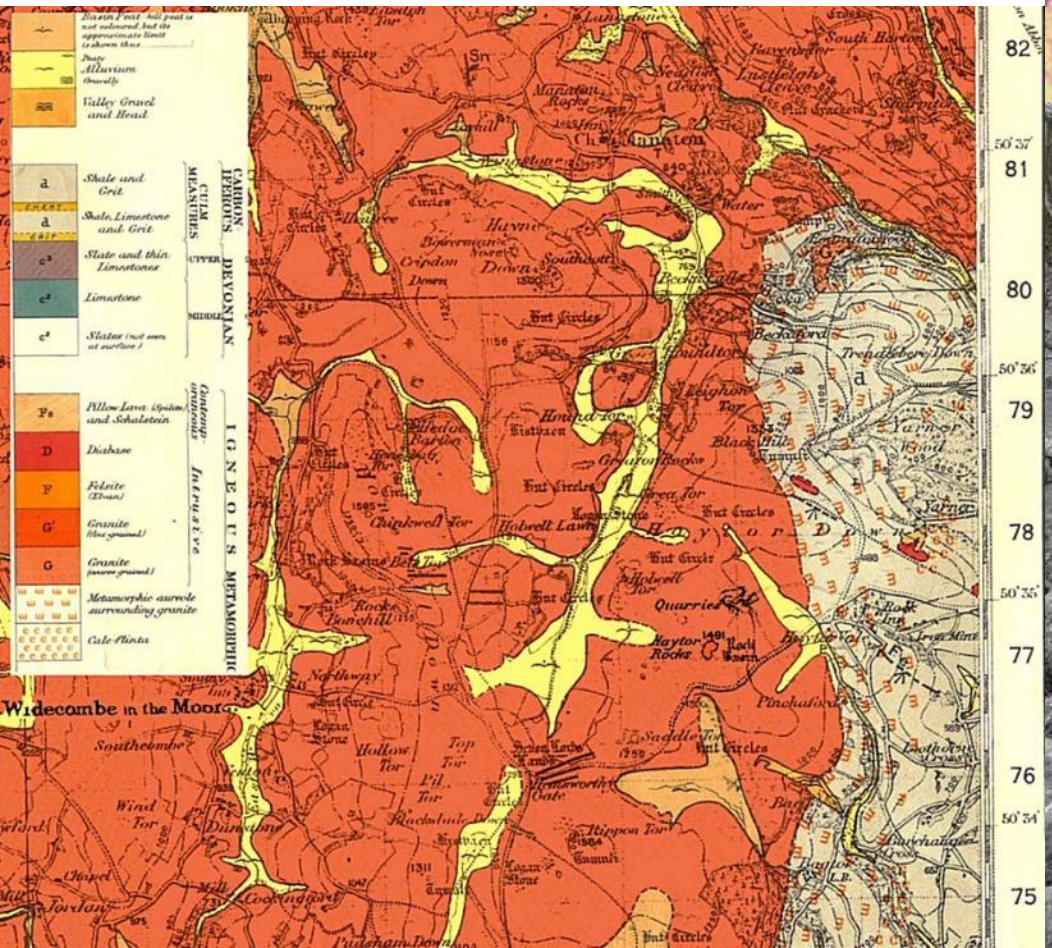
CC BY SA

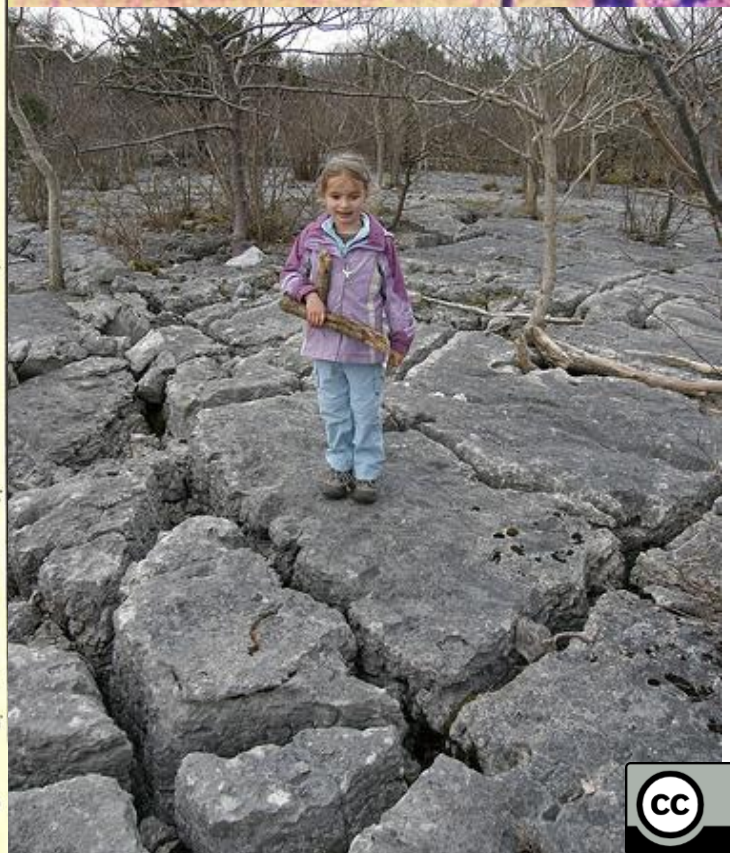
Tektonické struktury

Zdroj: British Geological Survey

Zdroj: Mike Heath - Associate Lecturer - Sheffield Hallam University



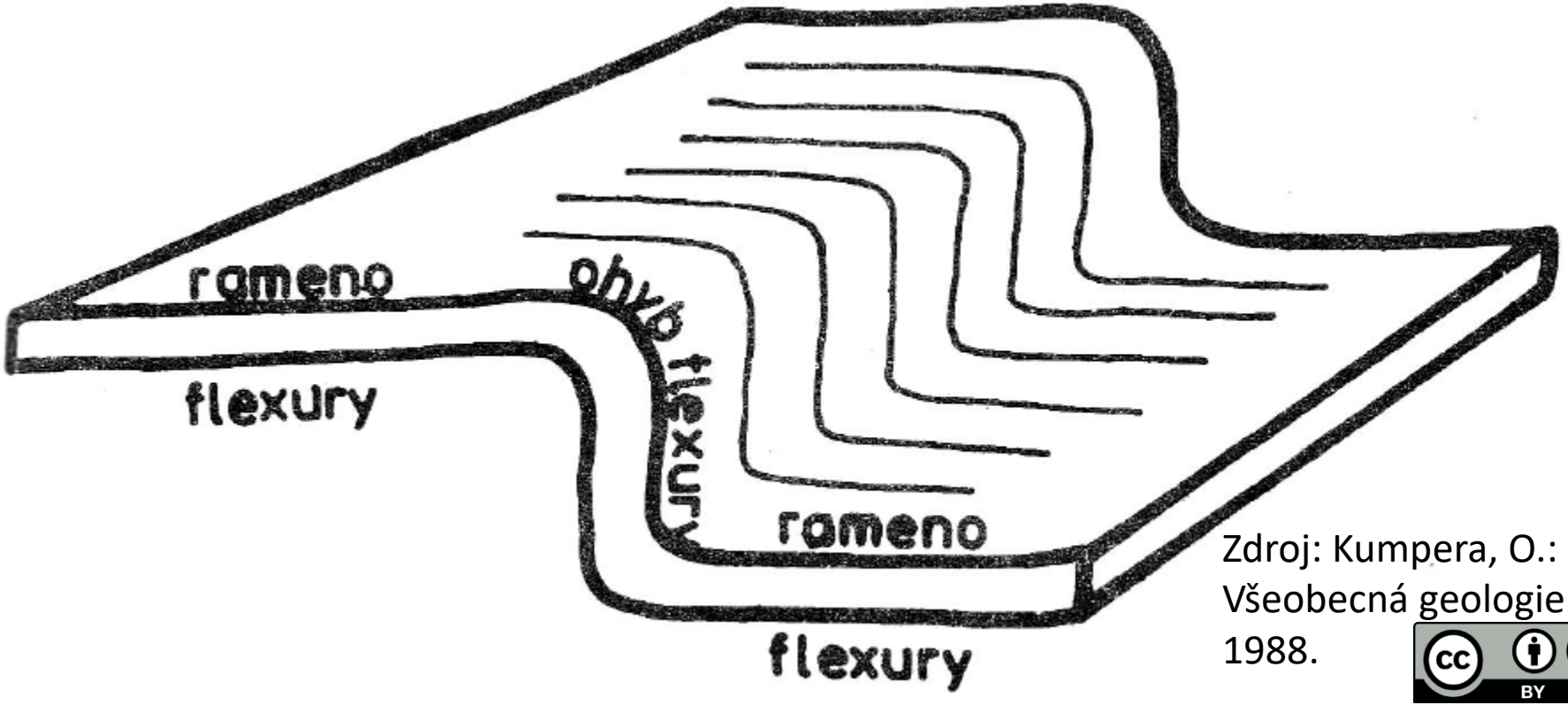




CC BY SA

Spojité tektonické struktury – flexury

- Jako flexury označujeme nejjednodušší spojité (konjunktivní) tektonické struktury, vzniklé náhlým prohnutím vrstev, nejčastěji subhorizontálních.



Zdroj: Kumpera, O.: Všeobecná geologie. 1988.

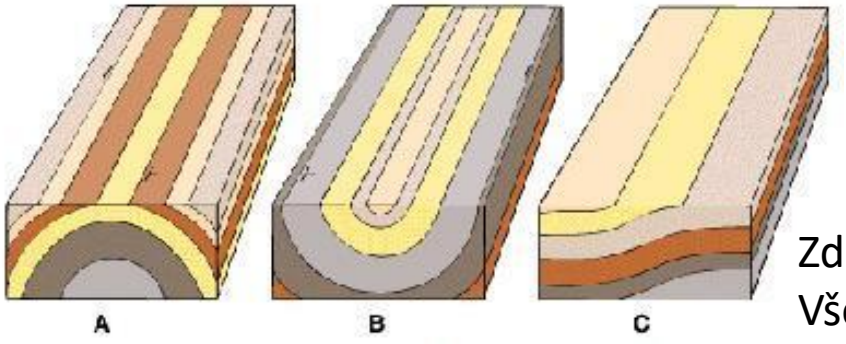
cc BY SA

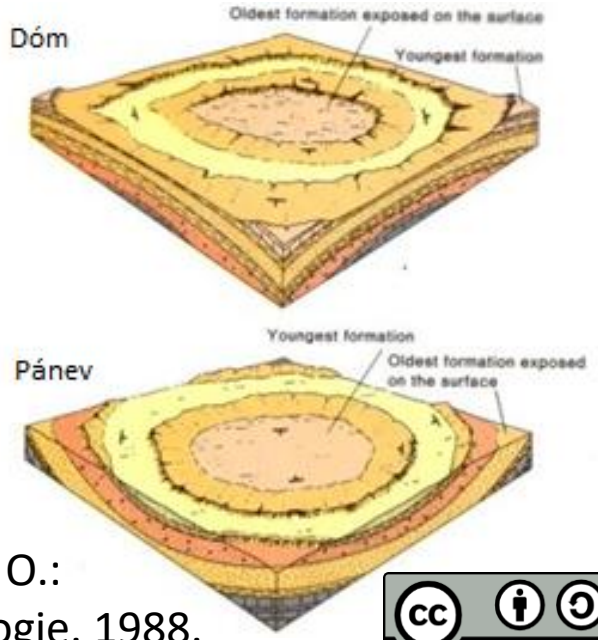
Spojité tektonické struktury – vrásy

- Vrásou rozumíme konjunktivní tektonickou strukturu, v níž jsou vrstvy nebo jiná deskovitá tělesa deformovány do tvaru, jehož příčný řez je podobný sinusoidě.

Rozlišujeme:

- Antiklinála – část vyklenutá nahoru (A)
- Synklinála – část klenutá dolů (B)
- Monoklinála (C)

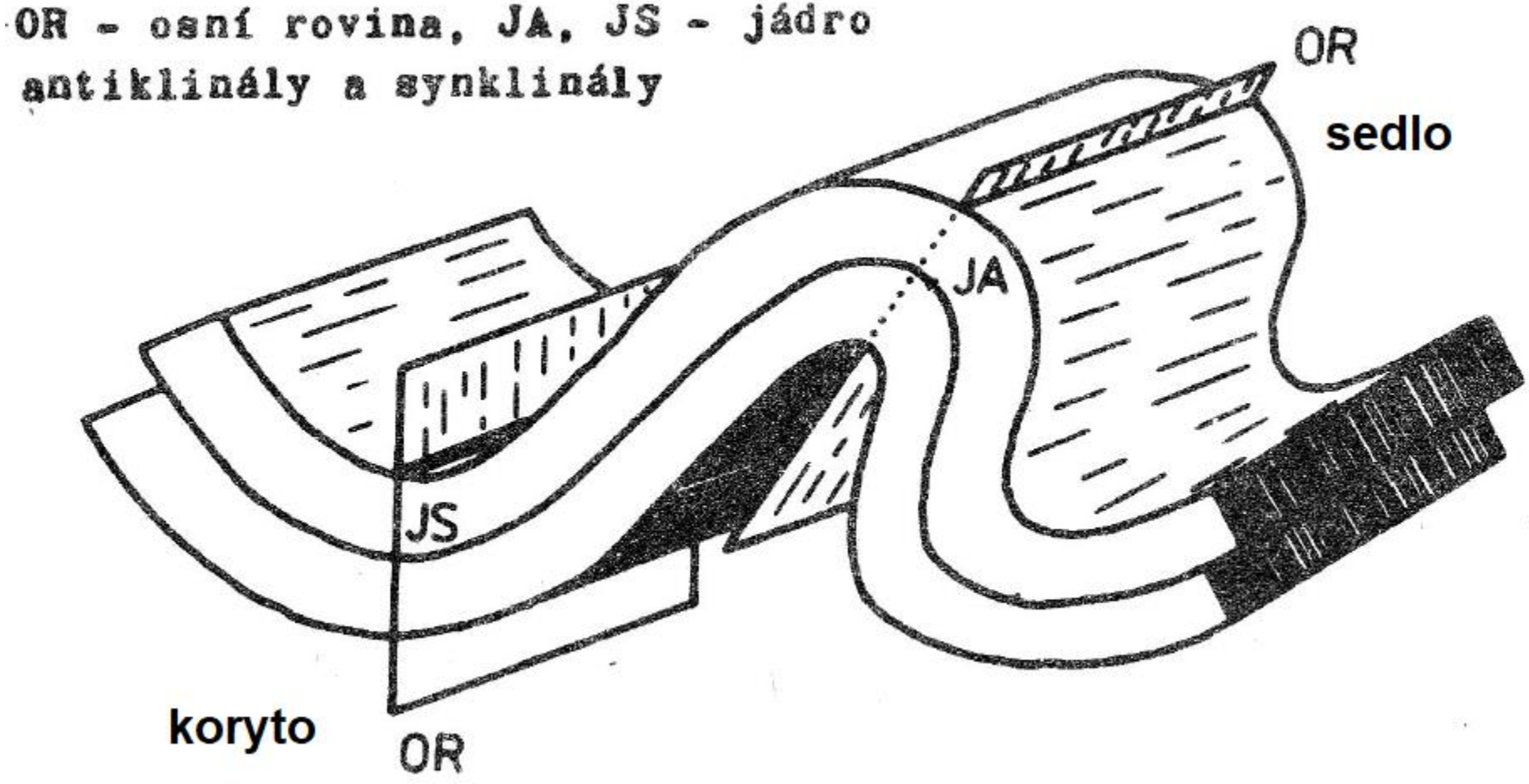




Zdroj: Kumpera, O.: Všeobecná geologie. 1988.

CC BY SA

Spojité tektonické struktury – vrásy



Zdroj: Kumpera, O.: Všeobecná geologie.

CC BY SA

Spojité tektonické struktury – vrásy

- Mají značný vliv na technické činnosti v horském masivu.
- Podmiňují hlavní tvarové vlastnosti ložiska nerostů.
- Při vrásnění dochází k modifikaci vlastností těženého nerostu a okolních hornin.

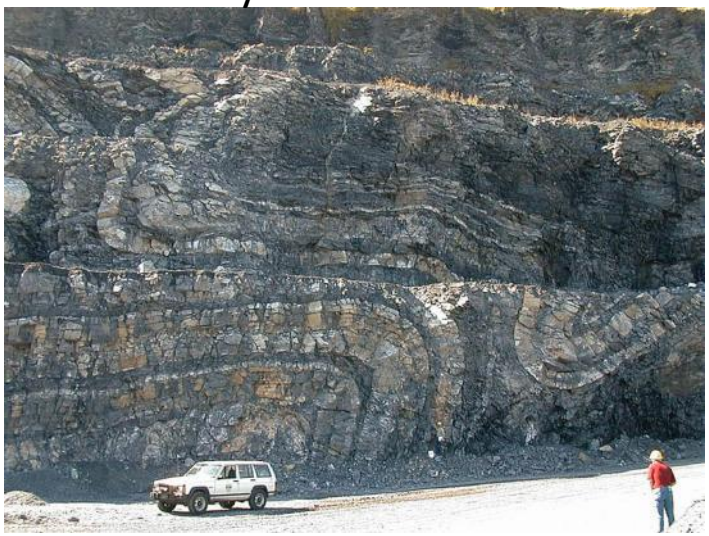
Např.: v antiklinálách se mohou hromadit plyny a kapalné uhlovodíky.

- Tvar a poloha vrás značně ovlivňují vlastní geotechnickou činnost.

CC BY SA

Spojité tektonické struktury – vrásy

Ležaté vrásy



Příkrov - ploché dalekosáhlé přesunutí nadložní kry



Diskordance (nekonformita):

jev, kdy na sebe nasedají vrstvy zemské kůry,
mezi jejichž usazením uplynulo delší časové období
- mladší horniny nahoře nemají strukturální vztah ke starším horninám dole (pláž Telheiro, JZ Portugalsko



Zdroj: Mike Heath - Associate Lecturer - Sheffield Hallam University

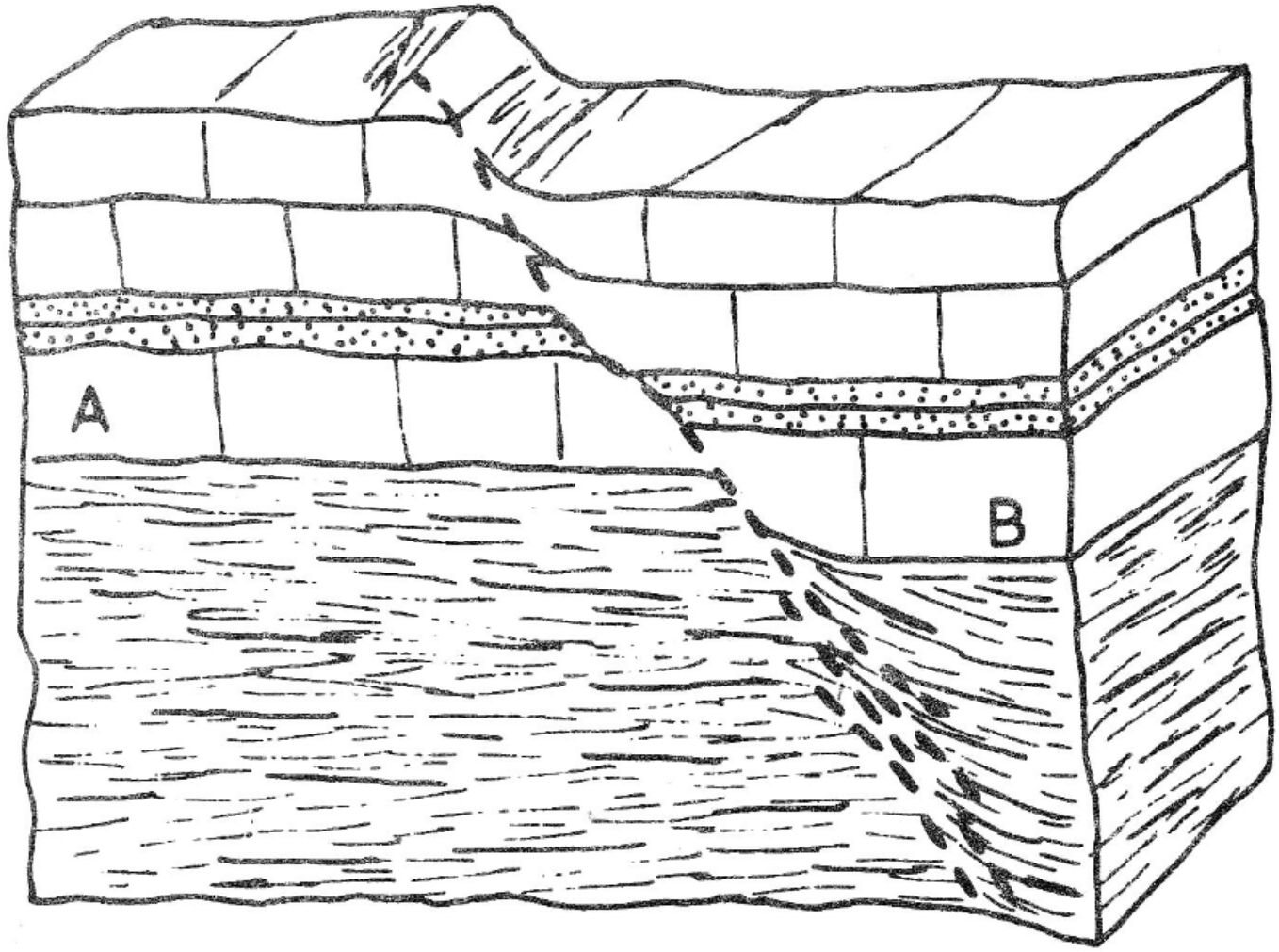
cc BY SA

Nespojité tektonické struktury – zlomy

- Zlomy představují rupturní poruchy původního uložení vrstev, při nichž došlo k přerušení vrstev a vytvoření plochy (nebo soustavy subparalelních ploch) diskontinuity, oddělující dvě kry horského masivu navzájem vůči sobě posunuté (dislokované).
- Zlomy a poruchová pásma se často projeví v krajinných tvarech, v morfologii krajiny. Skutečnost, že dislokační výplň bývá většinou tvořena drcenými horninami s menší pevnosti než okolní neporušené horniny, vede k tomu , že zlomy vystupují většinou v morfologických depresích, v nichž jsou horniny skalního podkladu překryty mocnějším pokryvem zvětralin.

CC BY SA

Nespojité tektonické struktury – zlomy



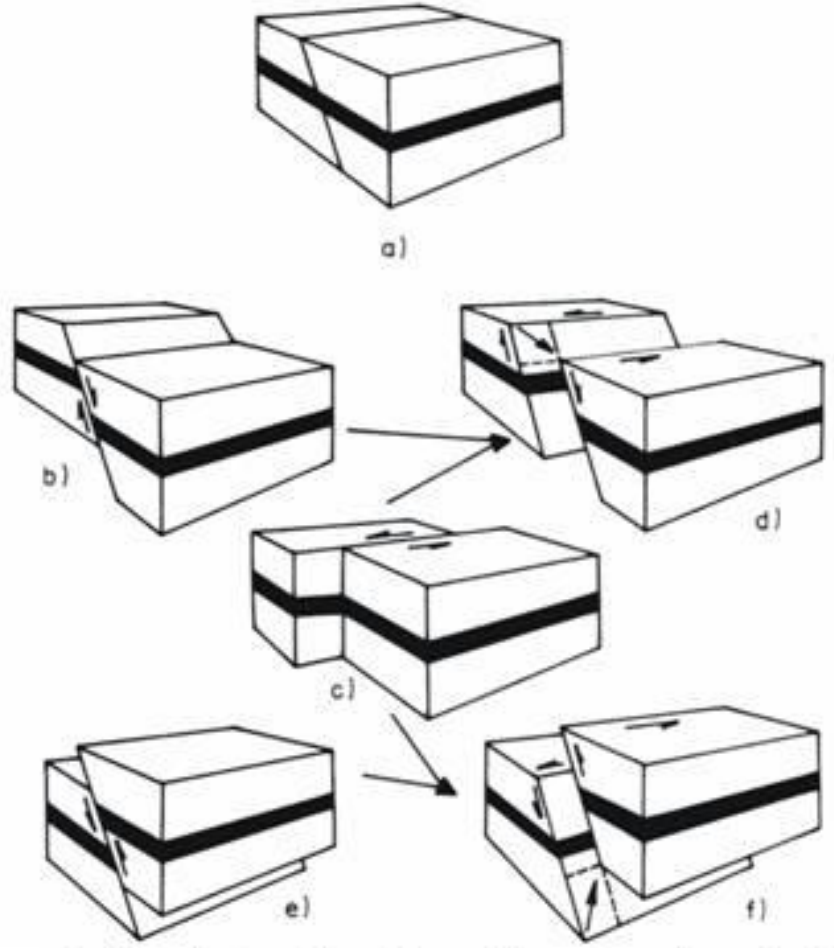
Blokdiagram poklesu. A - podložní kra, B - nadložní kra

Zdroj: Kumpera, O.: Všeobecná geologie. 1988.

CC BY SA

Nespojité tektonické struktury – zlomy

Obr. 6.3.5 Základní klasifikace zlomů podle orientace vektoru přemístění - posunu (Kumpera a kol., 1988)



a) výchozí stav, b) pokles, c) levostranný směrný posun d) šikmy pokles kombinovaný zlom, e)přesmyk, f) šikmý přesmyk

Zdroj: Kumpera, O.: Všeobecná geologie. 1988.

CC BY SA

Nespojité tektonické struktury – poruchy

- V blízkosti zlomových ploch a v jejich těsném sousedství dochází vlivem tektonického napětí při vzájemném pohybu ker ke změnám původních hornin.
- Horniny bývají rozdrceny, silně a nepravidelně rozpukány, prostoupeny četnými menšími dislokacemi, vrstvy mohou být nepravidelně zohýbány , vyválcovány a případně detailně provrásněny.
- Toto pásmo petrograficky a strukturně změněných hornin v dislokaci a v její blízkosti označujeme jako poruchové pásmo (poruchové zóny, dislokační pásmo atp.).

CC BY SA

Nespojité tektonické struktury – pukliny

- Pukliny - trhliny v hornině (rupturní struktura) malého rozsahu, podél nichž nenastal pohyb.
- Pukliny způsobují rozpukání hornin a na rozdíl od kliváže jsou v horninách méně husté, avšak lépe patrné.
- Rozeznávají se sevřené a otevřené pukliny.

Vznik puklin:

- smrštěním při tuhnutí magmatitů - odlučné pukliny,
- smrštěním při vysýchání sedimentů - desikační pukliny,
- účinky tektonických sil. – hlavní způsob.

- Podle účinku tektonických sil rozeznáváme:

a) pukliny tlakové, které jsou sevřené a kolmo orientované vůči tlaku,

b) pukliny tahové, které jsou otevřené a orientované kolmo vůči tahu,

c) pukliny diagonální (střižné).

- Podle orientace rozlišujeme pukliny podélné (směrné), příčné (úklonné), kosé (diagonální).

CC BY SA

Nespojité tektonické struktury – kliváž

- Kliváž - systém hustě vyvinutých, vzájemně paralelních sekundárních ploch, které jsou plochami potenciální štípatelnosti horniny, ale u kterých nedochází k úplné ztrátě soudržnosti. Jedná se o soubor ploch a jejich přechodů.
- Vlastní kliváž se skládá z úzkých zón (domén) v nichž jsou původní horniny intenzivně přepracovány. Nově vzniklé minerály jsou pak reorientovány ve směru těchto nových ploch. Každé dvě sousedící plochy jsou pak od sebe odděleny deformací, kterou nazýváme liton.

Kliváže dělíme dle hustoty:

- kontinuální - má velice hustě vyvinuté plochy opakující se na mikroskopické úrovni,
- oddálení - plochy kliváže jsou odděleny jen slabě deformované vrstvy litonů,
- krenulační - minerály jsou v ní prohnuty a nebo zvrásněny.

CC BY SA

Nespojité tektonické struktury – kliváž

Dělení dle vzniku:

- puklinové - kde pohyb nastal jen podle klivážních ploch,
- kluzné - nastal již částečný tok materiálu, což se spojuje s jeho částečnou rekrystalizací,
- toku - pohyb na klivážních plochách je již doprovázen pohybem plastického materiálu.

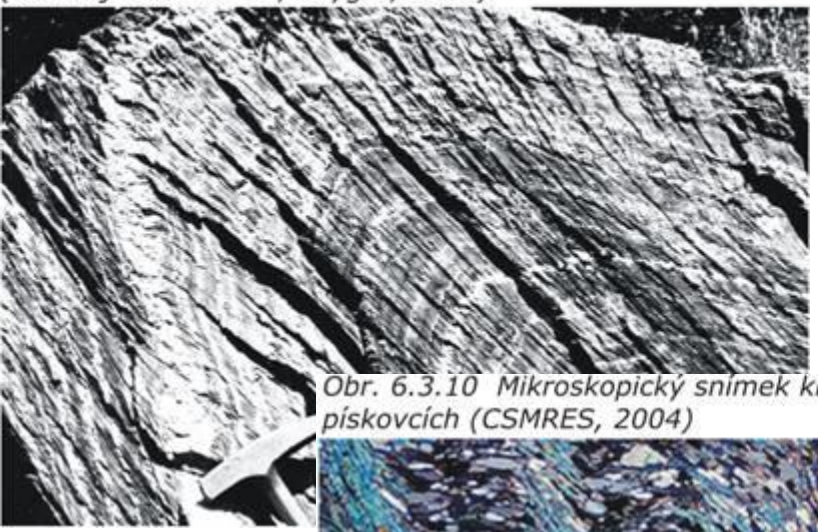
Dělení podle orientace vůči strukturním prvkům:

- osní - kliváž je paralelní s osní rovinou vrásy,
- příčná - kliváž je kolmá k osní rovině vrásy,
- vrstevní - kliváž je paralelní s původní vrstevnatostí.

CC BY SA

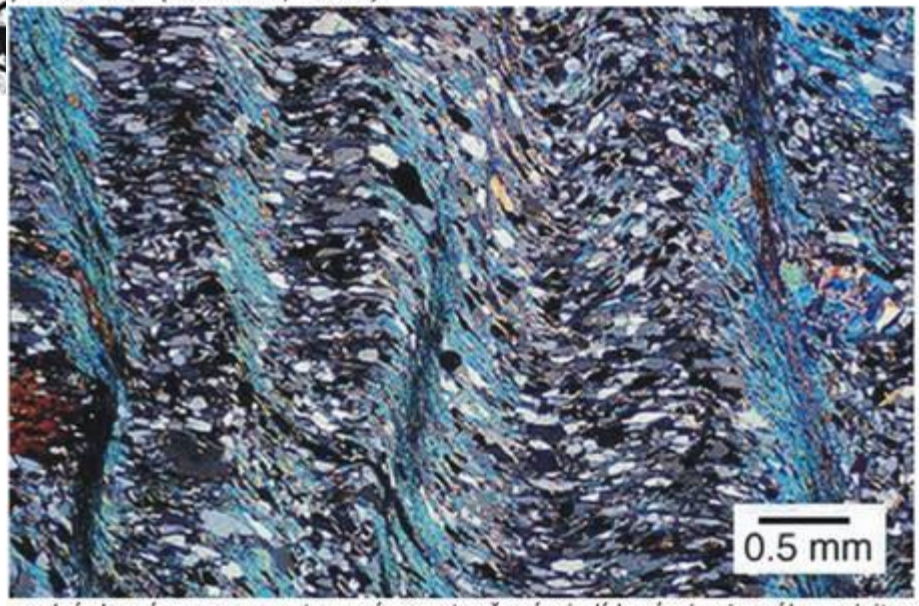
Nespojité tektonické struktury – kliváž

Obr. 6.3.9 Kliváž osní plochy paralelní s osní rovinou vrásy (srovnej s obr. 6.2.3; Grygar, 2004)



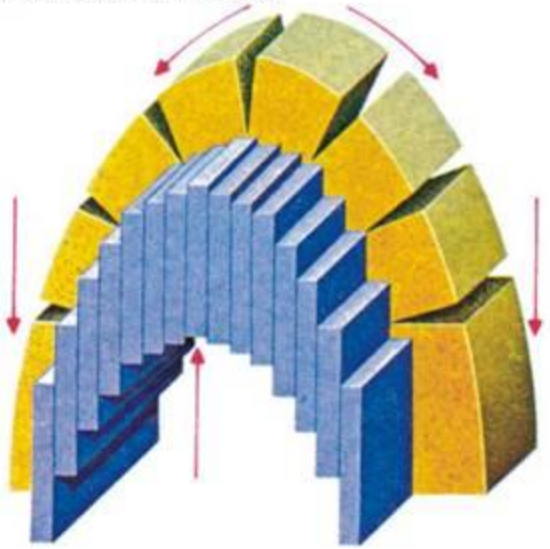
Zdroj:
http://geologie.vsb.cz/geologie/KAPITOLY/6_GEO_STRUKTURY/6_geol_struktury.htm

Obr. 6.3.10 Mikroskopický snímek kliváže vyvinuté v prachovitých pískovcích (CSMRES, 2004)



modré domény reprezentované novotvořenými slídovými minerály sericitem omezují domény původní horniny, tj. litony

Obr. 6.3.11 Vliv reologie - petrofyzikálních vlastností hornin na vývoj kliváže a puklin (Press, Siever, 1998)



V antiklinální struktuře se v kompetentních horninách (žlutá vrstva, např. pískovce) vyvíjí tahové otevřené pukliny a současně v nekompetentních horninách (modrá vrstva např. jílovce atp.) systém kliváže v poz-ici paralelní s osní rovinou vrásy kliváž osní plochy.

CC BY SA

Zásadní význam tektonických struktur (zlomů, puklin, vrás a kliváže)

- znehodnocují vlastnosti hornin
- zvyšují náročnost průzkumných prací a jejich rozsah
- významně ovlivňují stabilitu svahů
- velmi významně ovlivňují zákonitosti pohybu podzemních vod; na poruchová pásma jsou často vázány vývěry pramenů, včetně termálních vod
- tektonické struktury, především zlomy, zvyšují dynamické účinky zemětřesení
- ovlivňují stavby z hlediska projektování a výstavby
- znalost tektonického porušení horninového masivu, charakteru strukturních poměrů, umožňují racionální přístup k vyhledávání, průzkumu a těžbě stavebních nerostných surovin.

CC BY SA

Endogenní dynamika

- Pojednává o působení geologických činitelů, jejichž původ je v nitru zemského tělesa.
- Při povrchu Země tito činitelé působí proti vnějším geologickým silám (jsou s nimi v protikladu).
- Endogenní dynamika se zabývá všemi procesy, které souvisejí s přeskupováním hmot v zemském tělese a přetavováním a výstupem tavenin (magmatu) k povrchu nebo na povrch.
- Hlavními procesy jsou: diastrofismus a magmatismus dále pak plutonismus, vulkanismus, metamorfismus a diastrofismus

CC BY SA

Endogenní dynamika - magmatismus

- Jako magmatismus označujeme všechny pochody v zemské kůře, které vedou k vystupování horninové taveniny do svrchních částí zemské kůry nebo na povrch.
- Magma – žhavá tekutá tavenina hornin vznikající roztavením starších sedimentů, vyvřelin a metamorfovaných hornin.

Dělení dle složení:

- Kyselé – vznik tavením hornin sedimentárně-vulkanického původy za teplot 600-800°C, hloubka 5-20 km.
- Zásadité – vznik při teplotách 1100-1300°C rozpuštěné velké množství plynů (voda, sulfan, oxid uhličitý, HCl, atd.).
- Intermediární složení.

CC BY SA

Endogenní dynamika - magmatismus

- Anatexe – tavení hornin
- Palingeneze – tuhnutí hornin
- Granitizace – vznik žul a granitů přetavením starších hornin za vysokých teplot a tlaků

Dva typy magmatické činnosti:

- Intruzivní magmatismus (plutonismus) – všechny procesy vedoucí k pronikání magmatu do okolních hornin v mnohakilometrocých hloubkách.
- Efuzivní magmatismus (výlevný) – rozlévání magmatu na povrch.

CC BY SA

Endogenní dynamika - plutonismus

Intruzivní magmatismus (plutonismus):

- Tavením hornin za vysokých teplot a tlaků vzniká tavenina jejíž specifická hmotnost je nižší než hmotnost hornin ve stejné úrovni v pevném stavu.
- Tavenina tak postupně vystupuje.
- Horniny v okolí vyvřelého tělesa do kterých magma vniká nazýváme plášťem.
- Kontaktní (kaustická) metamorfóza: vnikající magma přeměňuje horniny pláště působením vysoké teploty a pronikáním plynů a par z magmatu do okolních hornin.
- Kontaktně přeměněná část pláště = kontaktní zóna (dvůr).

CC BY SA

Endogenní dynamika - vulkanismus

Efuzivní magmatismus:

- procesy a geologické jevy, které souvisejí s výstupem lávy na zemský povrch. Zahrnuje jak jevy, související se vznikem ohromných lávových příkrovů tak i vznik plošně omezených sopek.
- kontinentální vulkanismus – na kontinentech
- submarinární vulkanismus – v oceánech a mořích
- Lávy různého složení se liší viskozitou a na povrchu vytvářejí tělesa různého tvaru.
- Platí: zásadité lávy jsou tekutější než kyselé.
- Lávové příkrovy: deskovitá nebo štítovitá tělesa plošně rozsáhlá ale málo mocná.
- Pyroklastikum – usazená hornina, produkt sopečné exploze, nesouvislá sopečná vyvrženina.

CC BY SA

Endogenní dynamika - metamorfismus

- Krystalová struktura nerostů je stálá za fyzikálních a chemických podmínek, při nichž nerosty vznikly. Dostanou-li se horniny vlivem pohybů v zemské kůře do odlišných chemických a fyzikálních podmínek (ponořením do větších hloubek nebo výstupem tepelné energie k povrchu, případně uvolněním nebo zesílením napětí v zemské kůře), vytvoří se v horninách nové nerosty, které jsou stálé za nových podmínek (tlak teplota). Současně se při metamorfní rekrystalizaci součástek horniny vytvářejí nové metamorfní struktury – metamorfní foliace a metamorfní lineace.
- Vznikají tak metamorfované horniny.
- Pochody jejich vzniku – metamorfóza.

cc BY SA

Endogenní dynamika - metamorfismus

Metamorfní činitel:

- Čas
- Teplota
- Všesměrné napětí
- Orientovaný tlak
- Chemické působení vodních roztoků a plynů.

CC BY SA

Endogenní dynamika - metamorfismus

Druhy metamorfózy:

- kontaktní (termická) – přeměna hornin na styku s taveninami vystupujícími k povrchu vlivem teploty
- dynamometamorfóza – hlavní úlohu hraje napětí
- katakláze (dislokační metamorf.)– rozdrcení hornin tlakem
- regionální – teplota, tlak, napětí – vznik krystalických břidlic
- izochemická – přeměna minerálního a ne chemického složení
- metasomatická – podstatná změna chemického složení
- ultrametamorfóza – přetavení hornin na magma
- impaktní (nárazová) – náhlá změna podmínek (tlaku)
- progresivní – pochody vedoucí od hornin nemetamorfovaných k metamorfovaným
- retrográdní (zpětná) – minerály stabilní za vyššího stupně metamorfózy se mění na minerály stabilní za nových podmínek nižšího stupně metamorfózy

CC BY SA

Endogenní dynamika - diastrofismus

- Všechny procesy, které vedou k pohybům horninových mas ve vnějších částech zemského tělesa, a v důsledku toho též k deformaci hornin. Strukturními tvary vzniklými diastroficky (ale i jiným způsobem) se zabývá strukturní geologie.

Geologie rozeznává v zásadě dva druhy přirozených pohybů zemské kůry:

- pohyby epeirogenetické neboli pevninotvorné - relativně pomalé pohyby pevnějších, stabilnějších částí zemské kůry (kolébavé pohyby),
- pohyby orogenetické neboli horotvorné – intenzivnější pohyby v zemské kůře, které byly provázeny deformací hornin ve vrásy a další tektonické struktury a které vedly a vedou ke vzniku pásemných pohoří (doprovázeny magmatickou činností a regionální metamorfózou) – tektogeneze.

CC BY SA

Endogenní dynamika - zemětřesení

- Rychlé a krátkodobé otřesy, které mají svůj původ v hlubších částech Země a projevují se i na povrchu.
- Příčinou otřesů jsou krátkodobé pohyby jednotlivých ker zemské kůry, vyvolané nerovnoměrným napěťovým stavem.
- Hypocentrum (ohnisko) – oblast v zemském tělese kde zemětřesení vzniká.
- Epicentrum – nejblíže hypocentru ležící místo na zemském povrchu.

Seismické vlny – šíří se z ohniska, mají dva druhy:

- podélné zemětřesné vlny (P vlny) – nejrychlejší,
- příčné zemětřesní vlny (S vlny) – pomalejší,
- na povrchu se projevují povrchové seismické vlny – zaznamenány jako poslední.
- Seismografy – záznam vln, ze zpoždění jednotlivých druhů vln lze vypočítat vzdálenost epicentra.

CC BY SA

Endogenní dynamika - zemětřesení

- Sopečná zemětřesení – vznik vyrovnáním napěťového stavu při výbuchu sopek.
- Tektonické zemětřesení – naprostá většina zemětřesení (cca 90 %) vznik vyrovnáním napěťového stavu při tektonických pohybech v zemském tělese.

Zemětřesení dle hloubky hypocentra:

- mělká - v hloubkách do 60 km (rozhraní pláště a kůry),
- středně hluboká – 60 – 300 km,
- hluboká – až 750 km – jen v oblasti Tichého oceánu.

CC BY SA

Exogenní dynamika

- Studuje geologické pochody, které působí na Zemi z vnějšku, neustále rozrušují zemský povrch, přenášejí hmoty z vyvýšených míst do prohlubní a postupně zarovnávají nerovný zemský povrch. Působí tak proti vnitřním geologickým činitelů (proti diastrofismu, vulkanismu a metamorfismu), které naopak svou činností neustále vyvolávají vznik nerovností na zemském povrchu.
- Mezi vnější geologické činitele patří: vítr, voda (dešťová, proudící voda, jezera, moře), led, tíže a živé organismy. Tyto činitelé mají původ v atmosféře, hydrosféře a biosféře.
- Hlavními energetickými zdroji jejich pohybu je sluneční energie, zemská tíže a teplota. Nestejné zahřívání různých částí zemského povrchu sluneční energií vyvolává pohyby atmosféry a koloběh vody na Zemi. Jindy je hybnou silou pohybu hmot na zemském povrchu zemská tíže jejímž vlivem se snaží všechny hmoty na zemské povrchu zaujmout nejnižší polohu.
- Vnější geologičtí činitelé – voda, vzduch, led a organismy – působí na zemský povrch rušivě (zvětráváním, erozí, denudací - zarovnáváním) a tvořivě (sedimentací).

CC BY SA

Exogenní dynamika - zvětrávání

- Všechny procesy, které vedou k postupnému rozpadu a rozkladu hornin na zemském povrchu a k přeměně hornin na zvětraliny.
- Zvětrávání probíhá v tenké vrstvě na zemském povrchu – pásmo zvětrávání, sahá do hloubky několika desítek metrů pod povrch.

Procesy zvětrávání:

- mechanické – rozpad hornin,
- chemické – chemické změny – dekompozice.

CC BY SA

Exogenní dynamika - zvětrávání

Činitelé zvětrávání:

- změny teploty,
- oslunění a ochlazováni,
- nasycení hornin vodou a její mechanické a chemické působení,
- mrznutí vody v horninách,
- činnost vegetace a živočichů,
- chemické působení exhalátů v atmosféře (exhalátů přírodních – vulkanických plynů apod. i exhalátů umělých - kouřových plynů a dalších zplodin spalování, odpadních chemických plynů apod.).
- Tyto činitelé jsou závislý na klimatu poušť x mráz.

CC BY SA

Exogenní dynamika - zvětrávání

- význačný činitel ovlivňující intenzitu zvětrávání je propustnost hornin pro vodu
- Produkty zvětrávání: zvětrávacími procesy změněné horniny – zvětraliny.
- Původní horniny z nichž vznikají zvětraliny - matečné horniny.

Procesy chemického zvětrávání:

- Oxidace,
- Hydratace,
- Hydrolýza,
- Karbonatizace,
- Rozpouštění.

CC BY SA

Exogenní dynamika – působení gravitace

- Zemská tíže ovlivňuje pohyb hmot na zemském povrchu většinou nepřímo prostřednictvím tekuté vody, ledovců, větru a mořských proudů. Mimo to je však důležitou příčinou vlastního pohybu horninových části všude tam, kde je rovnováha hmot z jakýchkoliv příčin porušena.
- Z hlediska praktického zájmu je v našich podmínkách nejdůležitější problematika svahových pohybů.
- V důsledku tíže opadávají úlomky skalních masivů, zejména na jaře a po silných deštích. Opadané horniny se hromadí v kamenitou suť, která tvoří na úpatí svahů osypy a suťové kužele. Velkých rozměrů mohou nabýt skalní řícení.

CC BY SA

Exogenní dynamika – eroze

- Zemský povrch je rozrýván (erodován) pohybem vody, větru, ledu za spolupůsobení pevných částic, nesených proudem. Intenzita eroze závisí i na odolnosti podkladu vůči erozi, takže výmolná činnost probíhá selektivně. Eroze je vyvolávána především tíží.

$$\frac{m.v^2}{2}$$

- Ze vzorce plyne, že intenzita eroze roste se čtvercem rychlosti a s hmotností proudu. Proto je tím větší, čím je větší mocnost proudu, spád proudu a čím větší množství pevných částic je proudem neseno.

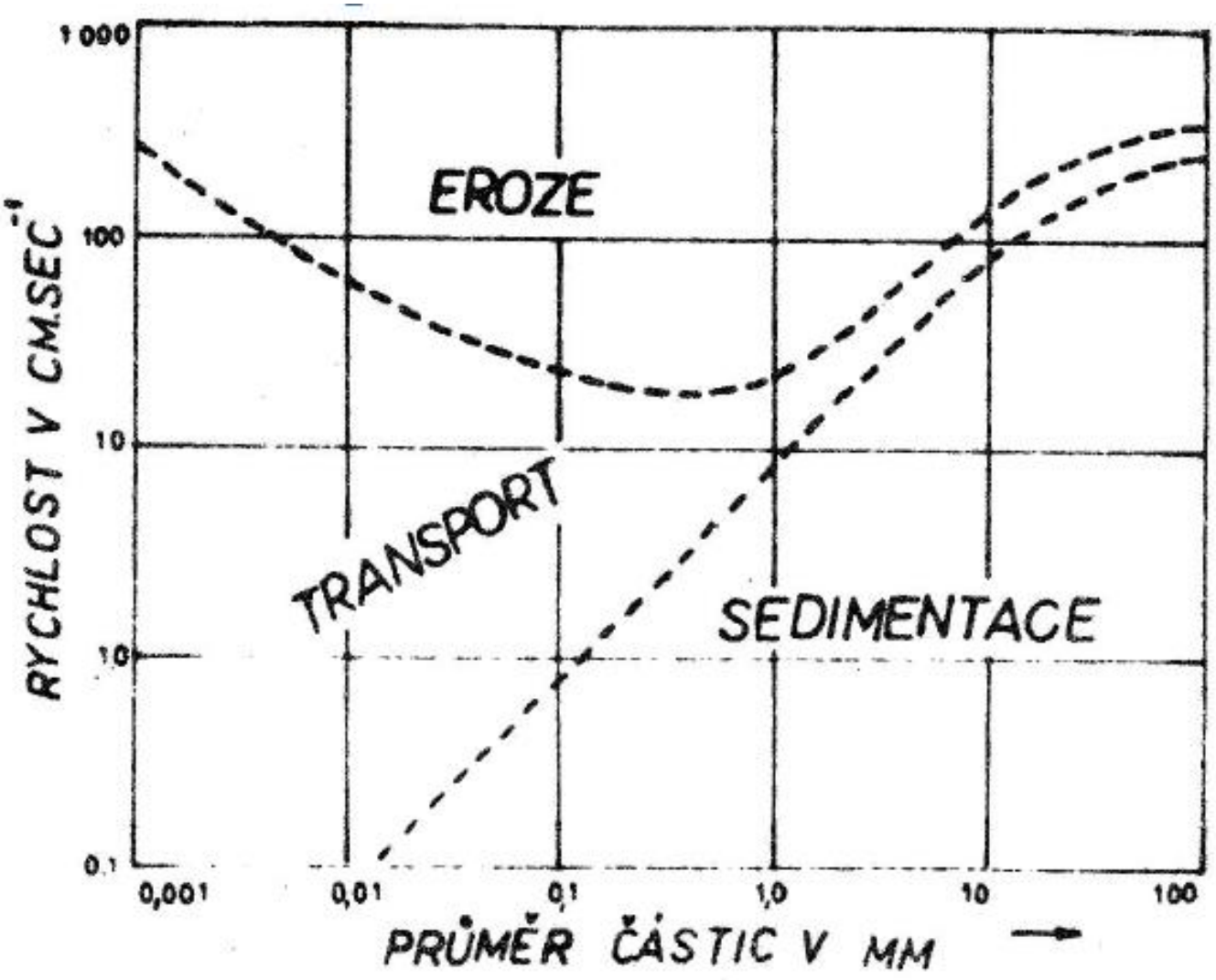
CC BY SA

Exogenní dynamika – sedimentace

- Rovná-li se rychlost proudu normální hustoty erozní rychlosti (tj. rychlosti, při níž proud nejen unáší, ale přebytečnou energii využívá k erozi) nebo transportační rychlosti (tj. rychlosti. při níž schopnost toku k práci je v rovnováze s velikostí nálože unášené proudem), probíhá transport hmot geologickými činiteli.
- Poklesem rychlosti proudu na rychlost sedimentační dochází k akumulaci klastických částic nesených proudem. Vztah mezi velikosti částic, rychlostí, erozí, transportem a sedimentací vyjadřuje Hjulströmův diagram.

CC BY SA

Exogenní dynamika – Hjulströmův diagram



Zdroj: Kumpera, O.: Všeobecná geologie. 1988.

CC BY SA

Regionální geologie

- Přehled geologického složení jednotlivých oblastí na podkladě petrografických, stratigrafických, tektonických a geomorfologických studií.
- Seznamuje nás s rozšířením jednotlivých hornin a souvrství.
- Vychází z historické geologie, opírá se zejména o stratigrafickou geologii.

Stratigrafická geologie vychází ze zákonů:

- zákon superpozice (vrstva spodnější je starší svrchnější),
- zákon stejných zkamenělin (stejné zkameněliny ve vrstvách stejného stáří),
- princip aktualismu (v minulosti působily stejné geologické síly jako dnes).

cc BY SA

Regionální geologie

Skupina útvarů	Útvar	Stáří (mil. let)
Čtvrtohory (kvartér)	holocén	
	pleistocén	2
Třetihory (terciér)	neogén	26
	paleogén	65
Druhohory (mesozoikum)	křída	136
	jura	195
	trias	225
Prvohory (paleozoikum) mladší	perm	280
	karbon	345
Prvohory (paleozoikum) starší	devon	395
	silur	445
	ordovik	500
	kambrium	570
Starohory (proterozoikum)		2 500
Prahory (archaikum)		4 600

Zdroj:
Brunclík, O.: Geologie a půdoznalství. Praha,1986.

cc BY SA

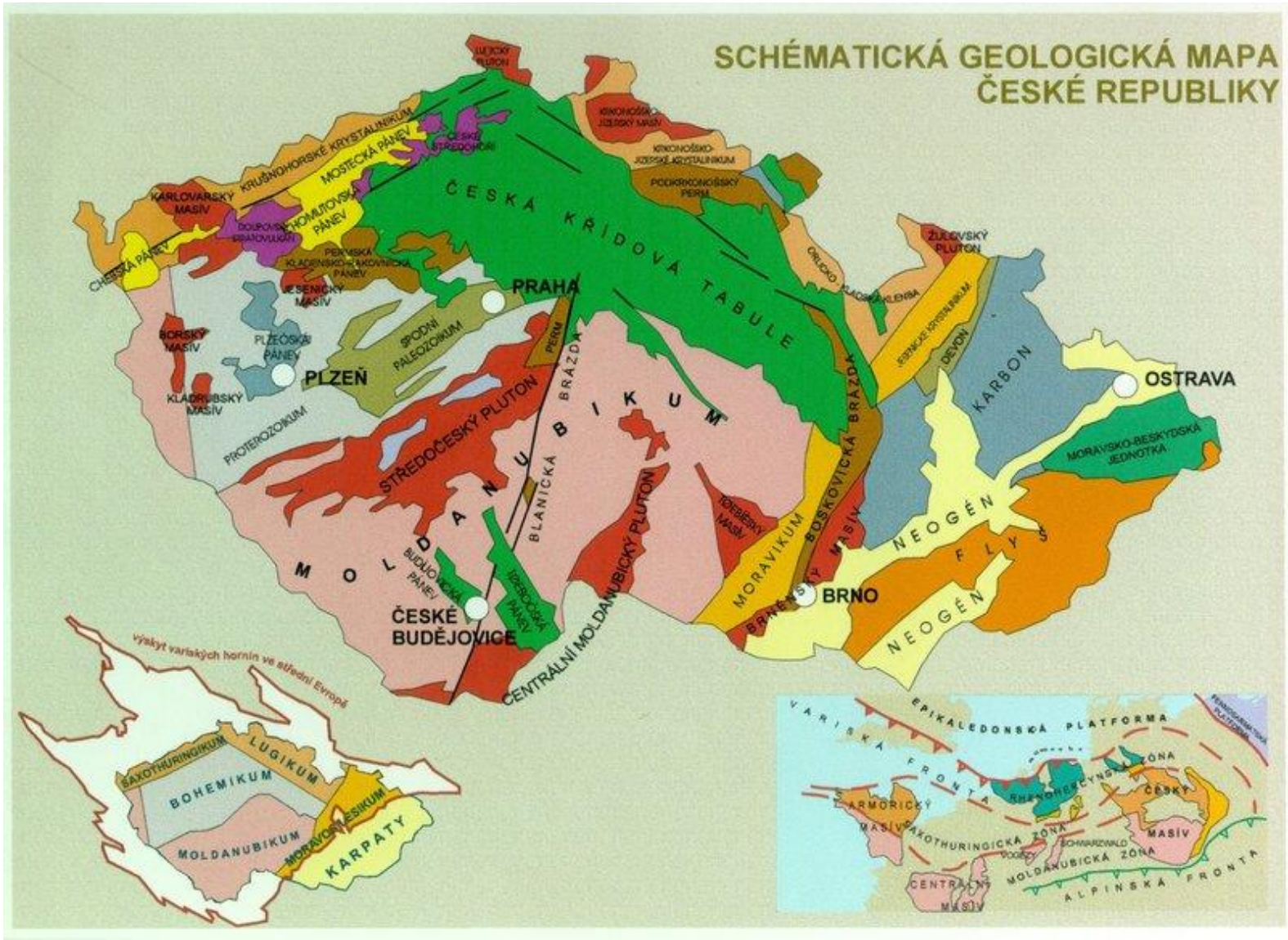
Regionální geologie

- Regionálně je území ČR rozděleno na Český masív a Karpatskou soustavu.
- Tyto jednotky byly vytvořeny v geologicky odlišných podmínkách a mají různou skladbu.

CC BY SA

Regionální geologie

Zdroj: https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/298



CC BY SA

Regionální geologie

Zdroj: https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/block_images/3975/Geologick__skladba__zem___R.jpg



CC BY SA

Český masív

- Vyvýšená část zemské kůry ve středu Evropy a je rozvodím řek napájejících Černé, Severní a Baltické moře.
- Během vývoje se podrobil několika horotvorným procesům.
- V této oblasti je velké množství zlomových linií
- Povrch je pestrou směsí hornin ze kterých se v holocénu vytvořili a stále vytvářejí zemědělské půdy.

Dělí se do 4 hlavních skupin:

- jednotky krystalinika spolu s předkambrickými sedimentárními sériemi a zvrásněnými prvohorami,
- limický (sladkovodní) permokarbon,
- předčtvrtohorní nezvrásněný pokryv,
- čtvrtohorní pokryv.

CC BY SA

Moldanubická oblast

Stavba:

- Silně metamorfované horniny:
- jednotvárná skupina – pararuly, metamorfity, mořské sedimenty,
- pestrá skupina – pararuly, kvarcity, vápence, amfibolity, granulity.
- Granitoidní masívy.

- Moldanubický pluton – největší magmatické těleso českého masívu.
- Středočeský pluton – 2. největší magmatické těleso českého masívu.

CC BY SA

Kutnohorsko-svratecká oblast

- Kutnohorské krystalinikum – ruly, svory, ortoruly, amfibolity, migmatity.
- Ohebské krystalinikum – ortoruly, migmatity, muskovit, biotit.
- Svratecké krystalinikum – plástevnaté ruly, amfibolity.

CC BY SA

Středočeská oblast

- velká depresní oblast
- usazené horniny, výlevné a hlubinné horniny
- dělí se na mnoho dílčích jednotek
- Pražská pánev – úzký lineární tvar severovýchodního směru. Je zde zastoupen ordovik, který na severovýchodě zapadá pod křídovou tabuli na území Prahy.

CC BY SA

Krušnohorská oblast

- metamorfované horniny, ruly, amfibolity, erlány, eklogity, skarny, ortoruly, migmatity, svory, žuly a břidlice.
- dělí se na mnoho dílčích jednotek

CC BY SA

Lužická oblast

- sedimenty, břidlice, žuly, dolomity, vápence
- dělí se na mnoho dílčích jednotek

CC BY SA

Moravskoslezská oblast

- žuly, granodiority, sedimenty a plutonity
- dělí se na mnoho dílčích jednotek

CC BY SA

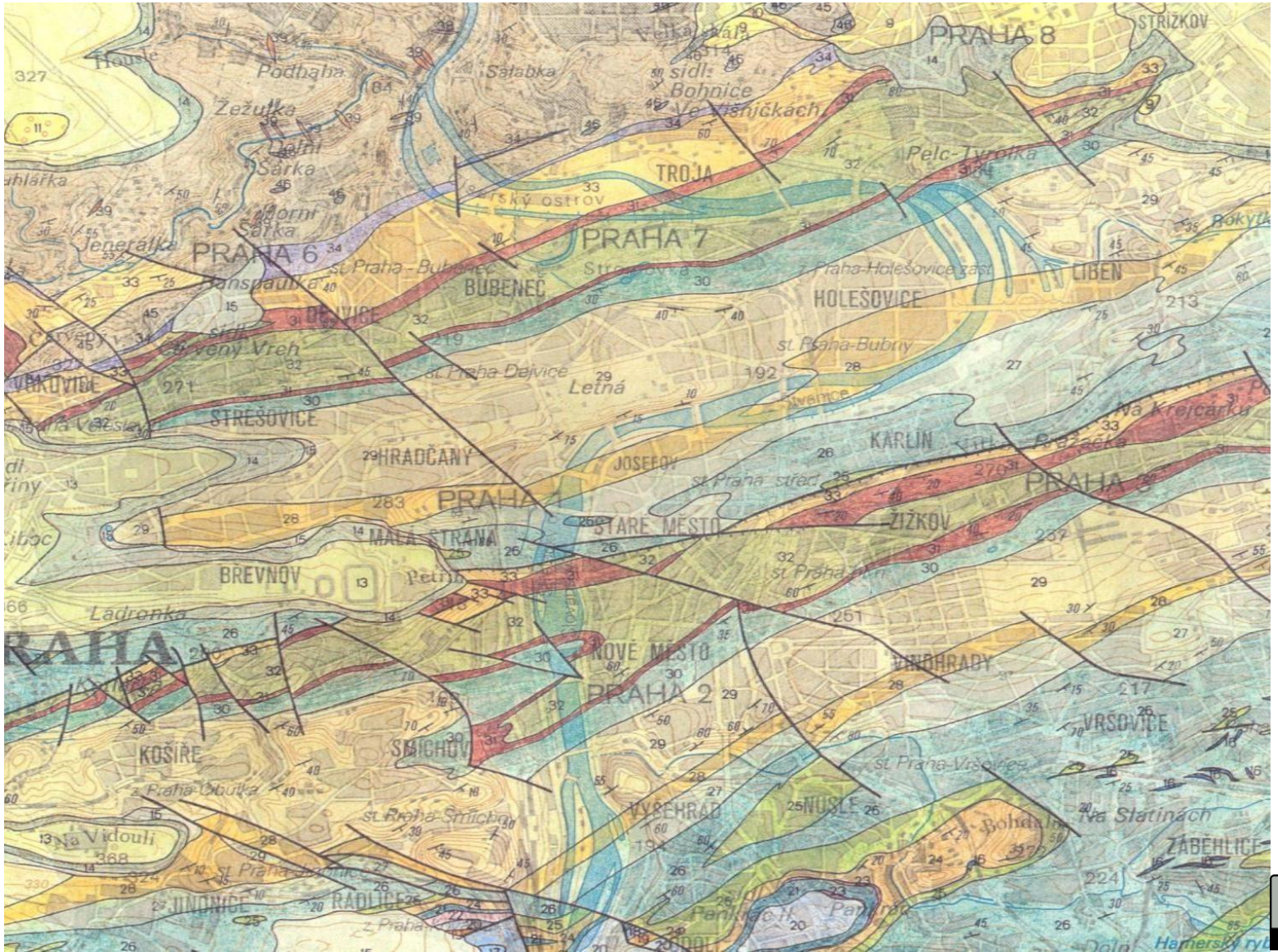
Karpatská soustava

- Hranice mezi karpatskou soustavou a českým masivem probíhá od Znojma, přes Vyškov, Přerov, Hranice a Karvinou.
- mnohem mladší než český masív
- větší členitost terénu
- ostré tvary pohoří
- jednodušší stavba

CC BY SA

Geologické mapy

Zdroj: Česká geologická služba.
Geovědní mapa. 1:50 000.



Geologické mapy

- https://geoportal.gov.cz/web/guest/other-portals/
- http://mapy.nature.cz
- www.geology.cz/
- https://geoportal.cuzk.cz

CC BY SA

Zdroje

- Brunclík, O.; Beneš, S.; Vlk, K.: Geologie a půdoznalství, IIIa Geologie. Praha: VŠZ,1986. 127 s.
- Kumpera, O., Foldyna, J., Zorkovský, V.: Všeobecná geologie. Praha: SNTL, 1988, 1. vydání, 521 s.
- Hartvich, F.: Cvičení z matematické geografie. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, 2008.
- Jakeš, P. Planeta Země. Praha, Mladá fronta, 1984. 413 s.

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Pedosféra - půdní pokryv Země, vznik a vývoj půdy, půdotvorné faktory, podmínky a procesy, půdní profil, půdní režimy

Autor: Marek Martinec

Rok: 2022

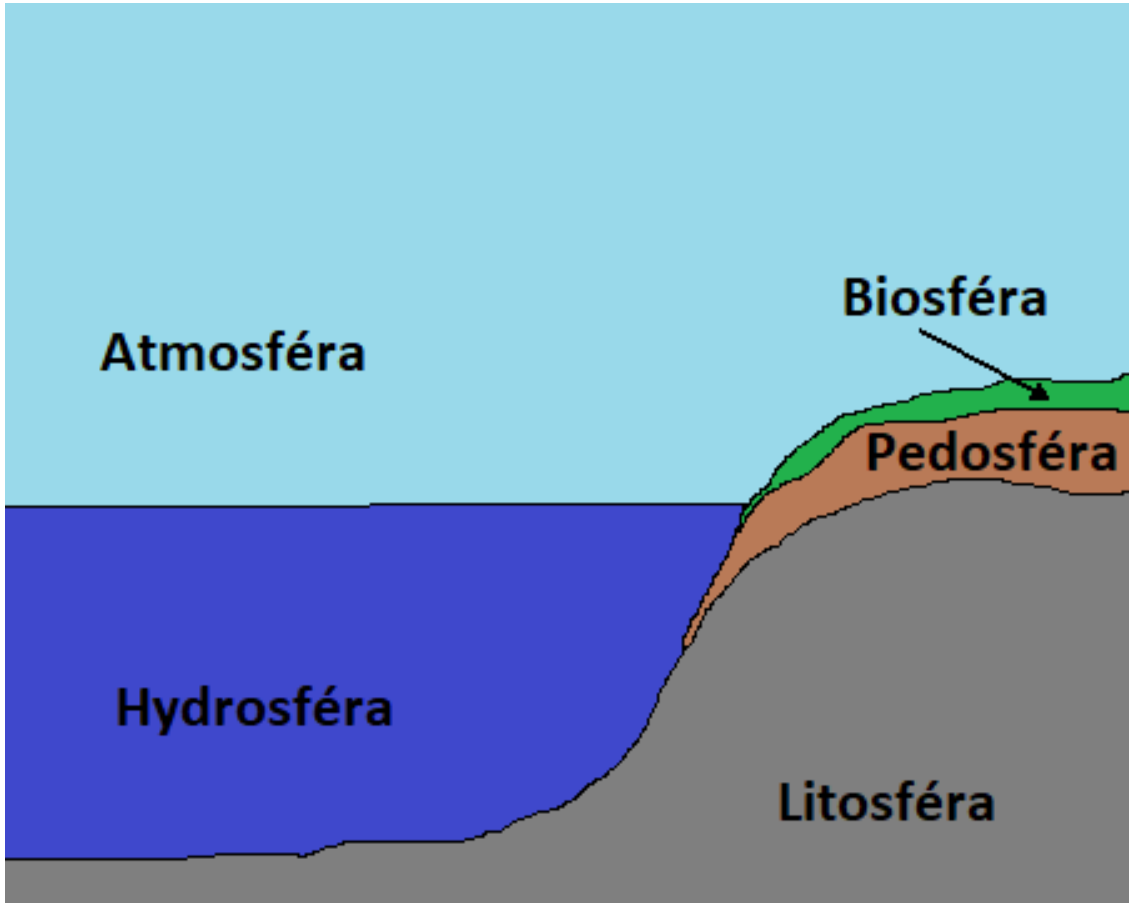
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

Pedosféra

- Pedosféra – pokryv země přes který probíhá výměna hmoty a energie mezi ostatními sférami



CC BY SA

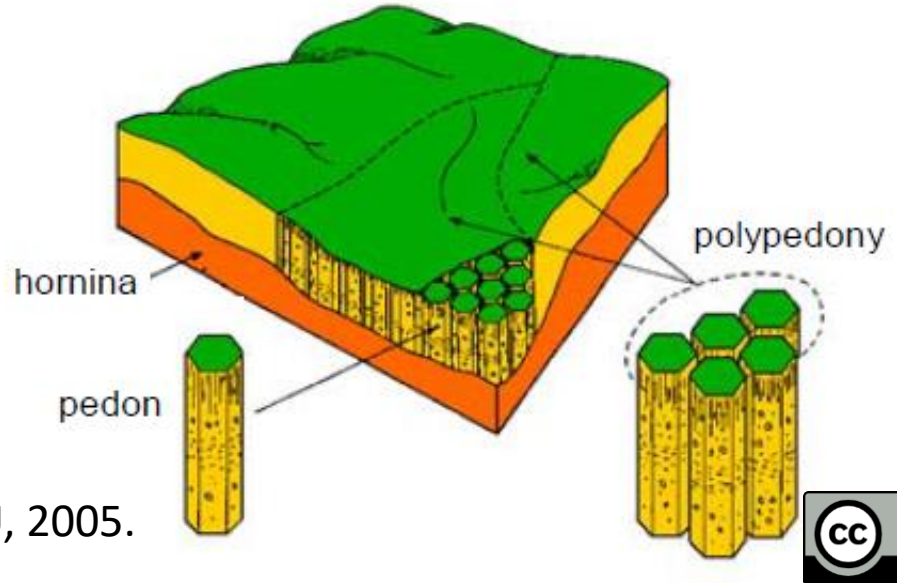
Půda

- pedon z řečtiny = zem

- základní, nejmenší trojrozměrná jednotka půdního pokryvu, která zahrnuje všechny půdní horizonty. Plocha pedonu může být od 1 m^2 do 10 m^2 v závislosti na prostorové variabilitě-

- Atmosféra tvoří horní hranici pedonu. Směrem dolů pedon prochází všemi půdními horizonty a jako spodní hranice pedonu se udává mateční hornina, případně hloubka 2 m. Což zahrnuje zónu zakořenění téměř všech rostlin.

- Základní pedogeografickou jednotkou je polypedon, který se skládá z několika stejných pedonů a je ohraničen jinými polypedony nebo místy bez půdního pokryvu.



Zdroj: Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU, 2005.

CC BY SA

Půda

- nejednotná definice.
- Nejsvrchnější pokrývka většiny terestrických oblastí světa s mocností od několika mm do několika metrů.
- Definice půdy:
  - Půda je zvětralý materiál zemského povrchu, který může, ale i nemusí obsahovat organickou složku a často obsahuje vzduch a vodu.
  - Půda je přírodní útvar obsahující minerály, organickou složku, žijící organismy, vzduch a vodu ve vzájemných vztazích podmíněných fyzikálními, chemickými a biologickými procesy.
  - Půda je komplexní, polyfunkční, otevřený, polyfázový, strukturní systém, tvořící povrchovou vrstvu litosféry.

CC BY SA

Funkce půdy

- akumulace, filtrace a transformace látek
- koloběh vody
- živiny
- polutanty
- zdroj surovin
- produkce potravin a biomasy (zemědělská činnost)
- podklad pro stavby

CC BY SA

Složky půdy

- **Primární složky půdy** – anorganický materiál, produkty zvětrávání podloží nebo jiného matečného materiálu, organická složka, plynná složka a voda .
- **Regolit** – vrstva nebo pokrývka fragmentárního nezpevněného horninového materiálu, ať už reziduálního nebo transportovaného, který téměř kdekoliv tvoří povrch země a pokrývá podložní matečné horniny (úlomky hornin, vulkanický prach, glaciální uloženiny, aluviální uloženiny, spraše a jiné eolické sedimenty, akumulace vegetace a půdy).

CC BY SA

Půda – otevřený systém

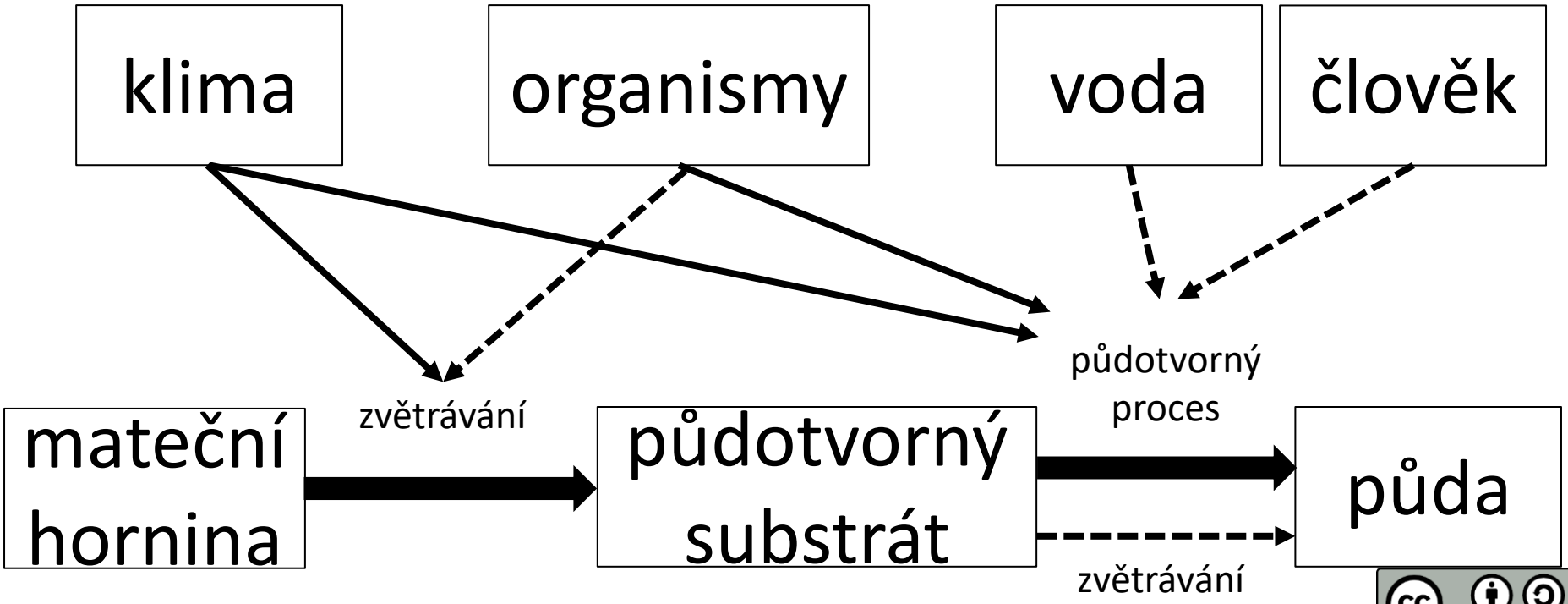
- systém má hranice, reálné nebo umělé
- do systému vstupuje nebo z něj vystupuje energie a látky
- systém obsahuje cesty energetického transportu a transformace spojené s látkami uvnitř systému
- uvnitř systému mohou být látky transportovány z místa na místo nebo mají fyzikální vlastnosti transformované chemickými reakcemi nebo změnou stavu
- otevřený systém má tendenci k udržení dynamické rovnováhy nebo stabilního stavu, ve kterém se rychlost vstupu energie a látek rovná rychlosti výstupu energie a látek, zatímco uchování energie a látek zůstává konstantní
- pokud se vstupní nebo výstupní rychlosti otevřeného systému změní, systém má tendenci dosáhnout nové dynamické rovnováhy
- množství ukládání energie a materiálu vzrůstá (nebo klesá) v závislosti na rychlosti toku energie a materiálu skrz systém
- čím větší je úložná kapacita uvnitř systému pro daný vstup, tím méně je systém náchylný

CC BY SA

Vznik a vývoj půd

Podmínky půdotvorného procesu:

- čas
- reliéf



CC BY SA

Vznik a vývoj půd

Půda = f (kl, o, r, s, t)

kl – klima

o – organismy

r – reliéf

s – substrát (mateční hornina)

t – čas

(lze rozšířit o antropogenní činnost a podzemní vodu)

CC BY SA

Půdotvorný proces - litogenní

Mateční hornina = půdotvorný substrát
- předmět přeměn.

Textura a struktura hornin ovlivňuje:
- hloubku pudy a její zrnitost,
- prostorové uspořádání,
- proces transportu a transformace.

Chemické složení hornin ovlivňuje:
- obsah zásaditých kationtů,
- obsah rozpuštěných živin, solí, …,
- koncentrace kontaminantů.

CC BY SA

Klima v půdotvorném procesu

Podnebí:

Materiální a energetický faktor.

Nejvýznamnější složky:

- teplo,
- srážky,
- vítr,
- mráz,
- poměr srážek a výparu,
- …

CC BY SA

Biologické faktory v půdotvorném procesu

Edafon (společenstvo organismů v půdě) a vegetace

- zdroj humusotvorného materiálu
- procesy transformace v půdě
- biologický koloběh látek

CC BY SA

Další faktory

- podzemní voda: redukční podmínky.

- lidská činnost (zúrodňování atp.)
- změny chemického složení
- změny fyzikálních vlastností
- změny prostorového uspořádání
- změny koloběhu prvků
- kontaminace

CC BY SA

Podmínky pro tvorbu půdy

Reliéf:

- nadmořská výška,
- sběrná plocha, svažitost, zakřivení svahu.

Stáří půd:

- doba nerušené expozice půdotvorným procesům.

Staří půd v ČR:

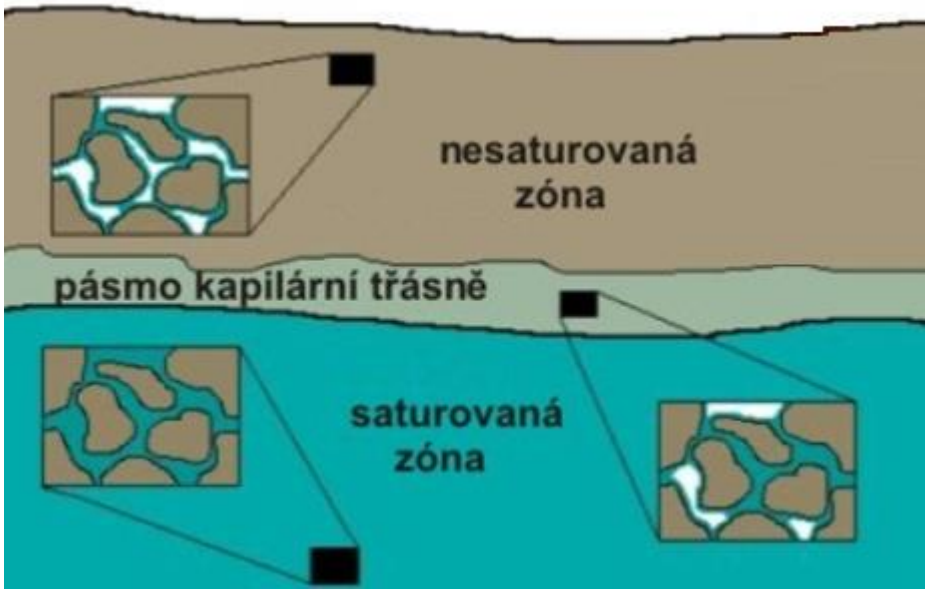
- Holocén,
- méně než 12 – 15 000 let.

CC BY SA

Složení půdy

- plynná fáze – půdní vzduch
- kapalná fáze – půdní vlhkost, podzemní voda
- pevná fáze – minerální částice, organická hmota

Hydrodynamická vertikální zonálnost:



Zdroj: Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU, 2005.

CC BY SA

Složení půdy

Hydrodynamická vertikální zonálnost:

- Nesaturovaná zóna - zóna nad hladinou podzemní vody, v níž je vlhkost menší než celková pórovitost.
- Kapilární tráseň – zóna do níž kapilárními silami vzlíná podzemní voda.
- Saturovaná zóna - zóna v horninovém prostředí nasycená vodou kde je obsah vlhkosti roven celkové pórovitosti.

CC BY SA

Minerální částice v půdě

- Tvoří značný podíl půdního tělesa.
- Podstata a druh minerálních částic horizontálně značně kolísají.
- Největší vliv na minerální složení má matečný substrát, na kterém jsou půdy vyvinuty.

CC BY SA

Minerální částice v půdě

- produkovány v půdě vlivem tří hlavních skupin procesů:
- **fyzikální procesy** – rozpad původního matečného substrátu beze změny chemického složení. Minerální částice jsou rozpadlé verze původního materiálu. Takový rozpad – výsledek teplotních kontrakcí, vlhnutí a vysychání, mrznutí a tání
- **chemické procesy** – vznik změněných nebo zcela nových minerálů. Nezměněné horninové minerály – tzv. **primární minerály**, změněné nebo nové minerály – **sekundární minerály**
- **biologické procesy** – produkují slabé kyseliny v roztocích, které přispívají k chemickému rozkladu minerálů. Ačkoliv procesy působící kolem kořenů rostlin jsou převážně chemického rázu, růst kořenů a zahrabávající se organismy přispívají k fyzikálnímu rozkladu minerálních částic

CC BY SA

Organické složky v půdě

- Hlavní organickou složkou půdy je humus.
- Humus je koncentrován především v povrchové půdě ačkoliv se vyskytuje v celém půdním profilu.
- Představován polorozloženými zbytky rostlin a živočichů, které se nakonec rozkládají do organických sloučenin.
- Obsahuje koloidální složky, které předávají živiny rostlinám.
- Organické složky pomáhají zadržovat vodu a poskytují prostředí pro vývoj živých organismů.
- Půdy s vysokým obsahem humusu jsou obvykle chemicky aktivní, s vysokou výměnnou kapacitou.
- Půdy chudé na organické složky jsou „neaktivní“, s pomalejšími chemickými reakcemi.
- Zvláště závisí na charakteru vegetačního pokryvu, ze kterého humus vzniká, a na rychlosti dekompozice. (Tropické deštné pralesy mají mocnou a variabilní vegetační pokrývku, ale půdy vyvinuté v těchto podmínkách mají nízký obsah organických složek vzhledem k vysoké rychlosti rozkladu a rychlému odebrání organických zbytků žijícími rostlinami. Na druhé straně rozklad organických zbytků z jehličnanů je velmi pomalý a produkuje vysokou kyselost.)

CC BY SA

Půdní vzduch

- Důležitá součást půd. Půdní živočichové, rostlinné kořeny a většina mikroorganismů – využívají kyslík a vylučují CO_2.
- Kyslík musí proniknout do půdy a musí být umožněn únik CO_2, aby se udržela biologická aktivita. Tento pohyb je primárně zajištěn difúzí.
- Půdní organismy využívají O_2 k oxidaci sacharidů. V teplých oblastech během letních měsíců množství spotřeby kyslíku půdami kolísá od 4-20 $g.m^{-2}.d^{-1}$ u obdělávaných půd až po 10-20 $g.m^{-2}.d^{-1}$ u půd lesních. V humidním tropickém prostředí rychlost spotřeby kyslíku kolísá v rozmezí 8-50 $g.m^{-2}.d^{-1}$.
- Rostlinné sacharidy se pohybují směrem ke kořenům, kde jsou okysličovány a tím se uvolňuje energie potřebná k růstu rostlin.
- Tímto procesem je kyslík spotřebováván kořenovým systémem a povrchem kořenového systému se uvolňuje CO_2. Největší spotřeba kyslíku – v povrchových horizontech (je zde nejvíce živočichů, mikroorganismů a kořenů rostlin).
- Rychlost spotřeby kyslíku udává tzv. rychlost půdní respirace, což je kontrolováno teplotou, obsahem půdní vody, organických půdních složek a živinných látek.
- Nejvíce je kyslík spotřebováván po deštích během letních měsíců. Pokud je v půdě nedostatek kyslíku vzhledem ke spotřebě – anaerobní prostředí.

CC BY SA

Půdní vzduch

- **Půdní dýchání (respirace) → proces, při kterém je kyslík doplňován a CO_2 uvolňován.**

Složení půdního vzduchu: N = 79-80 %

O_2 = 15-20 %

CO_2 = 0,25-5 %

- Další plyny – pouze stopová množství (produkty mikrobiálního metabolismu

- **Zvýšené množství CO_2 → rozpouštění ve vodě → vznik slabé kyseliny → zvětšení rychlosti zvětrávacího procesu**

CC BY SA

Půdní vzduch

- Pohyb kyslíku do půdního systému a uvolňování CO_2 se děje dvěma procesy:
- **objemový tok** – hromadný pohyb, který se vyskytuje jako důsledek změn tlaku nebo teploty – **pasivní venting**. Expanze nebo kontrakce nutí plyny vnikat do půdního systému nebo jej opouštět a voda, která proniká půdou, odvádí rozpuštěné plyny a může před sebou tlačit i plyny,
- **difúze** – nejdůležitější proces, pomocí něhož se molekuly plynu pohybují jako důsledek změn koncentračního gradientu uvnitř půdního komplexu. Difúze je nejjednodušší prostřednictvím nepřerušených vzduchem naplněných prostor, zvláště pak ve vertikálním směru. Rychlost difúze ve vzduchu je asi 10 000 krát rychlejší než přenos vodou.

CC BY SA

Půdní voda

- Voda je podstatnou součástí půdního systému, je nezbytná pro přežití rostlin a živočichů.
- Do půdy se dostává prostřednictvím srážek nebo z podzemní vody, její složení velmi kolísá i v průběhu krátké doby.
- Variabilita chemického složení je způsobena vztahy mezi vodou, minerálními a organickými částicemi a kořeny rostlin.
- Voda obsahuje množství rozpuštěných pevných a plynných součástí jako jsou základní **kationty** (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, NH^{4+}) a množství **aniontů** zahrnujících chloridy.
- Voda je zadržována v malých pórech a v prostorech mezi většími vzduchem vyplněnými **póry**.
- Průnikem vody skrz půdní komplex dochází k transportu pevných minerálních a organických částic, ale i rozpuštěných složek $\rightarrow$ **vyluhování**. Část materiálu je z půdního komplexu zcela vyluhována, část materiálu se ukládá níže v půdním profilu.

CC BY SA

Půdní voda

- **Eluviace** – pohyb vyluhovaného materiálu v půdním profilu směrem dolů → ochuzení některých horizontů.
- **Iluviace** – srážení nebo akumulace materiálu, většinou uvnitř horizontu B poté, co byl materiál vyluhován ze svrchních horizontů (horizontu A).
- Voda se může v půdním profilu pohybovat také směrem nahoru jako důsledek kapilárního přenosu solí do povrchových horizontů. To je typické zvláště v aridních (suchých) oblastech. Je důležitá ve zvětrávacím procesu.
- Pohyb vody a schopnost půdy vodu zadržovat závisí na infiltrační kapacitě povrchu půdy a rychlosti, se kterou může voda skrz půdu infiltrovat. Infiltrační kapacita je určena typem vegetace na povrchu a vlastnostmi půdy v jejích svrchních horizontech.
- **Infiltrace** – závisí na charakteru a množství půdních pórů a na půdní propustnosti.

CC BY SA

Interakce pedosféry s ostatními vrstvami

- hydrologický cyklus
- cyklus uhlíku
- cyklus dusíku
- …

CC BY SA

Hydrologický cyklus

- Výměny mezi hydrosférou a ostatními sférami.
- Charakter a rozsah vegetačního pokryvu určuje, kolik srážek se dostane do půdy.
- Množství srážkové vody se vypaří v důsledku transpirace (výdej vody povrchem rostlin) a evaporizace, část vody zasáhne zemský povrch přímo v podobě srážek, část odkapává z povrchu rostlin. Těmito procesy se chemické složení vody může měnit.
- Srážková voda – akumulace v depresích, potom odtok v podobě povrchových toků nebo infiltrace do půdy. Je-li voda již v půdě, pak se pohybuje buď vertikálně směrem k hladině podzemní vody, nebo horizontálně.
- Voda v zóně podzemní vody pomalu teče k nejbližšímu povrchovému toku nebo rezervoáru (jezero, moře).

CC BY SA

Klasifikace půd

- Studium půdy – zásadně do takové hloubky, kam zasahují půdotvorné pochody.
- V našich podmínkách – tato hloubka okolo 120-150 cm.
- Svislý průřez takového odkryvu – půdní profil.

Půdní horizonty:

- Půdy na svazích – nejnápadnější změny na krátké vzdálenosti. Nejzákladnější rozdělení půdního profilu (V.V. Dokučajev):

A – první horizont shora, barevně silně ovlivněný přítomností humusu

B – přechodný horizont mezi horizonty A Dokukávej C. Obsah humusu klesá směrem od hodnoty, kterou má v horizontu A, do nulové hodnoty v horizontu C

C – matečný materiál nemodifikovaný půdotvorným procesem

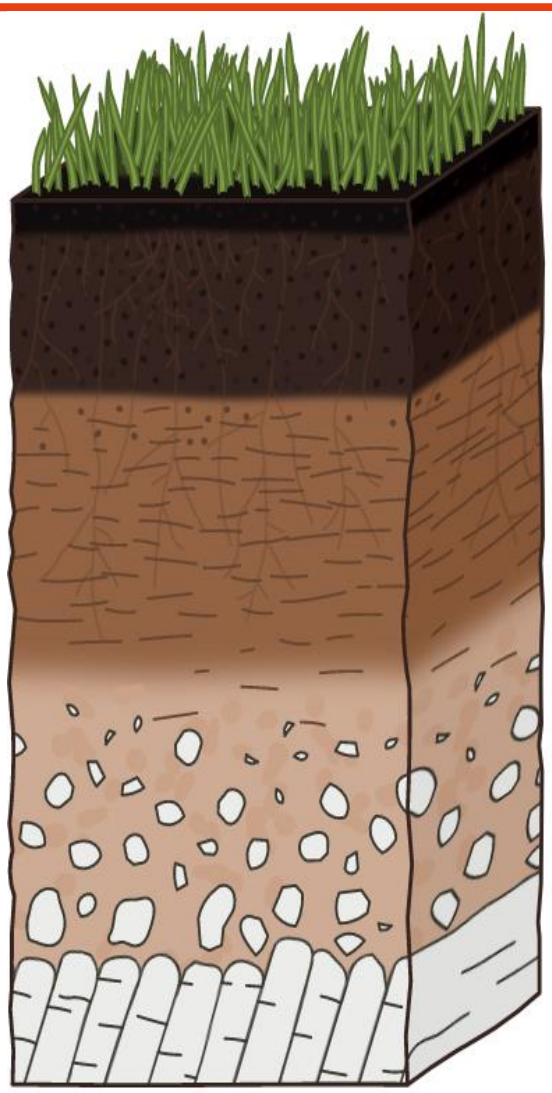
CC BY SA

Klasifikace půd

- taxonomický klasifikační systém půd ČR
- půdní typy (nekončící – sol): http://klasifikace.pedologie.czu.cz
- Referenční třída – kategorizace dle typu hlavního půdotvorného procesu, identifikace podle dominantního diagnostického horizontu (diagnostický horizont = definovaný souborem vizuálních i analytických znaků s měřitelnými parametry) (koncovky –sol https://klasifikace.pedologie.czu.cz/index.php?action=showSystematickySoupis).
- Typ – identifikace dle diagnostických horizontů (např. glej, rendzina, podzol, …), symbol půdního typu je tvořen dvěma písmeny (GL, RZ, PZ, …).
- Subtyp – identifikace dle náznaků diagnostického horizontu, v praxi často setřeny orbou (např. modální, arenický, umbrický, …), symbol subtypu je malé písmeno za symbolem typu (m, r, ...).
- Varieta – identifikace dle chemických vlastností, méně významné změny vlastností (např. eubazické, mesobazické, ...).
- Forma – identifikace dle humusové formy.

CC BY SA

Diagnostické horizonty půd



O – nadložní organické horizonty (u lesních p.)

A – humusové (povrchové) horizonty

E – ochuzené (eluviální) horizonty

B *– metamorfické horizonty,*
nebo obohacené (iluviální) horizonty

C – půdotvorný substrát

R – mateční hornina *(D – podložní hornina)*

Zdroj: Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU, 2005.

CC BY SA

Režimy půd

- Změny některých půdních vlastností, v časovém úseku řádově kratším, než je období vývoje pedotopu.
- Změny mají často vliv na úrodnost půdy, opakují se v různých časových cyklech (dnech, vegetačních obdobích, rocích), přičemž z hlediska pedogeneze k nejvýznamnějším patří hydrické a termické režimy půd.
- Příčiny změn mají fyzikální, fyzikálně-chemický a biologický charakter.
- Průběh změn lze měřit a kvantifikovat a lze je alespoň částečně regulovat.

CC BY SA

Režimy půd

Základní půdní režimy:

1. Vodní režim půdy.
2. Vzdušný režim půdy.
3. Tepelný režim půdy.
4. Režim solí v půdě (vč. živinného režimu).
5. Biologický režim půdy.

CC BY SA

Hydrické režimy půdy

- Hydrické režimy půdy – tvoří se kombinací jednotlivých základních toků v půdě:
- **infiltrací**
- **redistribucí vody po zvlhčení** – odvodnění zvlhčené vrchní části profilu a zvlhčení spodní, sušší části profilu (tj. určitá modifikace infiltrace)
- **odtokem k hladině podzemní vody**
- **přítokem a odtokem podzemní vody** – projevuje se změnou hladiny podzemní vody, tj. změnou okrajové podmínky pro řešení vertikálních toků
- **výparem spolu s transpirací** (výdej vody povrchem rostlin) – obvykle se hodnotí souhrnně jako evapotranspirace (celkový výpar ze zemského povrchu)

CC BY SA

Hydrické režimy půdy

Klasifikace hydrického režimu půd – podle následujících kritérií:

1. Hydrologická klasifikace vodního režimu půd - sleduje se směr a intenzita pohybu půdní vody a hodnotí se fyzikální stav vody v ekosystému půda - hornina.

2. Ekologická klasifikace vodního režimu půd - hodnotí stupeň nasycení půdy vodou, dobu nasycení a rozšíření vlhkosti v půdním profilu.

3. Hydrodynamická klasifikace vodního režimu půd - založena na identifikaci procesů pohybu vody v systému atmosféra - nenasycená zóna půdního profilu - podzemní voda.

Hydrologické vlastnosti půd, které ovlivňují vodní režim:

- infiltrační schopnost půd,
- propustnost půdy.

CC BY SA

Infiltrační schopnost půdy

- Nejdůležitějším zdrojem půdní vody – srážky, které částečně infiltrují do půdy, kde jsou zadržovány ve svrchní provzdušněné vrstvě a jejich přebytek případně perkoluje (prochází přes propustnou vrstvu) do hloubky, kde může vytvořit zásobu podzemních vod. Na povrchu půdy se srážková voda hromadí v mikrodepresích. Po jejich naplnění proudí směrem po svahu jako povrchový odtok.

Infiltrační schopnost půdy je ovlivňována:

- fyzikálními vlastnostmi půdy
- strukturou půdy
- vegetačním krytem povrchu půdy
- výchozí vlhkostí půdy
- obsahem chemických látek v půdě i v infiltrující vodě

Pohyb vody a plynů v půdě je možný jen tehdy, jestliže půda obsahuje vzájemně spojité póry.

CC BY SA

Hydraulická vodivost půdy

- Schopnost půdy vést vodu. Jestliže se sleduje pohyb kapaliny v půdě, ve které jsou všechny póry naplněné vodou, jedná se o nasycenou hydraulickou vodivost půdy. Jestliže část pórů je vyplněná půdním vzduchem, sleduje se nenasycená hydraulická vodivost půdy.

<u>Statika a dynamika půdní vody</u>

- Na půdní vodu působí síly různého původu, směru a různé velikosti. Výsledek působení těchto sil:

- rovnovážný stav půdní vody - půdní voda se nepohybuje

- nerovnovážný stav půdní vody – voda má dynamický charakter, je v pohybu

CC BY SA

Tepelné (termické) režimy půd

- Tepelný režim půdy je projevem **pohlcování**, **akumulace**, **přenosu** a **vyzařování tepla** půdou. Zdrojem tepelné energie – sluneční záření, to je zemským povrchem zčásti absorbováno, zčásti odráženo.
- Největší absorpce - u tmavého drsného povrchu a u terénu s jižní expozicí svahů. Čím je intenzivnější absorpce záření a ohřátí povrchu půdy, tím výraznější je také tepelné vyzařování.
- Vegetační kryt vyrovnává teplotní extrémy, omezuje dopad záření na půdu, snižuje tepelné ztráty při vyzařování.

Míra zahřátí povrchu půdy závisí na:

- tepelné kapacitě půdy (suchá půda 3-5x menší měrnou tepelnou kapacitu než voda),
- ztrátách energie při vyzařování a při výparu z půdy,
- na přenosu energie do hlubších vrstev.

CC BY SA

Tepelné (termické) režimy půd

- Tepelná vodivost půdy – ovlivněna několika faktory:
- **mineralogické složení** – největší hodnotu tepelné vodivosti má křemen, méně než poloviční křemičitany
- **obsah humusu** – řádově nižší tepelná vodivost než křemen
- **vlhkost** – voda má tepelnou vodivost λ_W více než o řád větší než vzduch
- **textura a struktura půdy** – přenos tepla na bodových kontaktech vodivých elementů (křemičitanové a křemičité částice) za sucha, při vzniku vodních filmů → prudký nárůst dotykových ploch a λ rychle vzrůstá s vlhkostí
- Nestacionární proudění tepla – rovnice pro stacionární proudění tepla je doplněna o rovnici zachování energie (= rovnice kontinuity), podle které je zmenšení výtoku tepla z elementu provázeno jeho ohřátím.

CC BY SA

Klasifikace tepelného režimu půd:

1. Mrazový teplotní režim – vyznačuje se permafrostem, tajícím do 100 cm, s teplotou nejteplejšího měsíce < 20 °C.

2. Dlouhodobě sezónně promrzající půdy – ostrůvkovitě se ve větší hloubce vyskytuje permafrost. Půda promrzá do 100-300 cm po dobu alespoň 5-6 měsíců, teplota nejteplejšího měsíce 10-25 °C.

3. Sezónně promrzající půdy – permafrost zcela chybí, promrzání do hloubky 20-200 cm po dobu kratší než 5-6 měsíců, teplota nejteplejšího měsíce 20-30 °C.

4. Nepromrzávající půdy s periodickým ochlazováním - s kladnými teplotami (do +5 °C) nejchladnějšího měsíce, teplot nejteplejšího měsíce do 35 °C.

5. Vlastní nepromrzající půdy – s kladnými teplotami nejchladnějšího měsíce 5-20 °C.

6. Nepromrzávající půdy, stále teplé – půdní teploty v průběhu celého roku nad 20 °C.

- V našich zeměpisných podmínkách:

ad 2. - může se uplatňovat ve vysokých pohořích naší republiky

ad 3. - delší dobu s kladnými hodnotami půdní teploty, půda promrzá 1-5 měsíců v roce

CC BY SA

Vzdušný režim půd

- **neprodyšný** – minimální vnitropůdní i mimopůdní cirkulace vzduchu
- **tlumený** – výměna vzduchu mezi půdou a atmosférou během roku je nepatrná a probíhá jen několik měsíců
- **sezónně tlumený** – během vegetačního období je výměna mezi půdou a atmosférou intenzivní, na dlouhou dobu se však zastavuje (vliv dlouhotrvající sněhové pokrývky)
- **krátkodobě sezónně tlumený** – výměna vzduchu mezi půdou a atmosférou je v průběhu roku přerušována jen na krátké období
- **prodyšný** – trvalé a intenzivní provzdušňování půdní masy

CC BY SA

Biologický režim půd

- **živořící** – u biologicky chudých půd s nízkým obsahem organických látek a celkově nepříznivými ekologickými podmínkami
- **pulzující** – u půd s občasným krátkodobým uplatněním biologické aktivity
- **sezónně intenzivní** – u půd s jediným dlouhým obdobím biologického klidu a dlouhým obdobím intenzivní biologické činnosti

CC BY SA

Režim solí v půdě

Režim solí v půdě charakterizuje změny obsahu, složení a pohybu solí v půdě za určité časové období.

Hlavní typy režimu solí v půdě :

1. **Primitivní typ** - charakterizuje velmi nízký obsah solí v půdě, nevýrazné změny v jejich složení a zanedbatelný pohyb solí v půdě.

2. **Eluviální typ** - charakteristický intenzívním vyplavováním solí z půdního profilu.

3. **Migrační typ** - probíhá pohyb solí výhradně v půdním profilu.

4. **Akumulační typ** - dochází k zvyšování obsahu solí v půdním profilu.

5. **Antropogenní typ** - obsah i pohyb solí v půdě se uměle reguluje.

CC BY SA

Zdroje

- Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9.
- Kachlík, V.; Chlupáč, I.: Základy geologie. Historická geologie. Praha: Karolinum, 1998. 342 s.
- Ivanov, M.; Melichar, R.: Pedogeologie (Studijní materiály předmětu PřF:G8141). Masarykova univerzita v Brně: Přírodovědecká fakulta, 2007, Dostupné online: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2007/G8141/um/.

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Chemie geosféry
B240008

Chemické složení půd – anorganická složka

Autor: Jiří Kroužek

Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

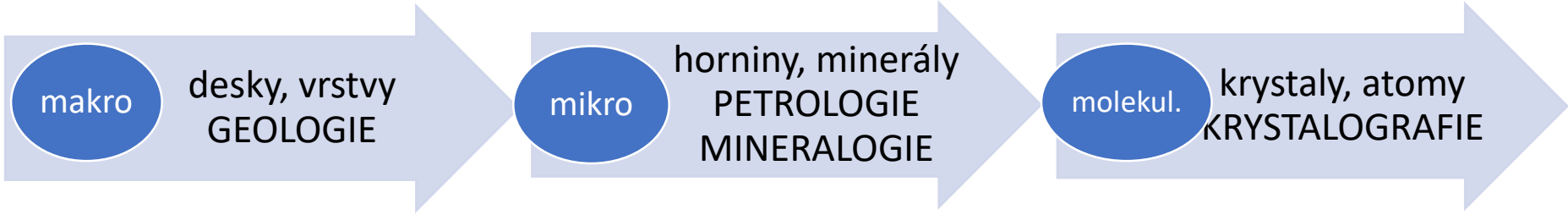
Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

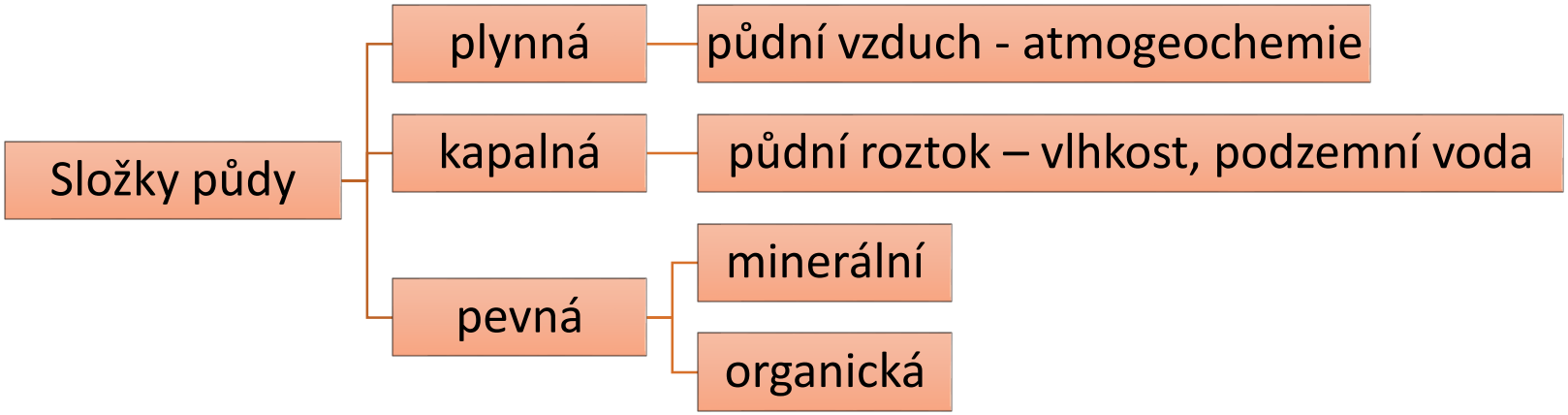
Chemické složení půd - anorganická složka půdní minerály, krystalografie, mineralogie

- Úvod do složení zeminy
- Minerální složka půdy
- Základní terminologie
- Fyzikální vlastnosti minerálů
- Základy krystalografie a krystalochemie
- Klasifikace půdních minerálů
- Charakteristika skupin minerálů
- Horniny – základy petrologie
- Analytická geochemie – minerální složka

CC BY SA

Úvod do složení půdy





- Rozdíl v množství částic, počtu jejich srážek a střední volné dráze jejich pohybu
- Pevné – pohyb omezen okolo „rovnovážných poloh“, energie vazby > energie pohybu

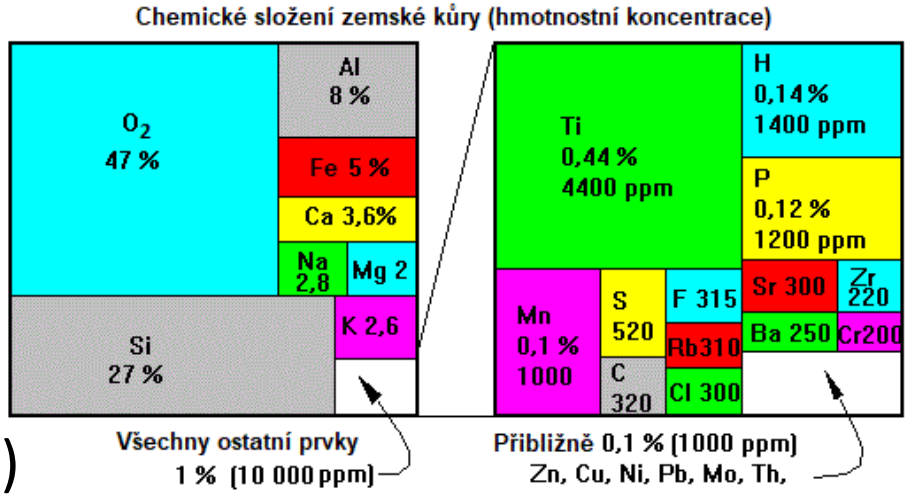
CC BY SA

Úvod do složení půdy - faktory

- Matečná hornina
- Podnebí
- Geologická historie
- Reliéf
- Lidská činnost
- Biosféra, biochemické děje
- Chemismus půdy

CC BY SA

Prvkové složení půdy



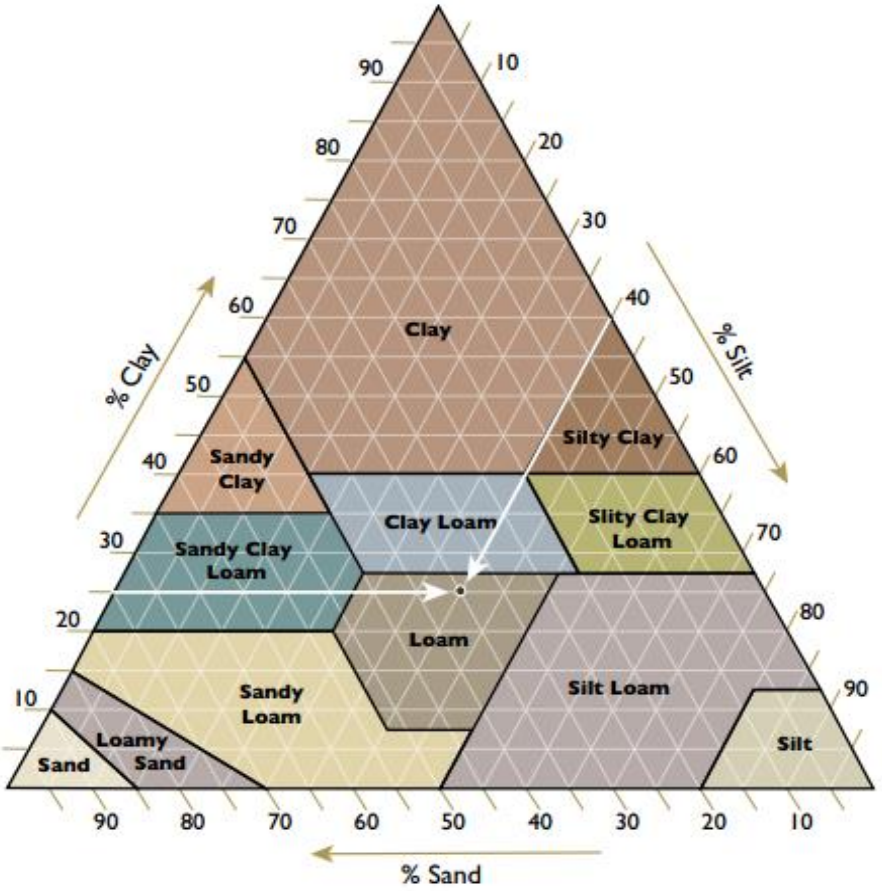
zdroj: *Composition of continental crust, R. L. Rudnick, University of Maryland*

- Proměnlivé složení
  - Dominantní minerály (substrát)
  - Fyzikální struktura
  - Hloubka, biologická činnost, atd.
- Důležité charakteristiky:
  - Sušina
  - Poměr Si/Al
  - Obsah celkového uhlíku (TC) – poměr TIC/TOC
  - Obsah vápníku – pufrace, půdní reakce, sorpční komplex,
  - Obsah železa a manganu – redox, vodní režim
  - Obsah živin – N, P, K
  - Obsah sodíku – rozpad půdní struktury

CC BY SA

Minerální složka půdy – návaznost na fyzikální strukturu

	Zrnitostní frakce půdy	velikost částic (mm)
JEMNOZEM	Koloidní jíl	< 0,0001
	Fyzikální jíl	< 0,001
	Jemný prach	0,001 – 0,01
	Prach	0,01 – 0,05
	Práškovitý písek	0,05 – 0,1
	Písek	0,1 – 2,0
SKELET	Hrubý písek	2 - 4
	Štěrk	4 - 30
	Kamení	> 30

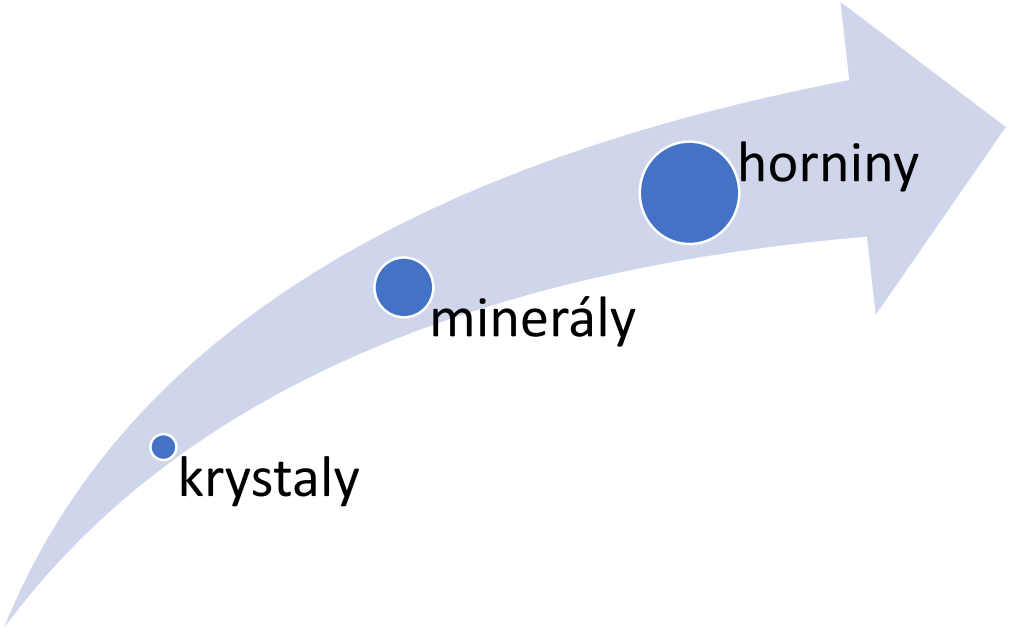


zdroj: USDA soil texture classification

- v jednotlivých frakcích a typech půd dominují často některé skupiny minerálů
  - např. jílové minerály (fylosilkáty) jsou důležitou složkou jemných podílů, naopak křemen spíše větších částic

CC BY SA

Popis minerální složky půdy - terminologie



- Pevné látky – **krystalické nebo amorfní**
  - Amorfní látky – stavební prvky jsou nahodile uspořádány – připomíná kapaliny – např. skla, rychle ztuhlé taveniny, organické pryskyřice
    - Izotropie chem. a fyz. vlastností, nejednoznačná teplota tání
  - Krystalické látky – rovnovážné polohy stavebních částic pravidelně uspořádány v prostoru (síť, mříž, opakující se vzor)

cc BY SA

Popis minerální složky půdy - terminologie

- Krystal – těleso s uspořádanými stavebními prvky v opakujícím se vzoru, který se zachovává na velké vzdálenosti
  - Dokonalé hladké plochy pouze v případě růstu bez vnějšího omezení
  - Ideální (nekonečný) a dokonalý (konečné rozměry) krystal – bez poruch
  - Reálný krystal – četné odchylky od ideální struktury
  - Monokrystal – těleso z jednoho krystalu (kompaktního agregátu o stejné orientaci)
  - Polykrystal – kompaktní agregát z krystalů s různou orientací
- Krystalová struktura – způsob uspořádání stavebních prvků v krystalu
- Krystalografie - zabývá se studiem struktury krystalů, vývojem a poruchami jejich ideální struktury
  - Morfologická – vnější tvar krystalů
  - Strukturní – vnitřní stavba krystalů
  - Fyzikální (krystalofyzika) – fyzikální vlastnosti, účinky různých energií
  - Chemická (krystalochemie) – chemické složení, podmínky jejich vzniku, vztahy mezi složením, strukturou a vlastnostmi
  - Užitá – fyzikální vlastnosti pro technické účely, syntetické krystaly

CC BY SA

Popis minerální složky půdy - terminologie

- Minerál = nerost – prvek nebo sloučenina, která má krystalickou strukturu a vznikla geologickými procesy
  - Řadí se tam také kapal. Hg, amorfní minerály (opály), mimozemská tělesa, biogenní látky formované geoprocesy (guáno)
  - Nepatří voda, ropa a nekryst. bitumeny (uhlí), antropogenní a lidmi ovlivněné materiály, biogenní (schránky korýšů) a směsi minerálů (horniny)
- Minerální druh – systematizace, vymezení minerálů
  - Specifickým chemickým složením
  - Specifickou strukturou (uspořádání částic)
  - Složením i strukturou
  - Více než 4300 druhů, častější výskyt 300 druhů, běžné několik desítek
- Mineralogie – zabývá se minerály, jejich vnitřní stavbou, vzhledem, fyzikálními a chemickými vlastnostmi, vznikem, transformací a možnostmi technického využití.
  - Všeobecná (mineralogická krystalografie) – překryv
  - Speciální (systematická) – minerální druhy
  - Genetická – vznik a výskyt minerálů v přírodě
  - Užitá (technická) – pro průmysl – vyhledávání, těžba, úprava nerostných surovin
  - Gemologie – drahé kameny

CC BY SA

Popis minerální složky půdy - terminologie

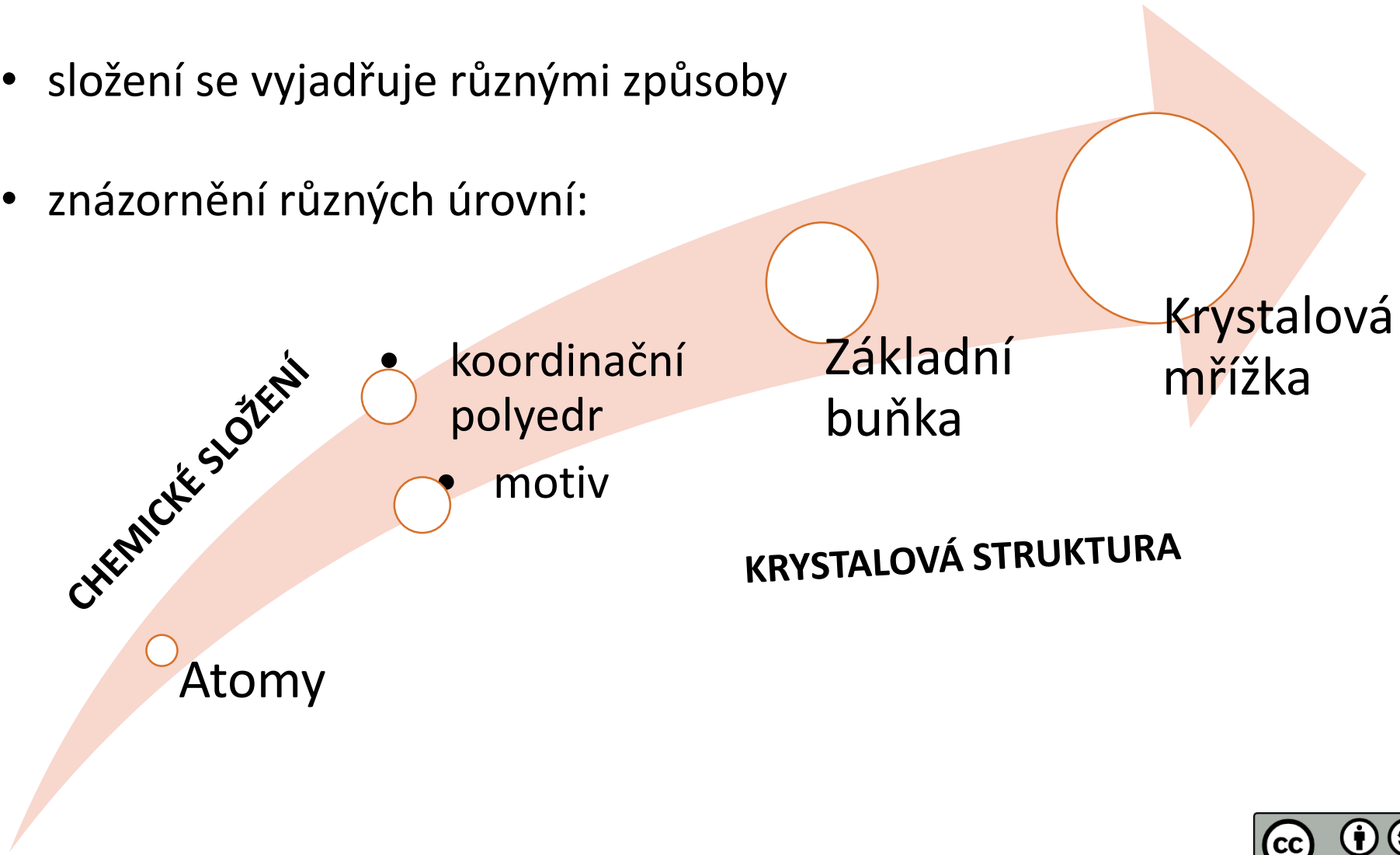
- Hornina - heterogenní přírodní látky v zemské kůře skládající se z minerálů (mechanická směs minerálů)
  - někdy i organických složek nebo vulkanického skla
  - výjimečně se jedná o monominerální horninu (mramor)

- Petrografie – popis složení a vlastností hornin
- Petrologie - zabývá se vznikem, složením, vlastnostmi a výskytem hornin
  - nezahrnuje pedologii, která je samostatnou disciplínou – zabývá se vznikem, vlastnostmi a charakterizací půd (typ horniny)

CC BY SA

Chemické složení minerálů (krystalochemie)

- složení se vyjadřuje různými způsoby
- znázornění různých úrovní:



cc BY SA

Základní stavební jednotky

- Atomy a ionty – pro všechny krystaly
- Základní model pravidelně uložených kulových částic, které se dotýkají
  - Poloměry atomů a iontů – v ångströmech 1 Å = 10^{-10} m
  - Ovlivněn okolím – 0,X až X Å
    - Elektronovým obalem – pozice v tabulce
    - Nábojem iontu (pro S^{6+} 0,29Å a S^{2-} 1,84 Å), pro izomorfii
    - Koordinací iontu (pro Li^{+} KČ4 = 0,59 a KČ8 0,9Å)
  - Různé hodnoty
    - Goldschmidt, Pauling, Shannon a Prewitt - nemísitelné
- Ionty jsou deformované
  - Kationt má polarizační účinek
  - Aniont je polarizovatelný

CC BY SA

Vazby mezi atomy

Primární – chemické

- vedou k přestavbě atomových obalů
- elektrostatické síly mezi atomy
- Kovalentní
  - sdílení elektronů (jen některých) mezi atomy
  - jeden směr, deformace atomů, fixní úhly v molekule
  - v pevných látkách mezi O, Cl, N, F, prvky ze středu tabulky
  - Vysoká T_T, tvrdost, nerozpustnost, nízká vodivost
- Iontová
  - transfer elektronu k dosažení konfigurace inertních plynů
  - bez směru (sférický tvar iontů), max. obklopení okolními protiionty, dipóly v páru
  - kationty zejména kovy, Na, K, Ca, Mg, anionty nekovy
  - Nízká vodivost, vysoký T_T, střední tvrdost a hustota, štěpnost
- Kovová
  - volné sdílené elektrony, všesměrově, skupinové
  - vysoká vodivost, kujnost a tažnost (bez směru vazeb), plasticky deformovatelné, měkké
  - malý význam v půdách
- dominuje kombinace kovalentních a iontových vazeb, smíšená vazba dle elektronegativit

Sekundární – slabé interakce

- Vodíkové vazby – když H tvoří pozitivní konec dipólu – vazba s O, N a F
- Van der Waalsovy vazby
  - Nepříliš časté – grafit, vrstevnaté silikáty
  - Vysoká štěpnost, nízká tvrdost a teplota tání (síra)

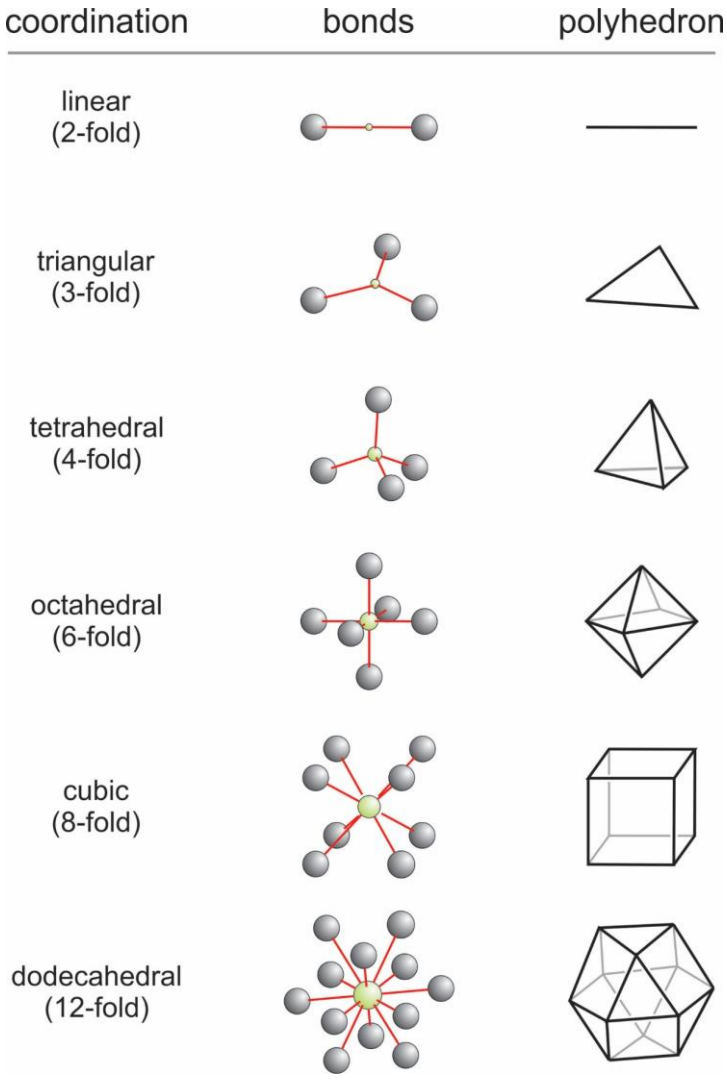
CC BY SA

Koordinace – vnitřní stavba krystalu

- Koordinační polyedr
  - základní útvar tvořený středem (centrální atom, kationt) a vrcholy okolo něj (anionty)
  - krystal je složen z polyedrů uspořádaných v prostoru
  - menší než základní buňka krystalové mřížky (viz dále)
  - nejčastěji pro ionty, ale lze ho použít i v kovalentních či kovových strukturách
- Koordinační číslo
  - počet aniontů okolo centrálního atomu
  - nejčastěji 3, 4, 6, 8 a 12
  - konfigurace s nejmenší energií
  - výsledkem elektricky neutrální struktura
  - rozhodující jsou velikosti iontů (poloměry)

CC BY SA

Koordinace – vnitřní stavba krystalu



zdroj: *https://opengeology.org/Mineralogy*

Paulingova pravidla pro iontové struktury

1. o poloměrech kat-an
2. síla vazby je náboj/KČ
3. společné body/hrany polyedrů snižují stabilitu
4. u různých kationtů snaha nesdílet hrany
5. minimální počet druhů struktur

Principy pro uspořádání stejných koulí

- co nejtěsněji
- maximální symetrie
- maximální KČ

KČ	Geometrie	Příklad	Stabilita
2	přímka	-	-
3	trojúhelník	uhličitany	Velmi vysoká
4	tetraedr	křemičitany	Středně vysoká
6	oktaedr	hlinitany	Vysoká
8	centr. krychle	železo	Nízká
12	plocha	K-O ve slídě	Velmi slabé

Krystalová mřížka (Krystalografie)

- geometrické vyjádření periodicity struktury krystalu
- abstraktní vyjádření translační periodicity rozmístění ekvivalentních bodů v krystalu
- translace (posuv) bodu podle tří mřížkových vektorů (nekomplanárních)
  - přímková (1D), rovinná (2D) a prostorová mřížka (3D)
  - uzlové (mřížkové) body – stejné okolí, výchozí většinou prvek symetrie nebo jejich průsečík
  - uspořádání atomů okolo mřížkového bodu = **motiv** – 1 až tisíce atomů
  - mřížkové roviny – tři uzlové body na ploše
  - soubor rovnoběžných mřížkových rovin = osnova (nekonečné množství), mezirovinná vzdálenost d_{hkl}
- **Buňka** – uzavřený rovnoběžnostěn s uzly ve vrcholech
  - Nekonečno buněk v každé mřížce
- **Základní buňka** – její výběr:
  - Vystihuje symetrii/morfologii krystalu
  - Co nejvíc pravých úhlů
  - Co nejmenší objem
- **14 typů Bravaisových mřížek**

CC BY SA

Bravaisovy mřížky

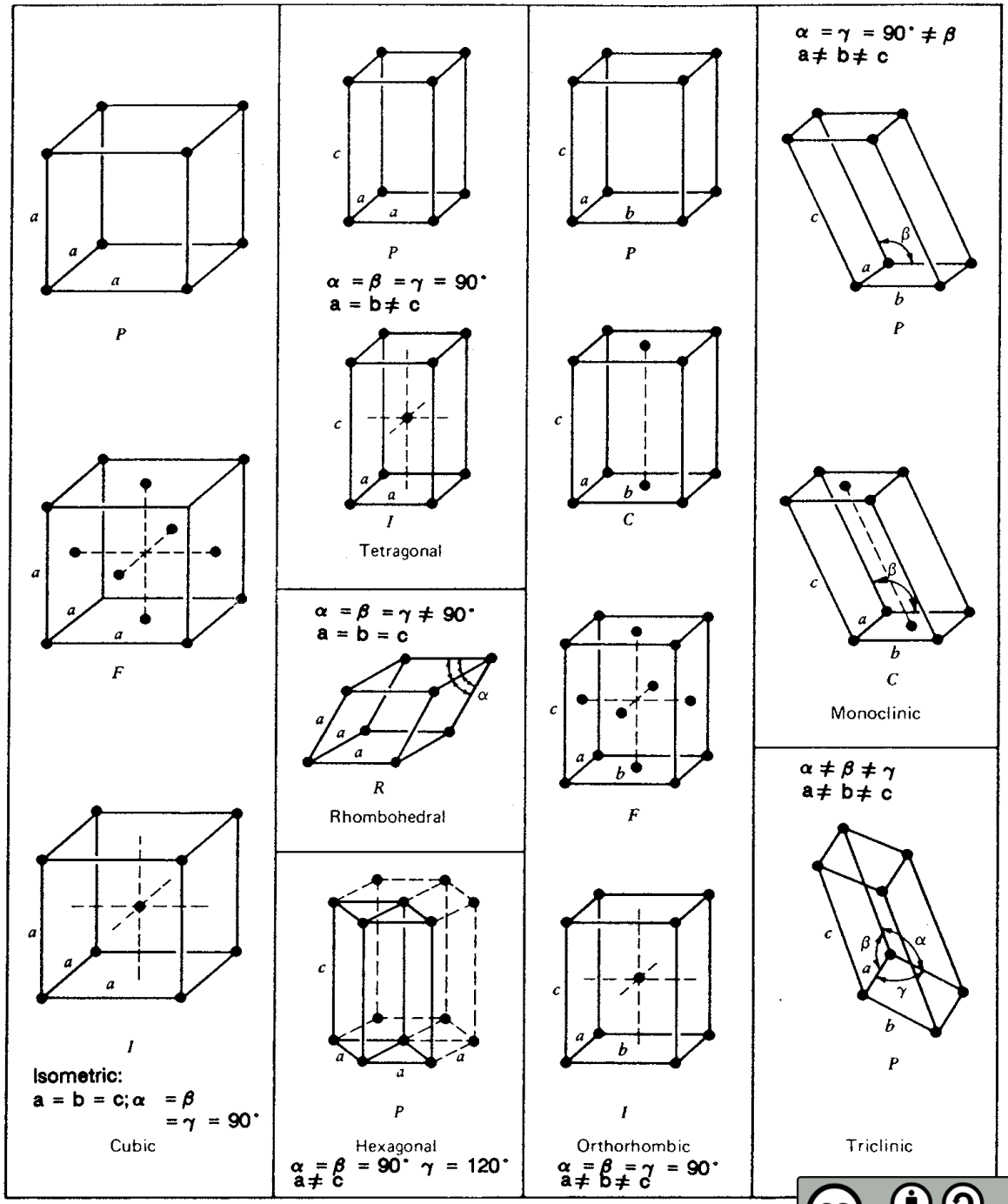
Základní buňky

- Primitivní *P (R)*
  - =Body pouze ve vrcholech
- Centrované
  - =Body i mezi vrcholy
    - Bazálně *A,B,C*
    - Prostorově *I*

Mřížkové parametry

- Velikost zákl. vektorů a,b,c
- Meziosové úhly α,β,γ

Kryst.soustava	buňky	Mříž. Param.
kubická	*P, I, F*	a
Trigonální (romboedrická)	*R*	a, α
hexagonální	*P*	a, c
tetragonální	*P, I*	a, c
rombická	*P, C, I, F*	a, b, c
monoklinická	*P, I*	a, b, c, β
triklinická	*P*	a, b, c, α, β, γ



Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of soil behavior* (3rd edition). New York: John Wiley & Sons

CC BY SA

Krystalová struktura

- Krystalová struktura – prostorové uspořádání stavebních částic
- Mřížka – abstrakce translační periodicity tohoto uspořádání (pomůcka)
- Motiv – uspořádání stavebních částic v základní buňce

Mřížka + motiv (báze) = krystalová struktura

Krystalovou strukturu lze charakterizovat:

- Mřížkovými parametry (Bravaisovou mřížkou) – rozložení základních stavebních prvků v základní buňce
- Polohou bodů motivu – těžiska atomů v základní buňce (atomové souřadnice (x,y,z < 1) vzhledem k osovému systému tvořeným základními vektory o velikosti = 1)
- číselné údaje = strukturní parametry krystalu
- vzorcová jednotka (chem.vzorec) a jejich počet (Z) v základní buňce (např. kalcit $Ca_4C_4O_{12}$, Z=4)

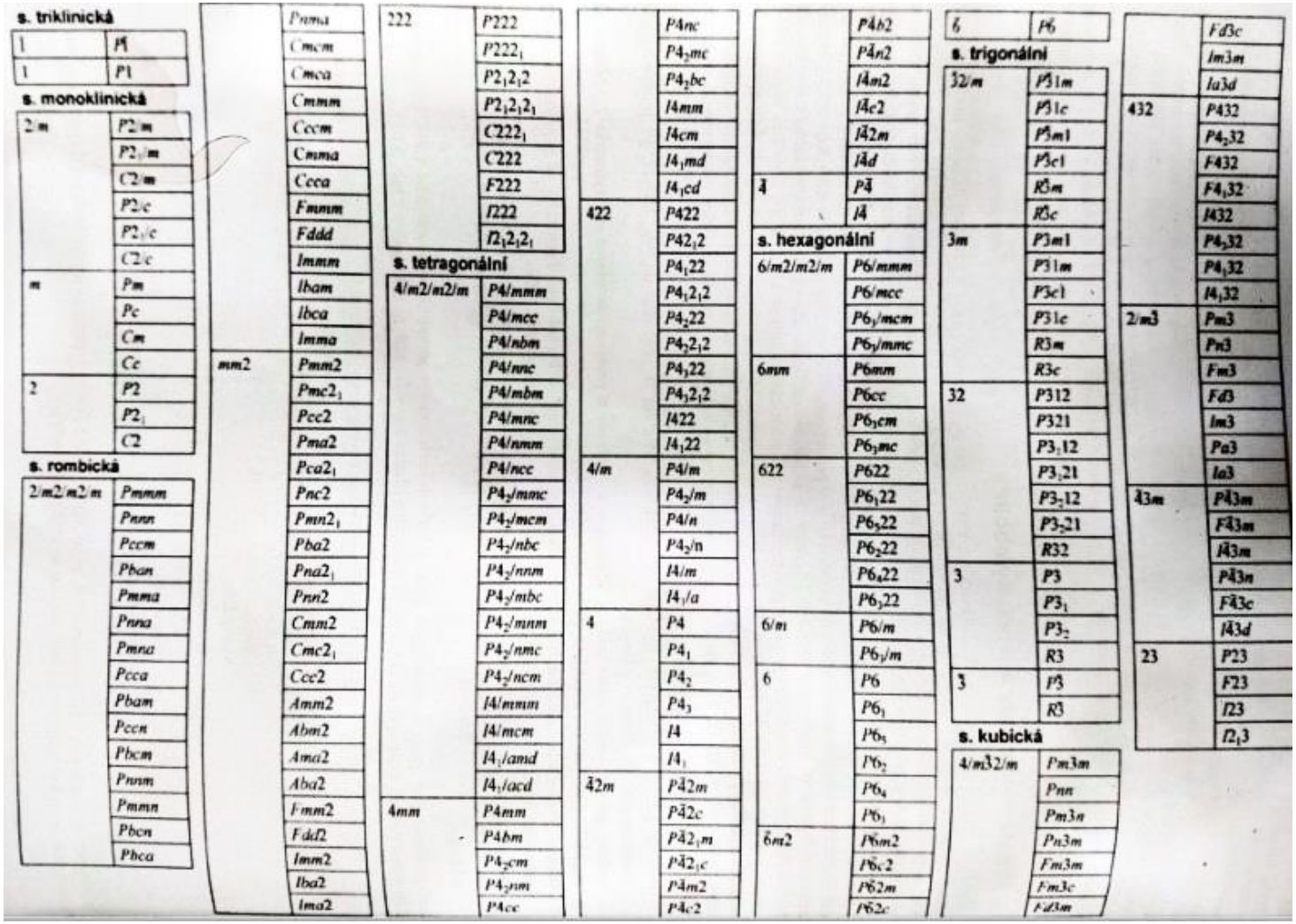
CC BY SA

Symetrie krystalových struktur

- Popisuje pravidelnost - vysvětlení a popis pravidelného rozmístění v prostoru
  - v morfologii pravidelné rozložení morf. prvků (hran, rohů, ploch) – makroskopické
  - symetrie kryst.struktur – rozmístění rovnovážných poloh stavebních prvků, jejich tvaru, orientace dipólů atd.
  - Krystalová morfologie se řídí symetrií krystalových struktur – omezuje se jen na bodové grupy
- Operace symetrie – inverze, zrcadlení, rotace, translace, šroubová a skluzová operace
- Prvky symetrie – střed, rovina, rotační osa a kombinované (inverzní, skluzové a šroubové osy)
- Grupy symetrie – analýza operací a prvků, jejich soubor
  - Bodové, rovinné a prostorové
  - 32 bodových grup
  - 230 prostorových grup symetrií (teoreticky) – pouze 30 běžných
- Krystalové soustavy dle souměrnosti
  - počet os a rovin, přítomnost středu – nerovnoměrná distribuce grup symetrie
  - Triklinická (2), monoklinická(13), rombická(59), tetragonální (68), hexagonální(27), trigonální (25), kubická (36)

CC BY SA

Prostorové grupy - Hermann-Mauguinova symbolika



CHVÁTAL, M., *Úvod do mineralogické krystalografie*, 2020, Vodní zdroje Chrudim, ISBN 978-80-87883-14-3

CC BY SA

Struktura reálných krystalů

- Odchylky od ideální struktury (dokonalá periodicita)
- Kmitavý pohyb stavebních částic okolo rovnovážných poloh – vliv fyzikální vlastnosti
- Poruchy – vznik při růstu nebo při mech. namáhání
  - Bodové – velikost stavební částice
    - Vakance – neobsazení strukturní polohy
    - Izomorfní substituce – náhrada za podobně velké částice
  - Čarové – dislokace
    - Šroubová či hranová – vznik při růstu a deformaci krystalu
  - Plošné
    - vytváří hranice mozaikových bloků (monokrystal) či krystalků (polykrystal. mat.)
  - Prostorové (objemové)
    - Shlukování vakancí (mikrodutinky) nebo příměsí (precipitáty)
    - Inkluze (fluidní aj.)

CC BY SA

Izomorfie, izotypie, polymorfie

Izomorfie = substituce v krystalových strukturách

- téměř v každém minerálu stopově (např. Mg, Mn, Fe v kalcitu)
- izomorfní řada – koncové (jednoprvkové minerály) a přechodné členy (směsné) – např. plagioklas

albit $NaAlSi_3O_8$ – oligoklas-andezín-labradorit-bytownit-anortit $CaAl_2Si_2O_8$

- může být složitá řada – 3 a více koncových členů
- náhrada iontů či iontových skupin – iontová substituce
- pevný roztok isotypních minerálů – homogenní, neuspořádaný
- podmínky – podobná velikost (+- 15%), nábojová rovnováha, teplota a tlak vzniku či chem.podmínky krystalizace
- typy izomorfie – homovalentní, intersticiální, vakantní
- význam např. pro těžbu některých prvků, které netvoří vlastní krystaly

Izotypní minerály – stejná krystalová struktura, ale jiné prvk. složení

Polymorfie – stejná sloučenina tvoří různé krystalové struktury

- vznikají za různých podmínek krystalizace
- polymorfní modifikace
- příklad – uhlík, ZnS (sfalerit, wurtzit). SiO_2, TiO_2 atd.
- teplotně-tlakové (pT) diagramy – stabilita modifikací

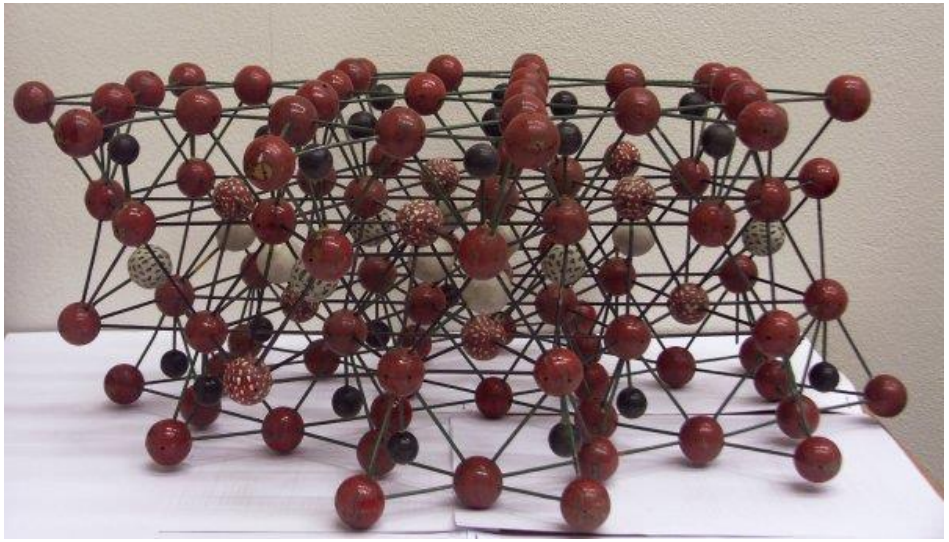
CC BY SA

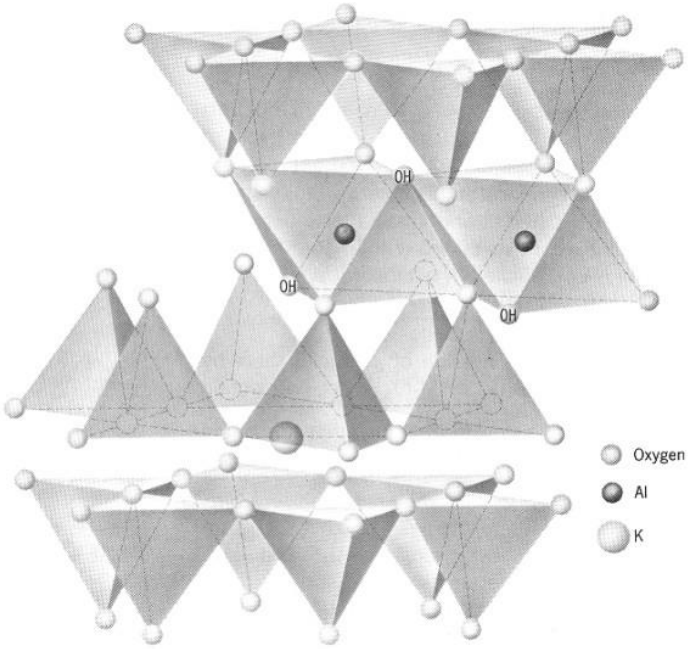
Popis chem. složení minerálů

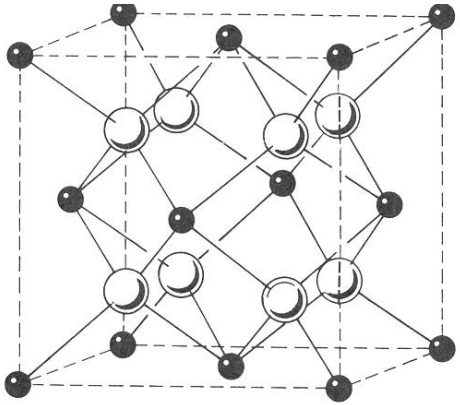
- Krystalochemický vzorec
  - přibližný a zjednodušený
  - výchozí pro klasifikaci
  - určení z poměru prvků
  - vlevo kationty, vpravo anionty (někdy v [])
  - izomorfie iontu v závorce s čárkami – $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$
  - anionty někdy rozepsané zvlášť
  - voda ve struktuře – konstituční, krystalová, v koloidech
  - náboj iontů arabskými, koordinace římskými
- Grafické vyjádření – lineární, plošné a prostorové diagramy

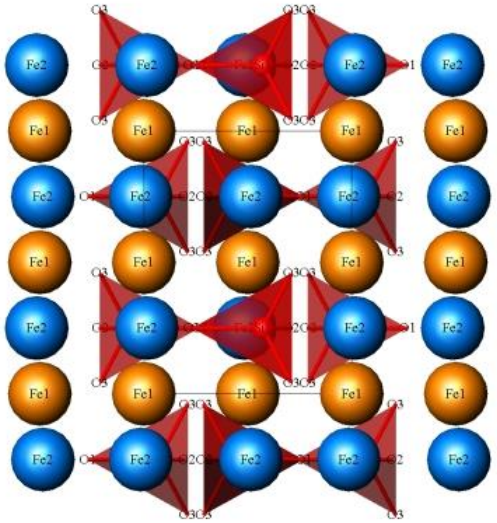
CC BY SA

Zobrazování krystalové struktury











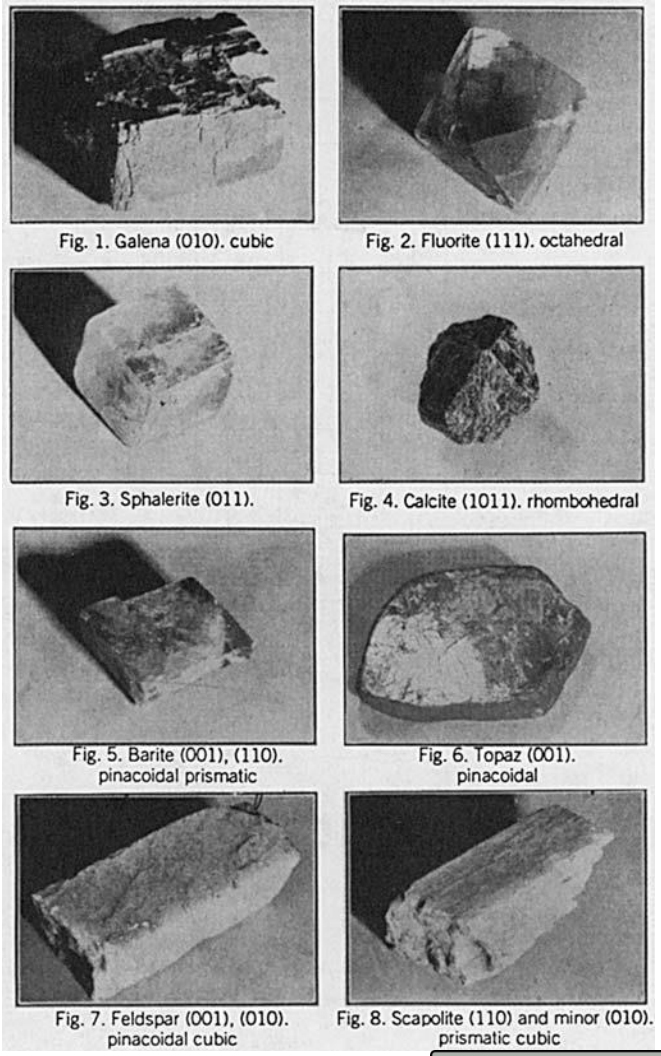
zdroje: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of soil behavior* (3rd edition). New York: John Wiley & Sons

CC BY SA

Morfologická krystalografie

- Zabývá se tvarem krystalů, jejich vnějším omezením
- V historii vodítkem pro klasifikaci minerálů, dnes uzavřený obor
- Studuje krystaly ohraničené vlastními vyvinutými plochami (dokonale, automorfní) – při svém růstu nebyly omezovány (vzácný jev)
- Krystalový mnohostěn
  - Rovinné plochy – hrany – rohy
- Vznik a růst krystalu
  - Nukleace – porušení rovnováhy (teplota, odpar aj.), vedoucí ke vzniku nuklea (kryst. zárodek)
  - Růst krystalu apozicí = ukládání vrstev stavebních částic (srážky, energeticky nejvhodnější místo)



Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of soil behavior* (3rd edition). New York: John Wiley & Sons

CC BY SA

Fyzikální vlastnosti minerálů

- Důsledek chemického složení a krystalové struktury
- Lze některé určit okem nebo jednoduchými testy (makroskopické) -> terénní pozorování a předběžné určování minerálů; pro jiné je zapotřebí složitých přístrojů
- Jednotlivé krystaly – vzácně – určení dle habitu a typu
- Častěji jako agregáty – srůsty krystalů – zrnité, celistvé, stébelnaté, jehlicovité, lupenité, ledvinité, snopkovité, dendritické atd.
- Důležitá je morfologie krystalových ploch – rýhování, skulptace
- Anizotropie krystalických látek (amorfní izotropní)
  - vektorové vlastnosti (většina fyzikálních), záleží na měřítku
- Hustota – piknometrická metoda, těžké kapaliny, výpočet z XRD
  - těžké minerály přes 2,9 g cm^{-3}
  - sedimentace
  - význam v těžbě

CC BY SA

Fyzikální vlastnosti minerálů

- Mechanické vlastnosti – působení vnějších sil (zejm. tlak)
  - Štěpnost – lámání s určitou rovinou atomů – Millerovy indexy
  - Dělitelnost (odlučnost) – lámání podle jiných strukturních oslabení
  - Lom – lámání mimo krystalografický směr
  - Soudržnost – odolnost vůči lámání, ohýbání, trhání, drcení – křehký, kujný, řezatelný, tažný, ohebný, pružný
  - Tvrdost – míra odolnosti vůči pronikání cizího tělesa
    - Relativní tvrdost (Mohsova stupnice)
    - Absolutní tvrdost (mikrotvrdost) – Vickersova čísla tvrdosti VHN

1	mastek	6	ortoklas
2	halit, sádrovec	7	křemen
3	kalcit	8	topaz
4	fluorit	9	korund
5	apatit	10	diamant

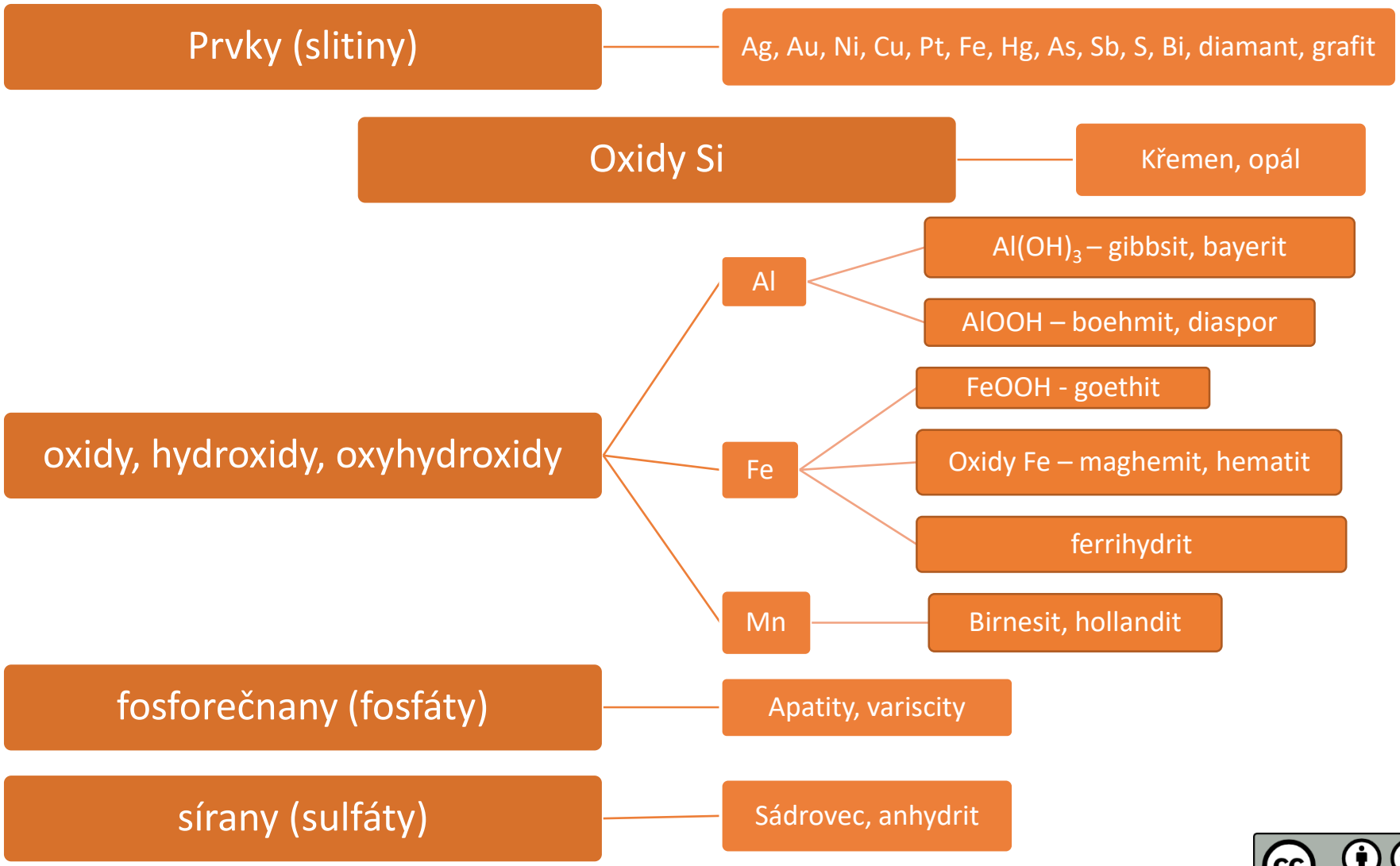
cc BY SA

Fyzikální vlastnosti minerálů

- Optické vlastnosti
  - Lom a odraz světla – ke kolmici a od kolmice
  - Polarizace světla
  - Minerály izotropní a anizotropní – nedochází, resp. dochází při průchodu ke dvojlomu
  - Pozorování v jednom nikolu (PPL) – barva, pleochroismus, reliéf, Beckeho linka, tvar štěpnost, uzavřeniny
  - Pozorování ve zkřížených nikolech (XPL) – dvojlom (izotropie), zhášení, optický charakter a ráz, interference
- Barva, vryp, průchodnost světla lesk - důsledek optických jevů v minerálu
- Luminiscence – schopnost minerálu emitovat světlo po obdržení energie
  - Fluorescence – po aplikaci UV, RTG nebo katodového záření
  - Fosforescence – luminiscence i po ukončení záření
  - Termoluminiscence (teplem – např. kalcit, apatit), tribolumin. (mechanicky, fluorit)
- Elektrické vlastnosti – vodivost – vodivé při převaze kovové vazby
- Magnetické vlastnosti – např. magnezit, ilmenit
- Radioaktivita minerálů

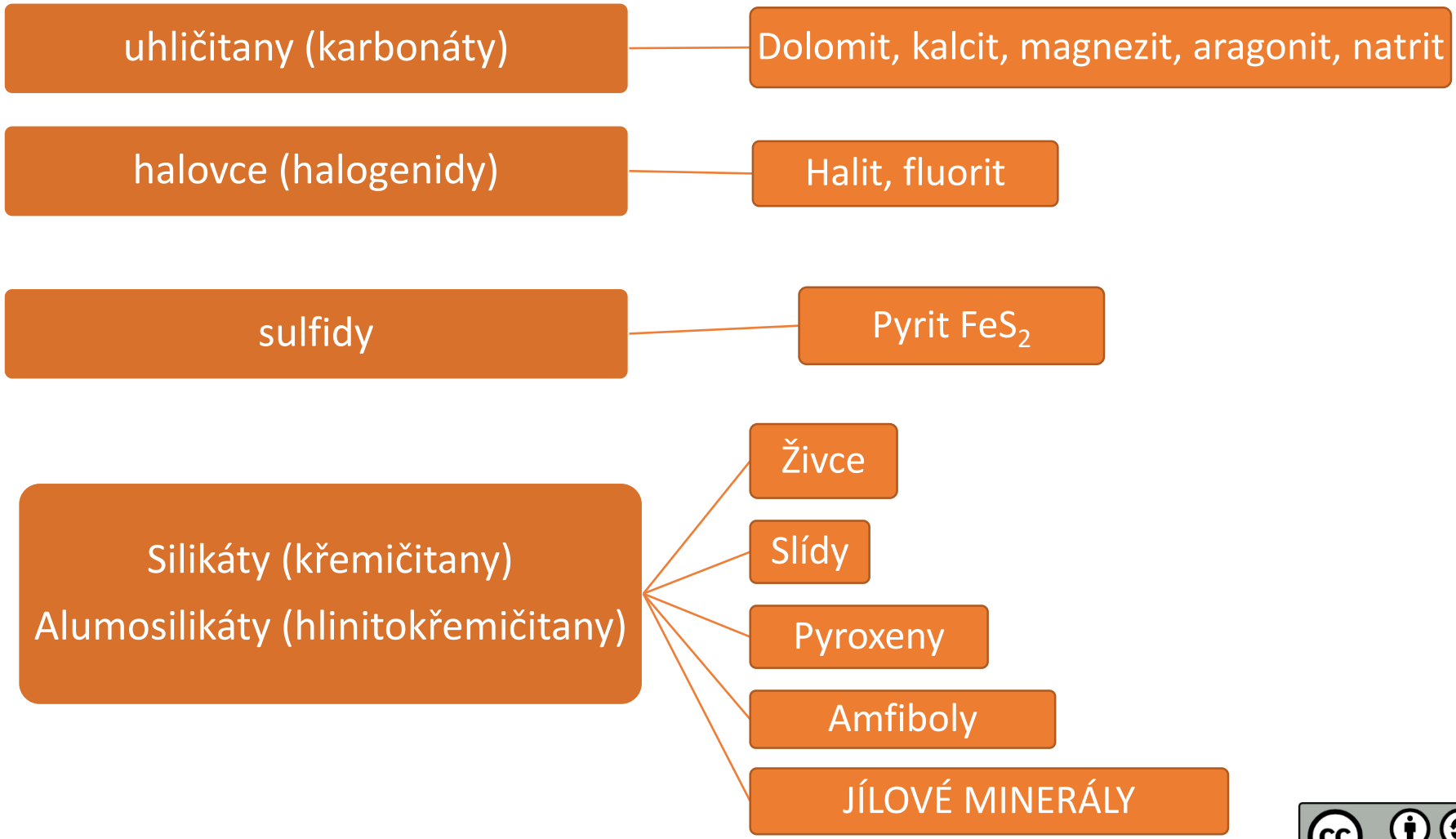
CC BY SA

Půdní minerály - klasifikace



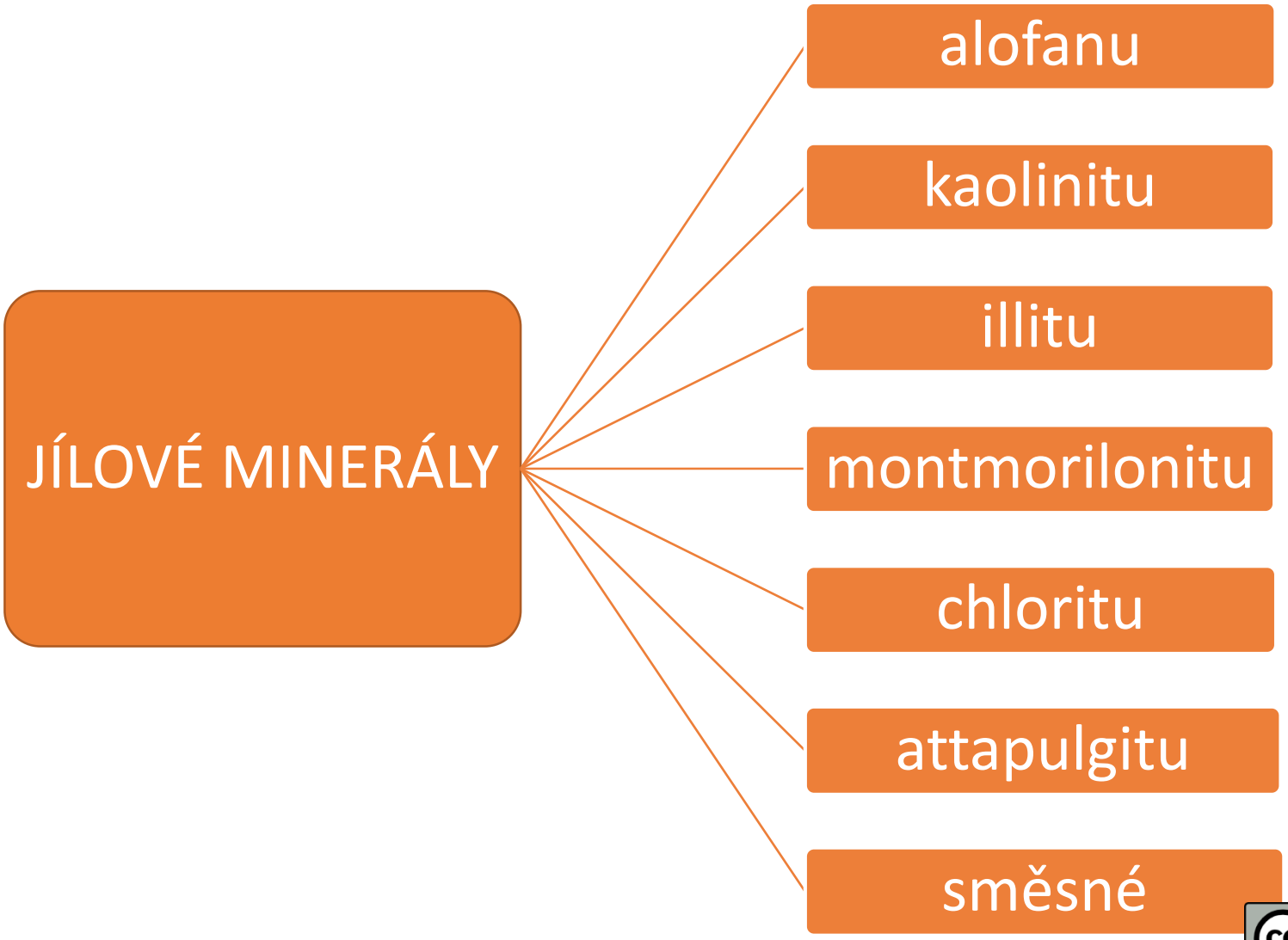
cc BY SA

Půdní minerály - klasifikace



cc BY SA

Jílové minerály - skupiny



cc BY SA

Půdní minerály - klasifikace



CC BY SA

Půdní minerály – strukturní klasifikace silikátů

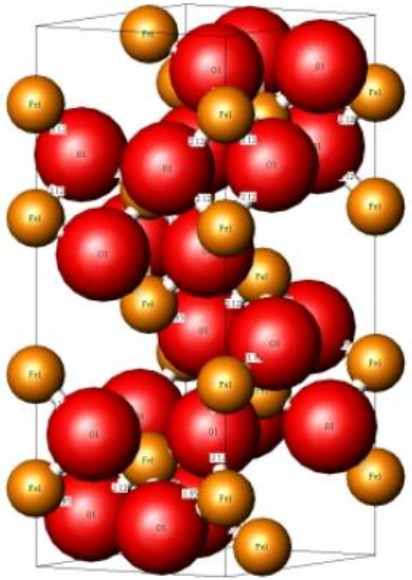
- nesosilikáty – granát, olivín
- sorosilikáty - epidot
- cyklosilikáty – beryl, cordierit
- inosilikáty – pyroxeny, amfiboly
- fylosilikáty – jílové minerály
- tektosilikáty – živce, zeolity

CC BY SA

Oxidy a hydroxidy – struktura, vlastnosti, výskyt



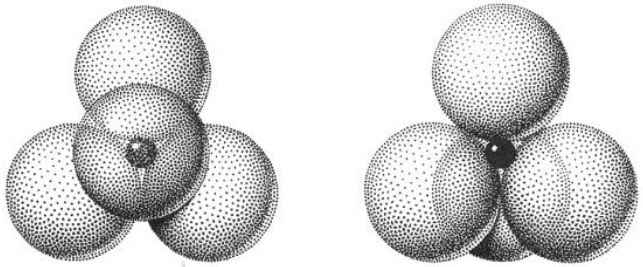
- Oxidy s kovy či nekovy - tvrdé a odolné, vyšší hustota
- Převažuje iontová vazba – velký aniont O^{2-} s dutinami
- rozmanité - tetraedry (jako tektosilikáty), oktaedry, kubické aj.
- skupina křemene SiO_2
  - Polymorfie – nižší, vyšší (573°C), tridymit (870°C), cristobalit (1470°C
  - Podstatný horninotvorný minerál, odolný k alteraci (náplavy)
  - odrůdy – křišťál, ametyst, acháty, pazourek atd. – podle příměsí a barvy
- opál $SiO_2.nH_2O$ – amorfní minerál
- skupina korundu - oktaedry
  - Korund Al_2O_3,Hematit Fe_2O_3, ilmenit $FeTiO_3$
- spinelidy M_3O_4 – magnetit, spinel (MgAl), chromit (FeCr)
- skupina TiO_2 – rutil, anatas, brookit
- Do skupiny se řadí i OH^- a $O(OH)^{3-}$
- hydroxidy často tvoří vodíkové můstky
  - slabší vazba, měkčí, méně odolné, produkt alterace minerálů
- Goethit FeO(OH) – hojný v oxidační zóně ložisek, oktaedr
- limonit (směs Fe OH), bauxit (směs Al OH) a psilomelan (směs Mn O a OH)

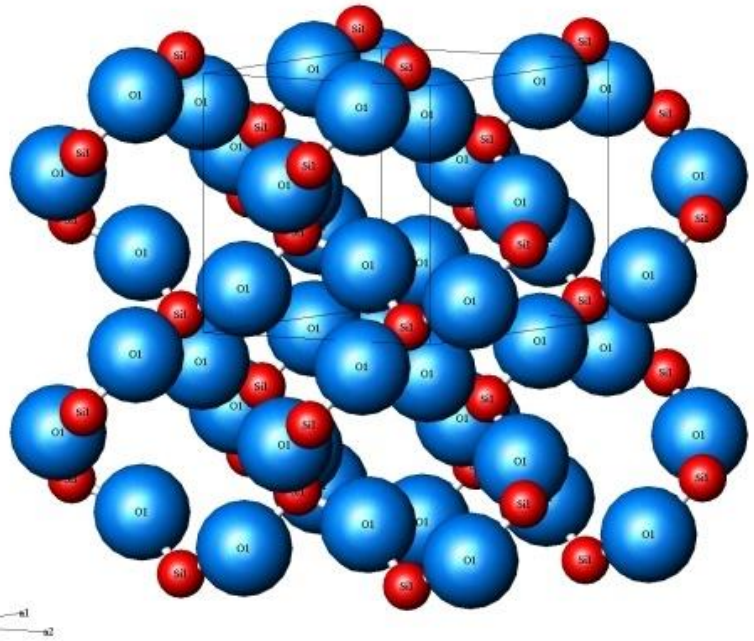


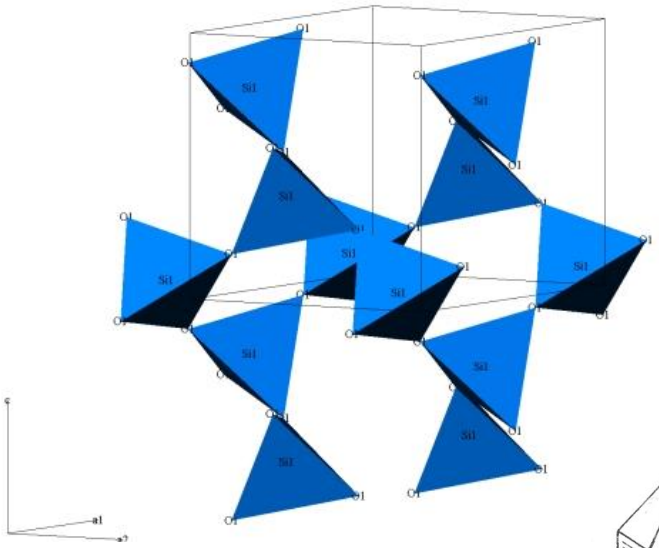
zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/*

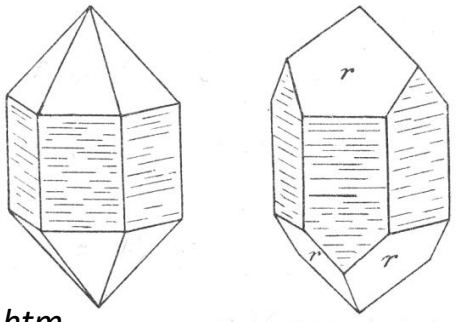
CC BY SA

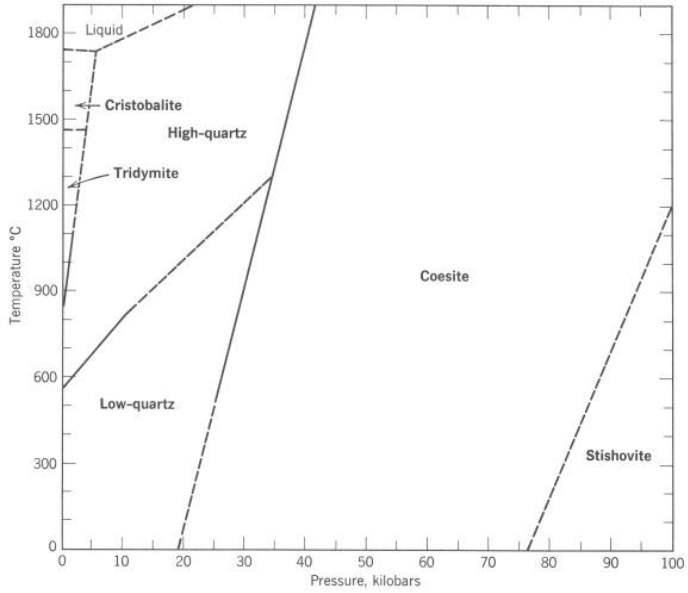
Struktura křemene











zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

CC BY SA

Karbonáty – struktura, vlastnosti, výskyt

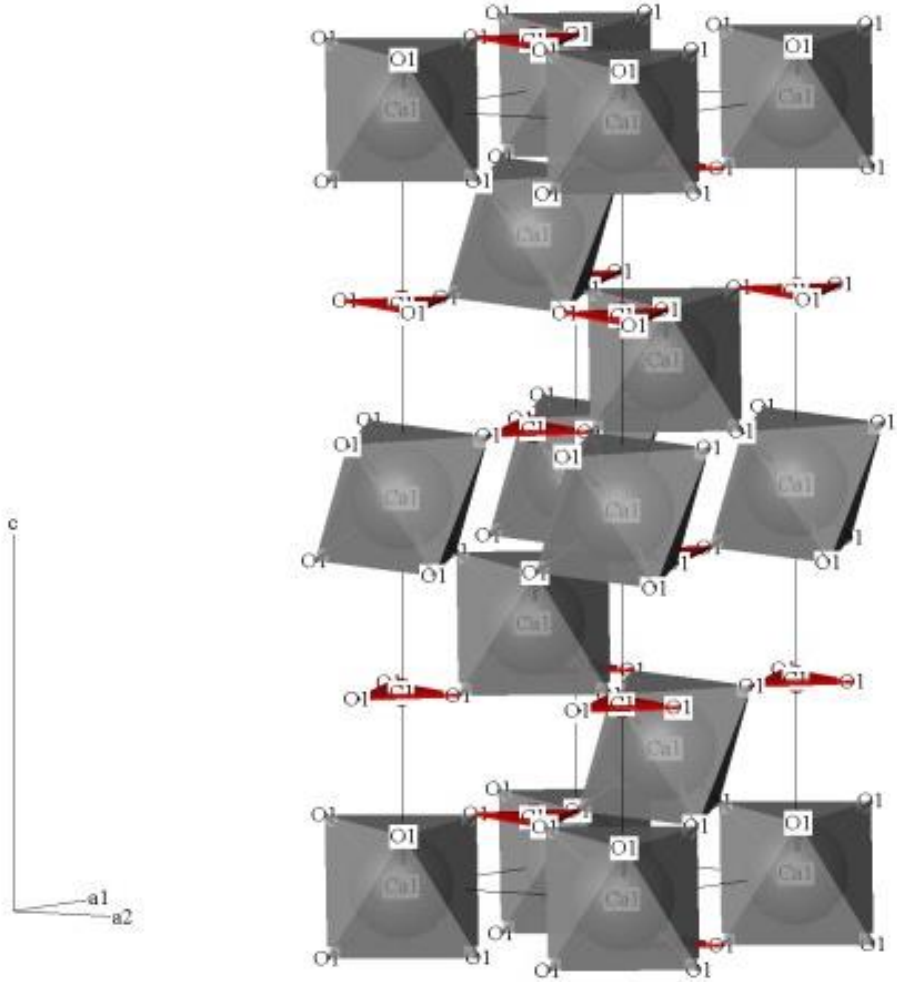
- Běžné, anionty nesdílí O ve struktuře, iontová vazba přes kationty, trojůhelník. koor., pevná vazba C-O
- Bezvodé – řada kalcitu, aragonitu, dolomitu
- Kalcit $CaCO_3$
  - triedr C-O a oktaedr s Ca, vrstvy
  - Horninotvorný minerál v sedimentech
  - Nízká tvrdost, vys. štěpnost, rozpustný, rozklad v HCl
  - Izostrukturní magnezit $MgCO_3$, siderit $FeCO_3$
- Aragonit – rombická, původ z korálů, využití jako dekorace (travertin)
- dolomit $CaMg(CO_3)_2$ – podobný kalcitu
- sedimentární horniny – ze schránek mořských živočichů
- Hydratované formy – malachit, azurit
  - produkty oxidace Cu-rud, málo významné rudy Cu

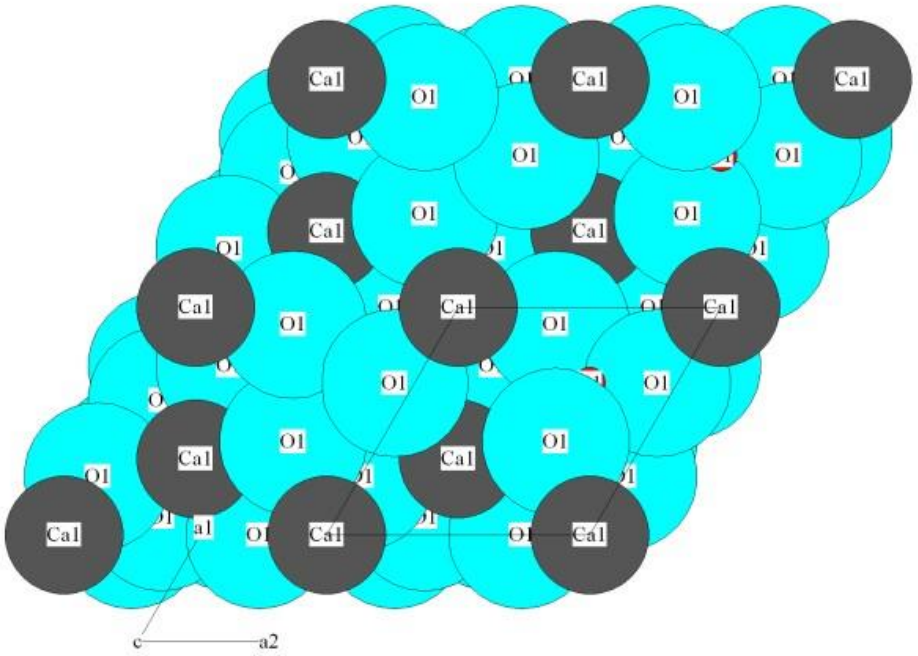


zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

CC BY SA

Kalcit



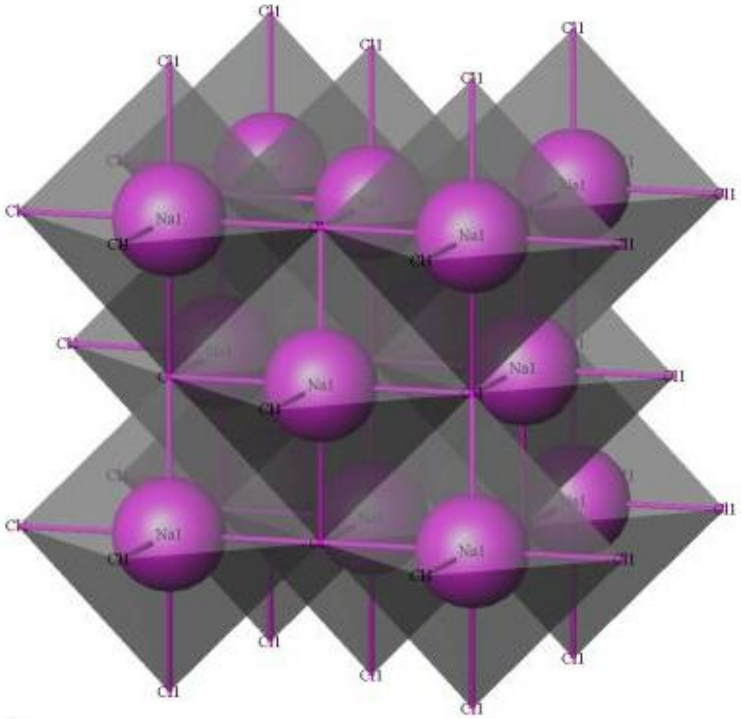


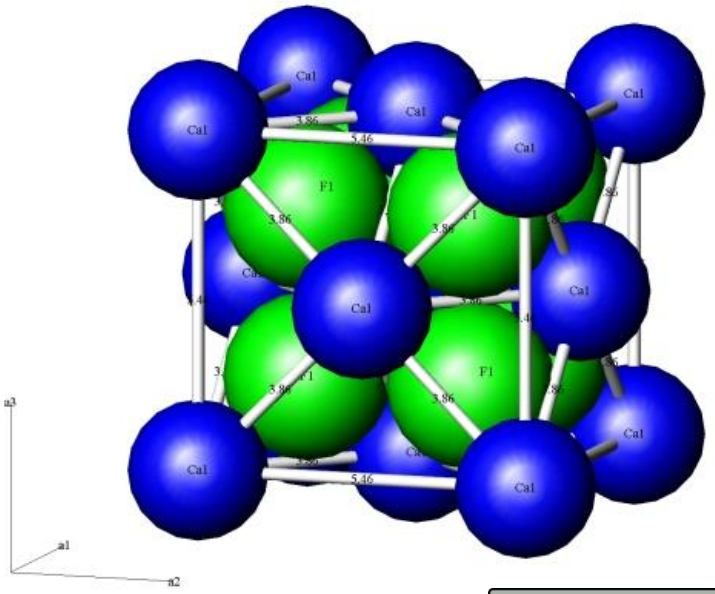
zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

cc BY SA

Halovce (halogenidy)

- Silná iontová vazba – vysoká symetrie
- vznik zejména krystalizací z moří (chloridy), fluoridy naopak při magmatických procesech
- Nízká tvrdost, dok.štěpnost, nevodivost, střední až vyšší bod tání, rozpustnost ve vodě
- Halit NaCl
  - centrovaná kubická struktura
  - oktaedr. koordinace ($NaCl_6$)
  - v půdách v aridních oblastech
- Sylvín KCl
- Fluorit CaF_2
  - poměrně hojný v ČR



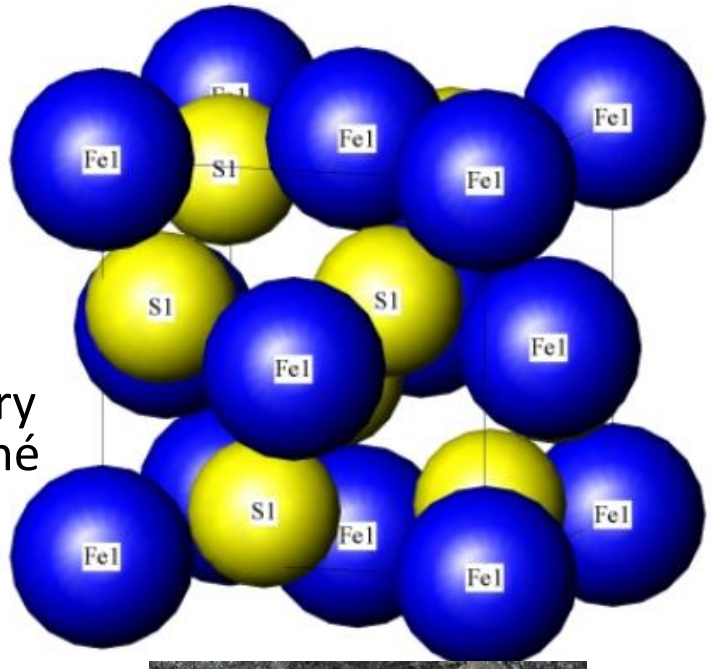


zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

cc BY SA

Sulfidy

- většinou s kovem/polokovem (Fe, Cu, Zn, Pb, Sb atd.)
- rudy - důležitá ložiska neželezných kovů/polok.
- středně tvrdé, křehké, vysoká hustota
- na povrchu nestabilní – oxidace na SO_4^{2-}
- kovalentní a kovové vazby
- tetraedry (sfalerit ZnS, chalkopyrit CuFeS), oktaedry (galenit PbS) nebo komplexní (pyrit) a kombinované
- Pyrit FeS_2
  - kubická struktura (Z=4)
  - běžný v horninách a ložiska
  - izomorfie As, Co, Ni, Cu atd., dimorfní s markazitem (romboedr)
  - snadno zvětrává na kyselinu sírovou
- arsenopyrit FeAsS, antimonit Sb_2S_3, pyrhotin $Fe_{1-x}S$
- patří arsenidy, selenidy a teluridy - vzácné





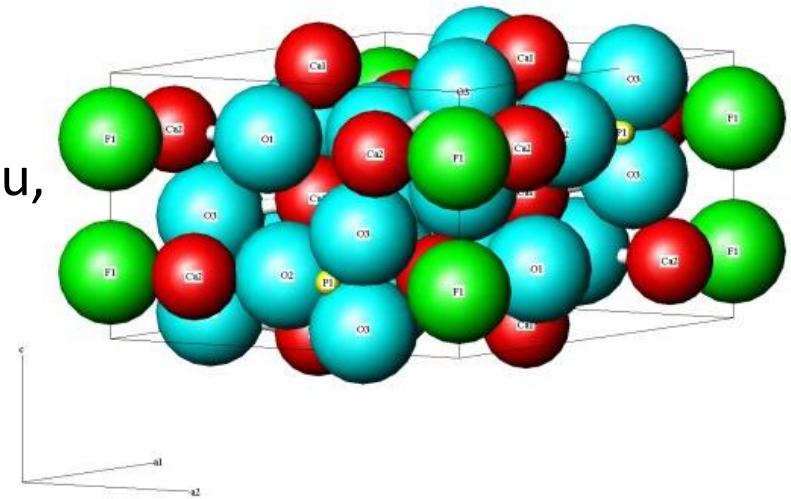
zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

Další významné nesilikátové minerály

- Sírany
  - Většinou měkké, štěpné, někdy rozpustné
  - Bezvodé – anhydrit $CaSO_4$, baryt $BaSO_4$
  - Vodnaté – sádrovec $CaSO_4.2H_2O$
    - 65°C na hemihydrát, 100°C na anhydrit
    - Slabě rozpustný
    - Sediment, alterace pyritu
  - izolované SO_4 tetraedry, spojené kationty KČ 8, popř. cizími ox. anionty



- Fosfáty
  - nejhojnější řada apatitu $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$ – tetraedry fosfátu, spojené s kationty, hex. symetrie
  - nejvíce fluorapatit
  - široké podm. geneze, hodně ve fosforitech (těžba)
  - rozmanité vlastnosti
  - chem. průmysl, hnojiva



zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

CC BY SA

Silikáty (alumosilikáty)

nesosilikáty – granát, olivín

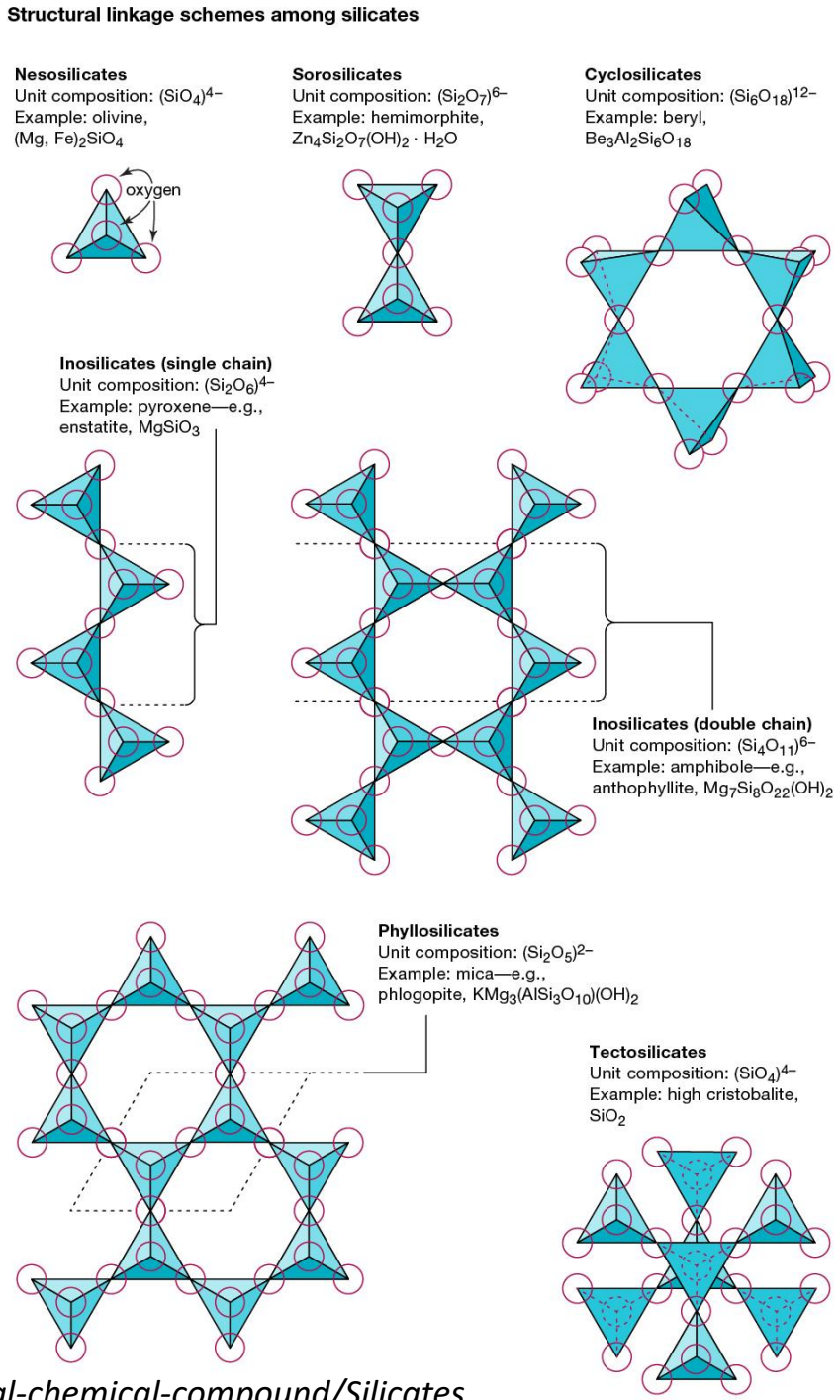
sorosilikáty – epidot

cyklosilikáty – beryl, cordierit

inosilikáty – pyroxeny, amfiboly

fylosilikáty – jílové minerály

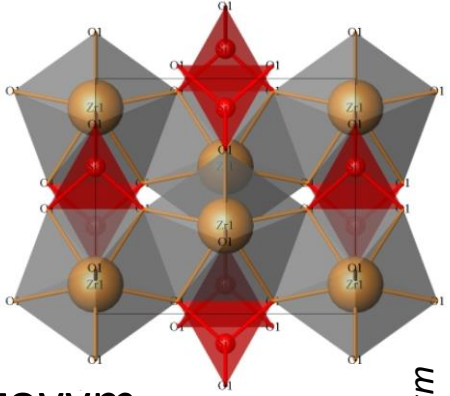
tektosilikáty – živce, zeolity



CC BY SA

zdroj: *https://www.britannica.com/science/mineral-chemical-compound/Silicates*

Nesosilikáty



- Struktura
  - izolovaný tetraedr SiO_4 vázaný do polyedrů nesilikátovym kationem – zejména malými (nejčastěji Fe, Mg, Ca, Al nebo Mn).
  - Čtyřstěny jsou v nich rozhozeny jako ostrůvky na různých místech krystalové mřížky
  - mohou mít hydroxylovou skupinu nebo aniont fluoru, substituce Al za Si je málo významná
- vysoká specifická hustota a tvrdost (těsné uspořádání)
- Skupiny:
  - Granátu – vzácnější, v horninách např. pyrop
  - Olivínu – (zejména forsterit) – rozšířené v bazaltech, nejhojnější ve svrchním plášti, zvětrává a tedy není v sedimentech
  - Al_2SiO_5 – důležité horninotvorné metamorfity – sillimanit, andalusit, kyanit
  - Zirkonu – silikáty čtyřmocných kovů – $ZrSiO_4$, akcesorický v kyselých vyvřelinách, velmi tvrdý
  - Staurolitu – obsahující i anionty (topaz), metamorfní

zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

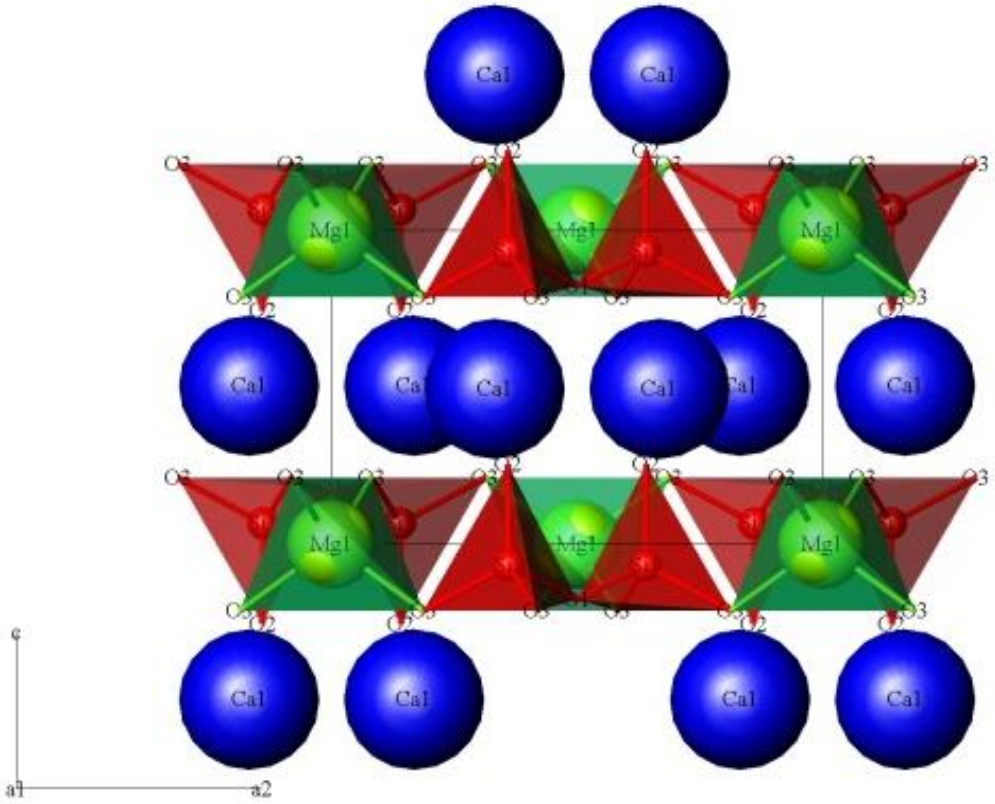
cc BY SA

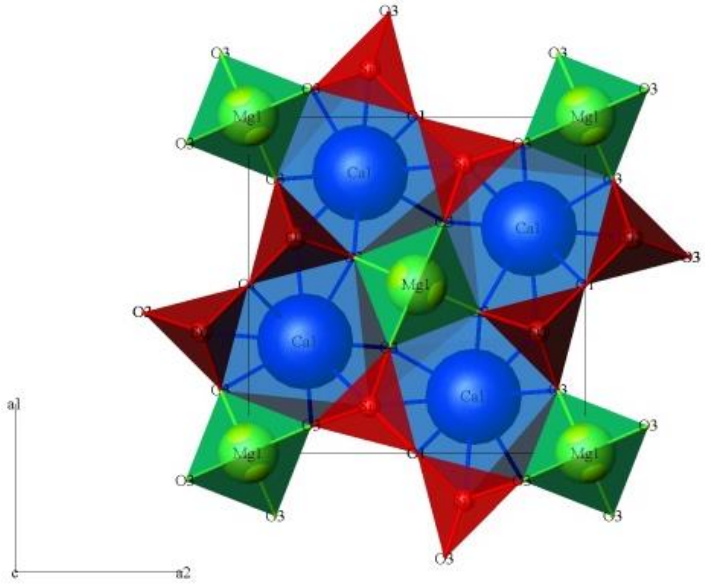
Sorosilikáty

- Struktura
  - Dva nebo tři tetraedry SiO_4 jsou zde propojeny jedním vrcholovým atomem kyslíku, čímž vznikají složitější skupinky (např. $Si_2O_7^{-6}$), které jsou v prostoru koordinovány do polyedrů přes kationty.
  - Častá substituce aniontů fluorem a hydroxylem
- Skupiny
  - Epidotu – mezi neso- a sorosilikáty
    - např. zoisit, klinozoisit, epidot – často v břidlicích
    - monoklinická soustava
    - $Ca_2(Fe^{3+}, Al)Al_2O(OH)(SiO_4)(Si_2O_7)$
  - Hemimorfitu – výskyt v ložiscích Zn rud (oxidační zóna, po alteraci)
  - Melilitu – součást technických silikátů strusky a cementu

CC BY SA

melilit, ackermanit





zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

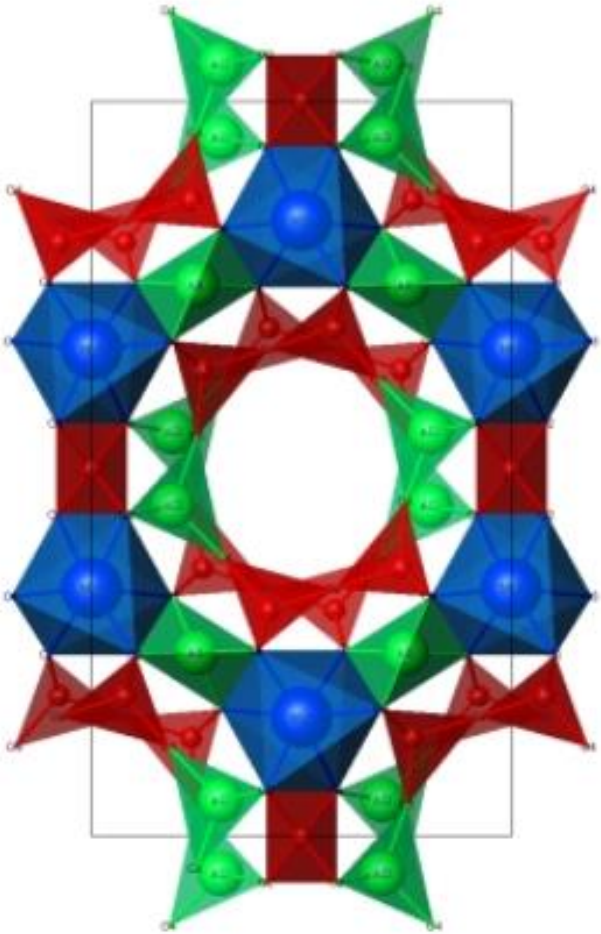
cc BY SA

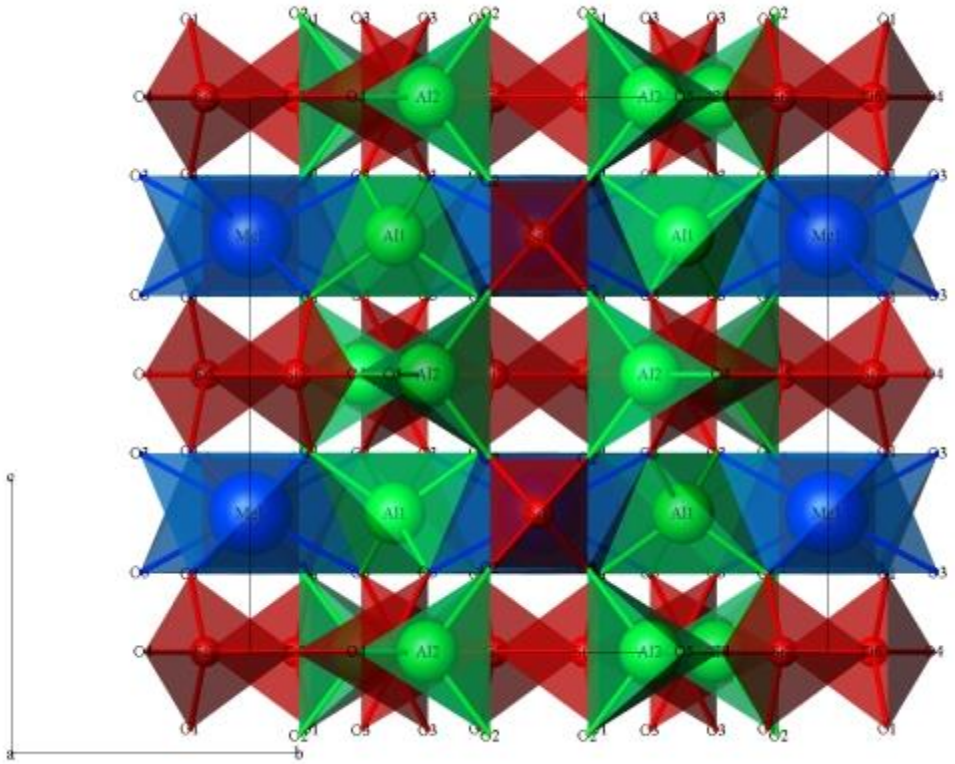
Cyklosilikáty

- Struktura
  - 3 – 6 tetraedrů SiO_4 vázaných do kruhů $(Si_6O_{18})^{-12}$, sdílení vždy dvou vrcholových kyslíků
  - krystalují většinou v trigonální nebo hexagonální soustavě.
- Skupiny
  - Beryl – cordieritu – šestičlenné kruhy stavěné vrstevnatě, mezivrství vyplněno skupinami OH, H_2O, F, He, Na, Cs, K
    - Beryl $Be_3Al_2(Si_6O_{18})$ – dozelena odstíny (smaragd), akcesorický minerál (gran.pegmatity)
    - Cordierit $Mg_2Al_3(AlSi_5O_{18})$ – bohatý na substituci Al, horninotvorný v metamorfitech (ruly), barevná zrna (fialová, modrá)
  - Turmalínu – podstatný obsah B v zem.kůře, řada dalších skupin, komplexní struktura
  - Axinitu - vzácné

CC BY SA

cordierit





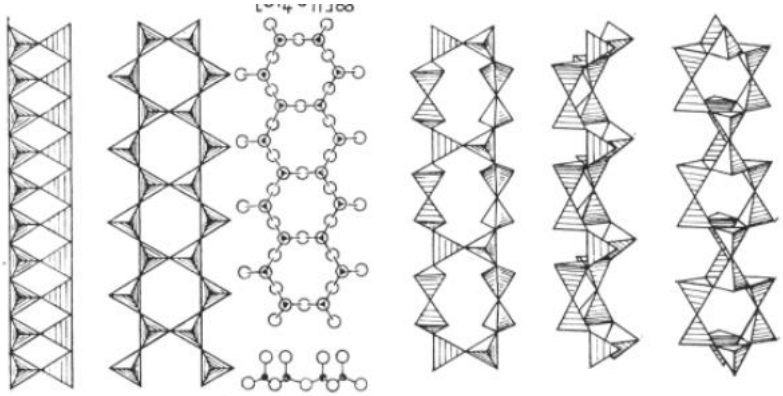
zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

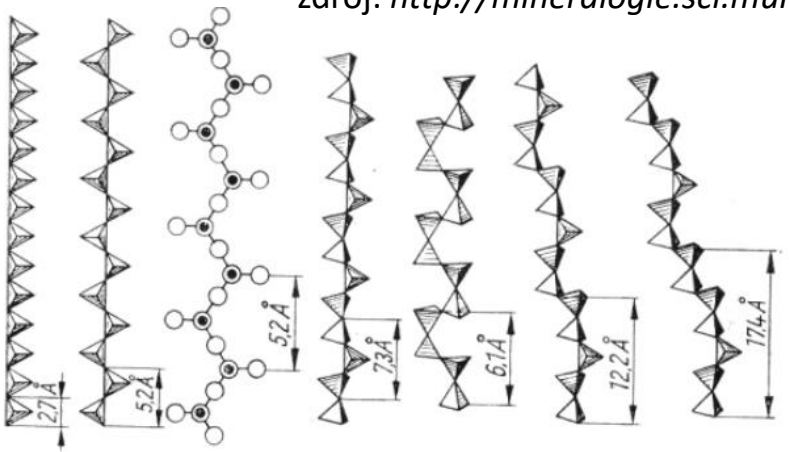
CC BY SA

Inosilikáty

- Struktura
  - do řetězců vázané tetraedry - jednoduché, dvojité či vícenásobné
  - spojení protilehlými kyslíky – různá orientace, jedno- až sedmi článkové
  - prolínají se s koordinačními polyedry Mg, Fe, Ca, Na nebo K
  - mnohočetná izomorfie (mnoho koncových členů)

zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/*



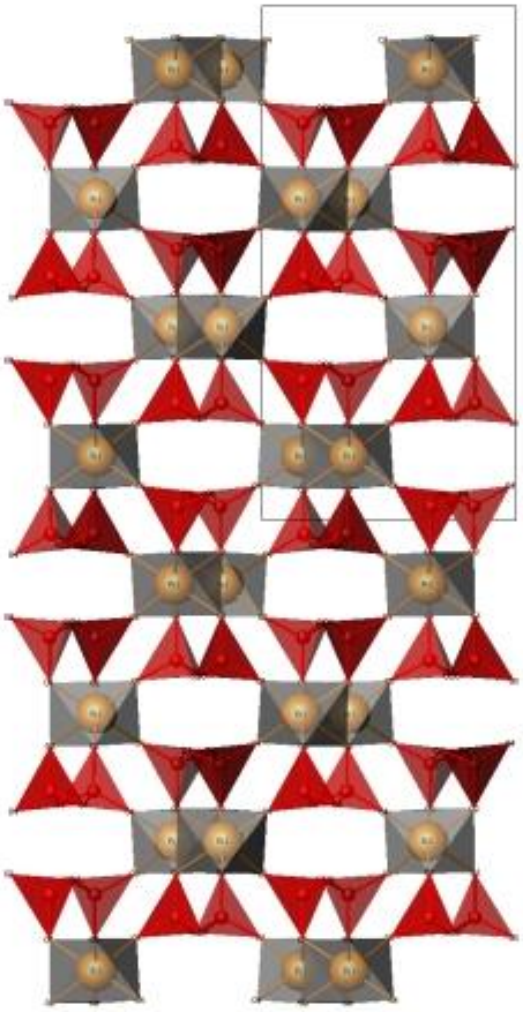


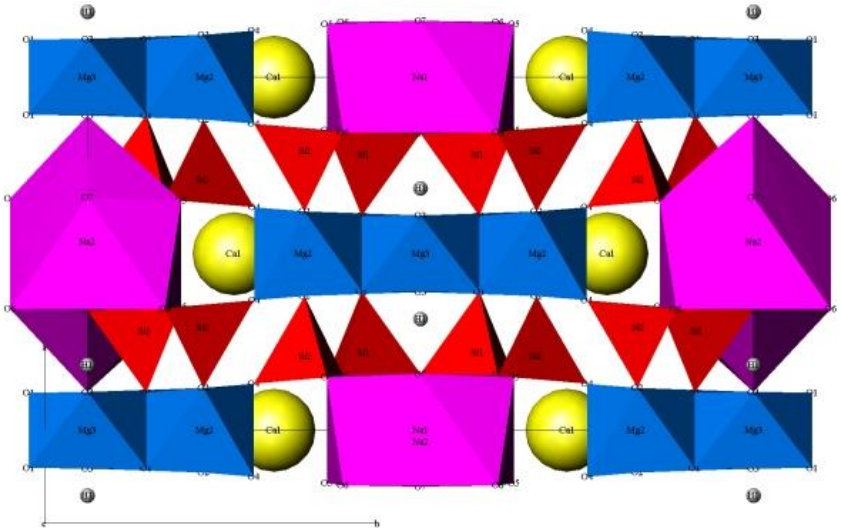
- Skupiny
  - Pyroxenoidů – zejména pyroxeny – struktura monoklinická nebo rombická – významné v mgmatitech a metamorfitech
    - členění dle koncových členů (kationtů) – Mg-Fe (ferosilit) nebo Ca (diopsid) nebo Ca-Na nebo Na-pyroxen (jadeit), popř. Li-pyroxen,
  - Amfibolů – velmi komplexní struktura a složení – výskyt v bazaltech a metamorfitech (Ca-amf.) či magmatitech (Na- a Ca-Na-amf.)

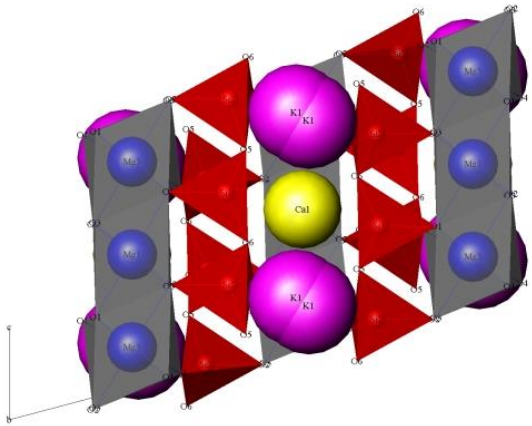
CC BY SA

ferosilit (Fe-pyroxen)

pargasit (obec. amf.)
richterit (čedič. amf.)







zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

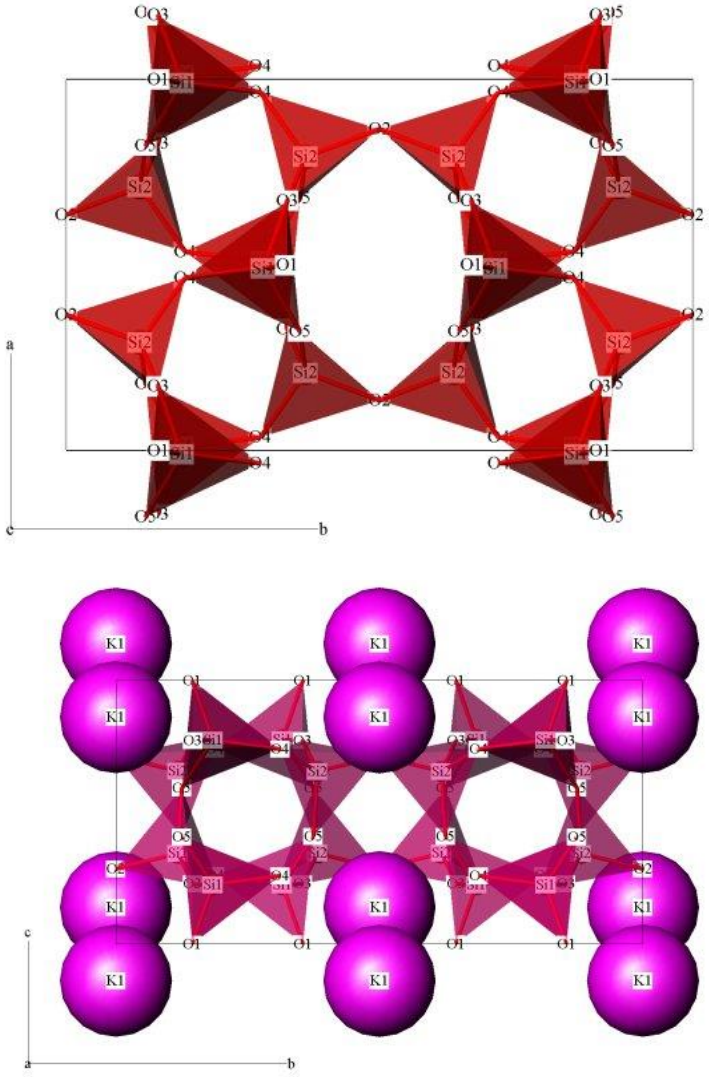
CC BY SA

Tektosilikáty

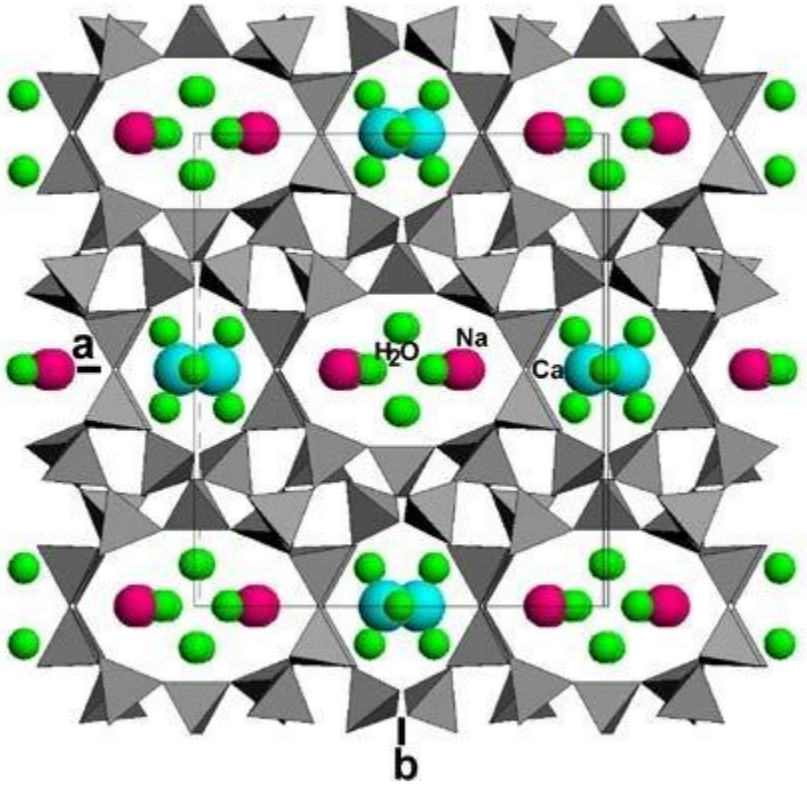
- Struktura
  - Tetraedry vázané prostorově, každý kyslík propojuje dva tetraedry
  - Velmi stabilní struktura
  - Vážou se do také kationty Na, K nebo Ca, ale pouze pokud se nachází substituce Al^{3+} (méně kladného náboje)
- Skupiny
  - Živce – významné horninotvorné minerály kůry – běžné ve vyvřelinách, metamorfovaných i sedimentárních horninách
    - Alkalické – poměr Al:Si = 1:3 – např. ortoklas $KAlSi_3O_8$, albit
    - Plagioklasy – poměr 1:1 až 1:3 – okrajový albit
    - Barnaté živce – podobné plagioklasům – hyalofán
  - Foidy – (bazické vyvřeliny) nefelín, leucit
  - Zeolity – průmyslově významné – 40 přírodních, 100 syntetických
    - Větší dutiny ve struktuře, propojení dutin kanály o různých velikostech a tvarech -> molekulové síto
    - podstatnou složkou vulkanických tufů a vulkanoklastických sedimentů, hlubokooceánské sedimenty
    - Např. klinoptilolit, mordenit, phillipsit

CC BY SA

živce – ortoklas



zeolit - klinoptilolit



zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

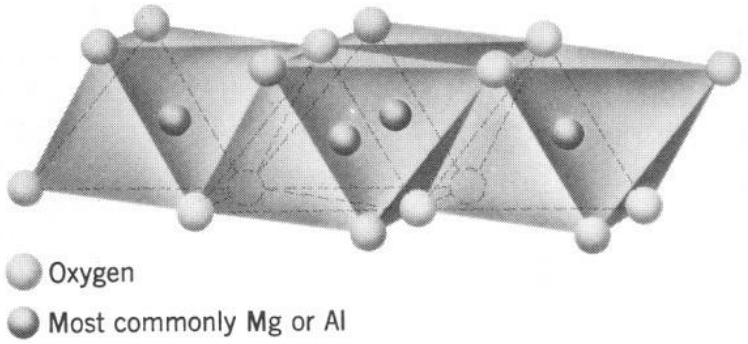
cc BY SA

Fylosilikáty - jílové minerály

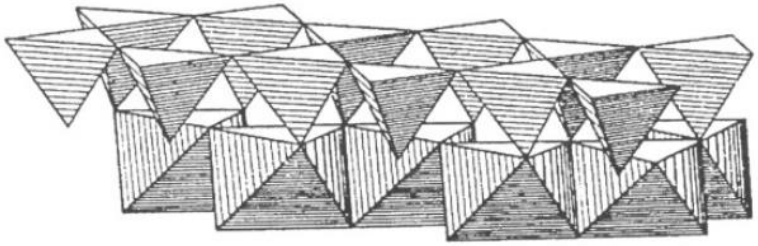
- Řazeny mezi jílové minerály - obecnější termín – zahrnuje i oxidy, hydroxidy dodávající jílům plasticitu
- Základní součásti sedimentárních hornin a recentních půd
- Vrstevnatá struktura
  - tetraedry spojené přes tři kyslíky (vrcholy) do plošně orientovaných sítí
  - oktaedrická síť $M(O,OH)_6$ – propojení přes polovinu hran, vzniká tak trojice oktaedrů
    - kationty Al, Fe a Mg vždy mezi dvěma plochami tvořenými třemi O/OH, popř. Cl/F
  - Sítě jsou různě propojené a vzájemně kladené do vrstev -> klasifikace fyl.
  - vazba mezi vrstvami vodíkovými můstky, nebo přes koordinaci kationtů
  - Prostor mezi vrstvami – mezivrství – soubor iontů, atomů, jejich hydratovaných forem, koordinačních polyedrů či jejich sítí
  - Klasifikace dle kladu vrstev, mezivrství, náboje, typ oktaedrických sítí, složení
  - může být i neplanární vrstevnatá str. – svinuté/ohnuté, nebo modulované – pravidelné narušení kladu vrstev

CC BY SA

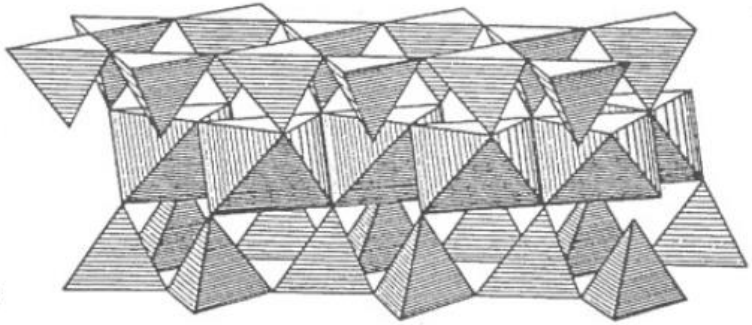
Fylosilikáty - struktura



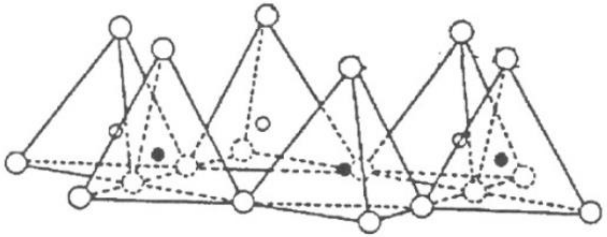
Oktaedrická síť

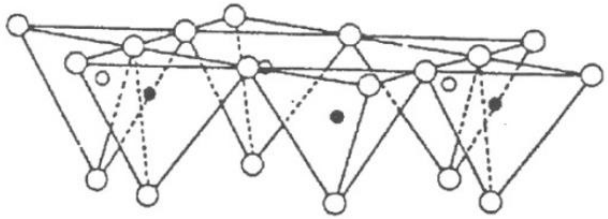


Vrstvy 1:1

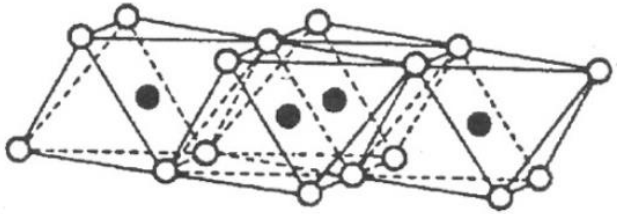


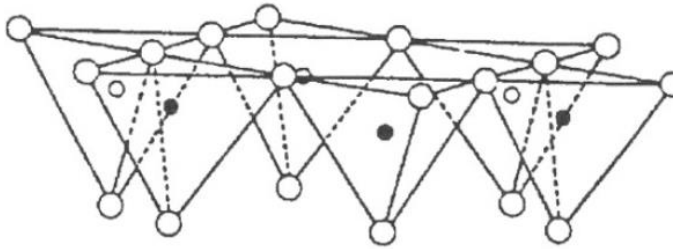
Vrstvy 2:1





Propojení dvou tetraedr. sítí





Propojení tetraedr. a oktaedr. sítí

zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm*

CC BY SA

Fylosilikáty - skupiny

skupiny	vrstvy	náboj	mezivrství	minerály
Serpentin – kaolinit	1:1	0	nic/H_2O	chrysotile (Mg), kaolinit, halloysit (Al)
Mastek – pyrofilit	2:1	0	-	mastek (Mg), pyrofylit (Al)
Slídy	2:1	0,6-1	1-mocné nehydr. kat.	annit (K-Fe), biotit, muskovit (K-Al), illit
Křehké slídy	2:1	1,8-2	2-mocné nehydr. kat.	clintonit (Ca-MgAl), margarit (Ca-Al)
Smektit	2:1	0,2-0,6	hydr. vyměn. kat.	montmorilonit (kat-AlMg), saponit (kat-Mg)
Vermikulit	2:1	0,6-0,9	hydr. vyměn. kat.	vermikulit(kat-Mg)
Chlorit	2:1(:1)	různý	Oktaedrická OH síť	klinochlor (MgAl), chamosit (FeAl), donbasit(AlMg)
Smíšené struktury	2:1			hydrobiotit, rectorit

CC BY SA

Fylosilikáty - zástupci

- Kaolinit - serpentin
  - kaolinit – hornina kaolín, častý výskyt v sedimentárních horninách, ložiska v ČR
    - průmyslové využití – keramický průmysl, žáruvzdorné materiály, plnivo papíru a plastu
  - serpentin – složka serpentenitů
    - chryzotil – vláknitá forma serpentinu – azbest
- Mastek – pyrofylit
  - mastek hojnější
  - průmyslově využívaný – keramický průmysl, žárovzdorné materiály, elektroizolace atd.
- Smektity – součástí jílových hornin = bentonity, vznik zvětráváním
  - vynikající sorpční vlastnosti, iontová výměna, silně bobtnají, plastické
  - chování ve vodě se upravuje iont. výměnou (aktivace – Na-/Ca-smektity) – molekulová síta, organo-jílové komplexy pro průymsl
  - montmorilonit – čištění adsorpcí, katalyzátor, plasty, izolace, plnivo...
- Vermikulit
  - častý v půdách, součást některých sedimentů a jiných hornin, v kombinaci s jinými fylosilikáty
  - použití jako sorbent pro čištění vody od kovů, termicky expandovaný má rozsáhlé využití v materiálovém průmyslu (pórovitost)
- Slídy
  - muskovit, biotit – běžná složka hornin všech typů – využití jako elektrické a tepelné izolace
  - illit – velmi hojný v našich půdách
- Chlority (klinochlor) – hojný minerál v horninách, bez využití
- Sepiolit (a palygorskit) – podobné vlastnosti jako zeolity (porozita, dutinky), podobné využití – ionex, síta

CC BY SA

Horniny

- Směsi minerálů
- Jejich studiem se zabývá petrologie (vznik) a petrografie (popis)
- Složení a stavba hornin jsou závislé na původu a vývoji

➢Vyvřelé (magmatické)

➢Sedimentární (usazeniny)

➢Metamorfované (přeměněné)

- Půdní horniny
  - Nížiny, kotliny – 80% sedimentární
  - Ve vyšších polohách (lesní porosty) – 13% vyvřelé, 7% metamorfované

CC BY SA

Horninotvorné minerály

- složení zemské kůry
  - 52 % živce
  - 12 % křemen
  - 10 % pyroxeny
  - 5 % amfiboly
  - 5 % slídy
  - 5 % jílové minerály
  - 3-4 % karbonáty
  - zbytek ostatní minerály
- Složení půdotvorných substrátů litosférických desek
  - 60% živce
  - 13 % amfiboly a pyroxeny
  - 11 % křemen
  - 10 % jílových minerálů a slíd
  - 6 % minerály forsterit-faylitové řady (olivíny)
- Tvoří základ chemického složení pevných půdních částic (půdotvorné substráty)
- V ČR 85% plochy tvoří přemístěné půdotvorné substráty

CC BY SA

Horninotvorné minerály

Hlavní	vedlejší	akcesorické
amfiboly	andalusit	allanit
biotit	baryt	apatit
kalcit	cordierit	fluorit
leucit	epidot	chloritoid
křemen	granáty	klinozoisit
mikroklin	chlority	korund
muskovit	serpentiny	kyanit
nefelín	sodality	rutil
olivín	vesuvián	spinelidy
ortoklas	wollastonit	titanit
plagioklas		turmalín
pyroxeny		zirkon
sanidin		silimanit, zoisit, staurolit

cc BY SA

Stavba hornin

- Vzájemné uspořádání minerálů – vztah, velikost a tvar minerálů
  - vedle minerálního složení hlavní faktor označení horniny
- Důležitá je zrnitost
  - Celistvé < 0,1 mm
  - Jemnozrnné 0,1 – 0,33 mm
  - Drobno, středně, hrubo až velkozrnné (>10 mm)
- Rovnoměrně a nerovnoměrně zrnitá
  - Porfyrická – velké krystaly obklopené jemnozrnným základem
- Stavba všesměrná (masivní), plošně paralelní nebo lineární
  - Břidličnaté – štěpné na destičky
  - Plástevnatá stavba – různé barvy minerálů
- Ofitická (lištičky), oolitická (vejčité), psefitická (větší oolity)
- někdy nelze makroskopicky rozeznat - vyvřeliny
  - felzitické – světlé, kyselé
  - afanity – tmavé, bazické
- Pórová, mandlovcová, písmenková
- další charakteristiky – barva, zvětralost, odlučnost, stáří hornin

CC BY SA

Stavba hornin





zdroj: *https://www.britannica.com/science/rock-geology*

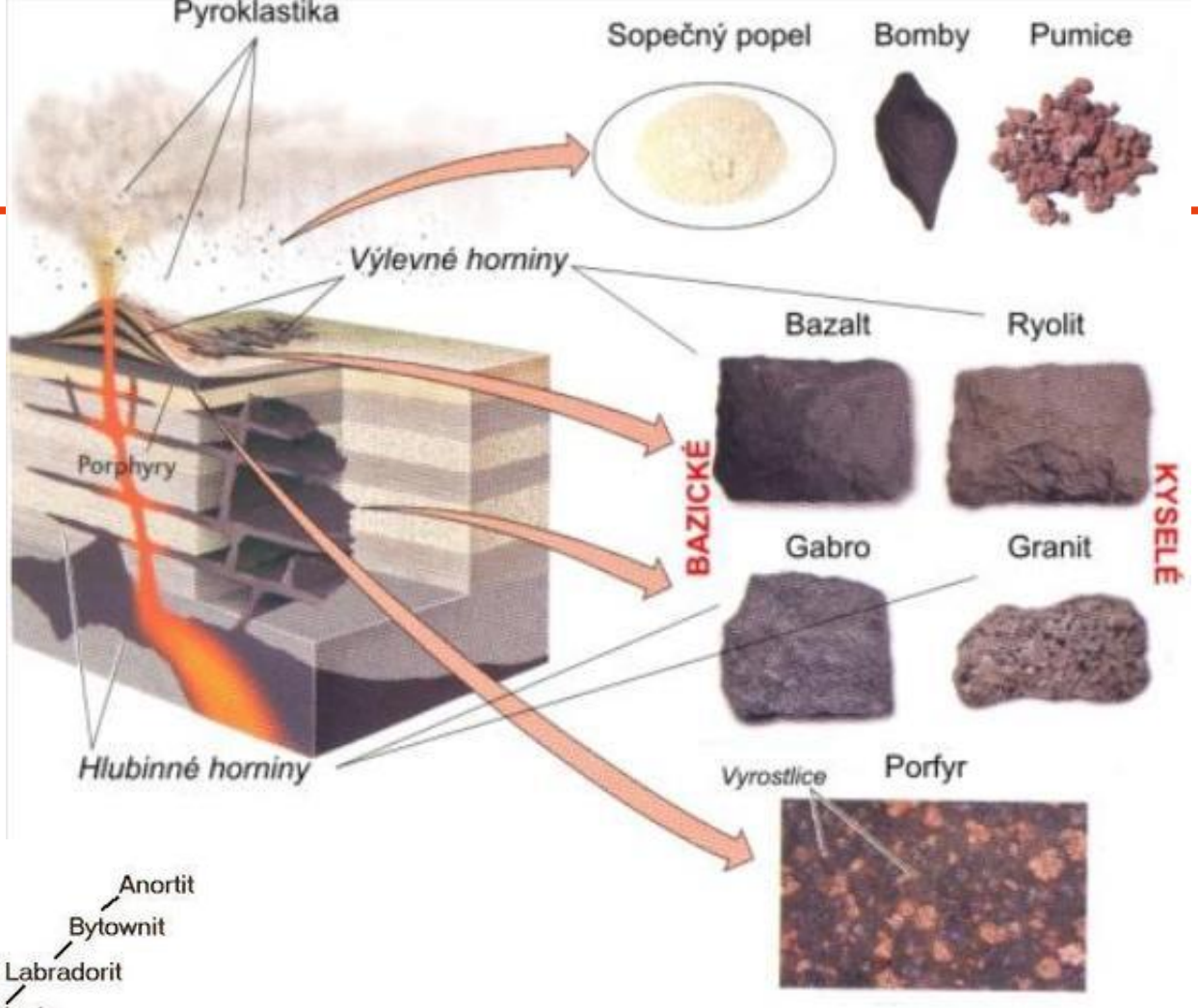
CC BY SA

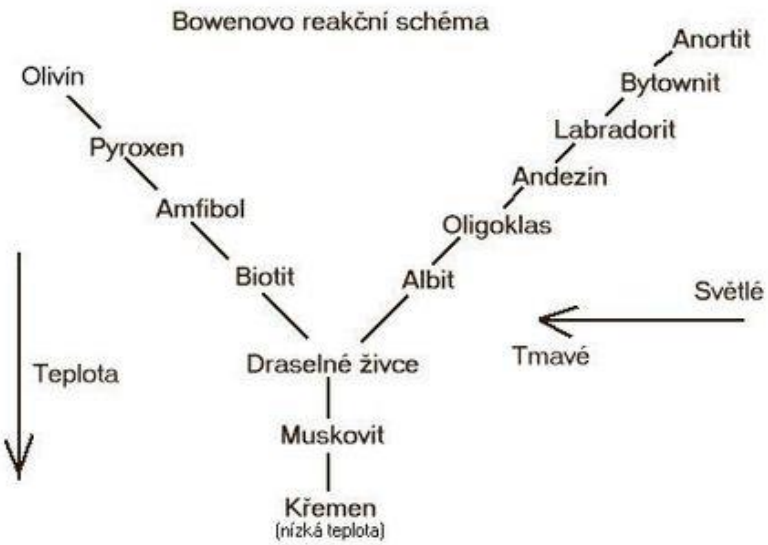
Vyvřelé horniny

- Magma
  - složitý roztok (žhavý, tekutý), dominují křemičitany, výrazně méně sirných a halových látek, obsahuje i těkavé – H_2O, H_2S, HF, HCl, CO, CO_2, SO_2, H_2, N_2, O_2.
  - Viskozita závisí na teplotě a složení – bazická (méně SiO_2) mnohem viskóznější než acidní (bohatá na SiO_2)
- vznikají diferenciací a postupnou krystalizací magmatu
  - Bowenovo krystalizační schéma
  - vysoká teplota krystalizace – méně odolné ke zvětrávání
  - nízká teplota – velmi odolné – křemen v naplaveninách
- obsahují pouze primární minerály
- Podle skladby minerálů – struktura (velikost, vývoj a vzájemné sepětí součástek) a textura (uspořádání minerálů v prostoru, makroskop. vzhled horniny)
- Systém
  - Důležité minerály – křemen, živce a foidy (sk.živců)
  - Poměr K-živce ku Na-Ca-živcům (plagioklasy – albit, anortit)
  - Poloha vyvřelin v litosféře – intruzivní (žilné), hlubinné, podpovrchové a výlevné (vulkanické), pyroklastika

CC BY SA

magmatity





zdroj: *http://geologie.vsb.cz/*

CC BY SA

Vyvřelé horniny

Horniny	Granitické světlé	Andesitické střední barvy	Basaltické tmavé	ultratmavé
Intruzivní a hlubinné	ŽULA	DIORIT	GABRO	PERIDOTIT
Podpovrchové žilné	ŽULOVÝ PORFYR	DIORITOVÝ PORFYRIT	GARBOVÝ PORFYRIT	-
Výlevné jemnozrnné	RYOLIT	ANDESIT	ČEDIČ	-
Hlavní minerály	křemen, K-živec, Na-Ca-živec	Amfibol, Na-Ca-živec, Ca-živec, foidy, biotit	Ca-živec, pyroxen	Olivin, pyroxen
Vedlejší minerály	muskovit, biotit, amfibol	pyroxen	Olivin, amfibol	Ca-živec

CC BY SA

Vyvřelé horniny

- hlubinné – žulové (granitické)
  - křemen, acidické a vždy živce, často biotit, muskovit, amfibol či turmalín
  - středně nebo hrubě zrnité, všesměrná stavba, někdy porfyrická
  - dělení podle živců
    - žuly – K-živec - světlejší
    - granodiorit – plagioklas > K-živce
    - křem. diorit bez K-živce – tmavší, šedé
- hlubinné bez křemene (bazické) – syenity, diority, gabra
  - hodně živců (syenit K-živec/plagioklas, diorit a gabra bez K-živce, ale pyroxeny s amfiboly)
- hlubinné ultrabazické – na povrchu vzácně, velmi tmavé, amfibolovce, pyroxenity a peridotity (olivínovce)
- žilné vyvřeliny
  - porfyry – jako hlubinné (např. syenitický porfyr), ale porfyrická stavba, četné v ČR, odolné žíly
  - aplity, pegmatity – žulové
  - minety – tmavé žilné horniny bez křemene
- výlevné
  - čediče (bazalty) - bez křemene a foidů – pevné, těžké, vysoká hustota – Č.Středohoří
  - andezity a znělce, také bez křemene
  - ryolity a dacity s křemenem – analogy žul, ale málo

CC BY SA

Vyvřelé horniny



různé žuly (*https://udrzbapodlahpraha.cz/*)



pegmatit



čedič



gabro

zdroj: *http://atlas.horniny.sci.muni.cz/index.html*

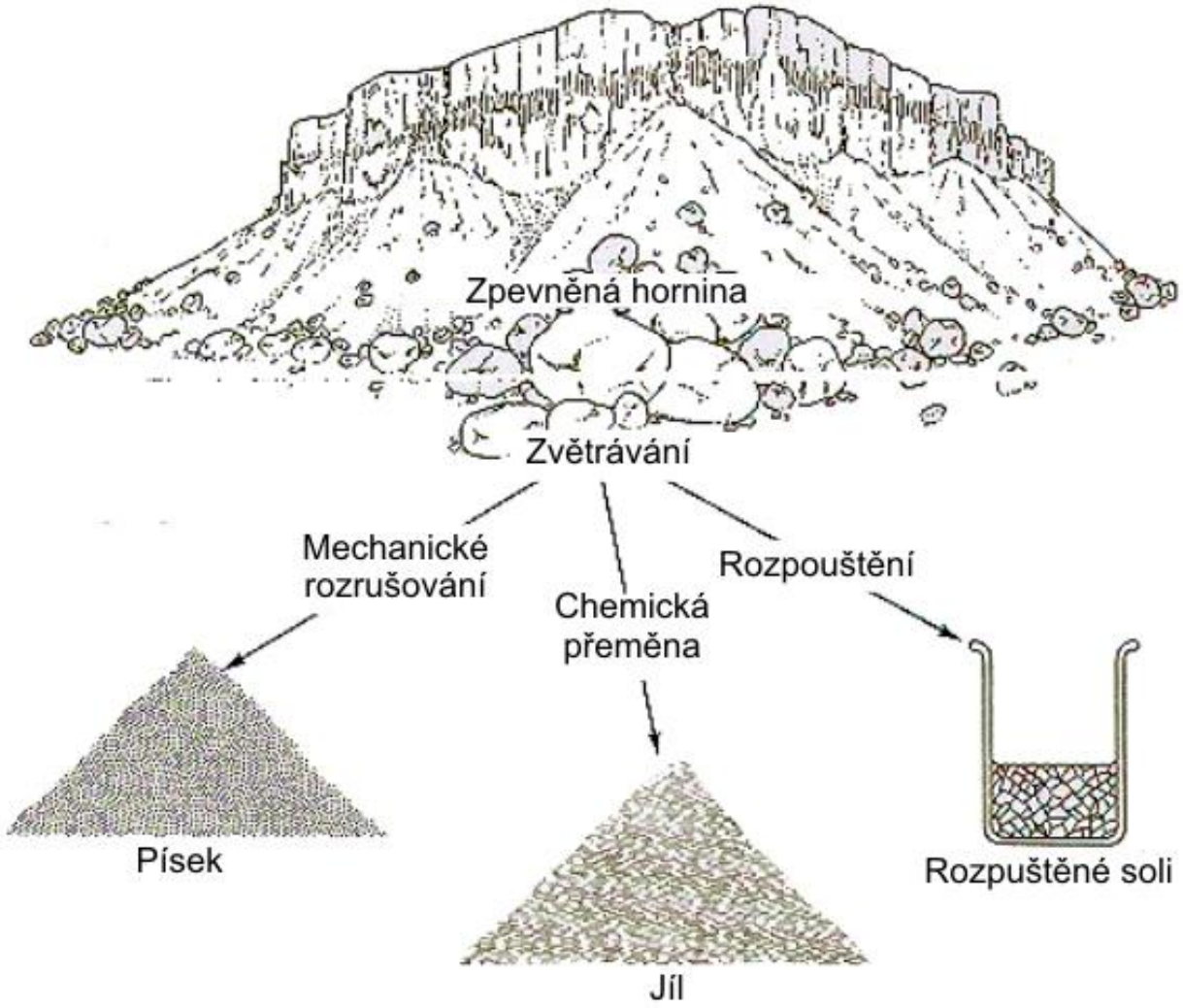
cc BY SA

Sedimentární horniny

- Vznikají rozrušením starších hornin – sekundární horniny
- výraznou vlastností je vrstevnatost
  - dle velikosti – laminy (mm), desky (cm) a lavice (nad 25 cm)
  - dle směru – vodorovné, šikmé, křížové, gradační
- Sedimenty mechanické – úlomkovité, klastické – usazení rozrušeného materiálu
- Sedimenty chemogenní – vylučování a srážení látek z vody
- Sedimenty organogenní (biolity)
  - Zoolity, fytolity
  - Klaustobiolity
    - uhelná řada – rašelina, hnědé (lignit) a černé uhlí (antracit)
    - živice – bitumeny (asfalt, ropa, zemní vosk a plyn)
- odhady zastoupení jednotlivých typů
  - 60% jemné lutity (jílové břidlice) – ukládání jemných usazenin na dně oceánů
  - 20% pískovce
  - 15% vápence a dolomity

CC BY SA

Sedimentární horniny



zdroj: *http://geologie.vsb.cz/*

CC BY SA

klastické sedimenty

- Exogenní činitelé - sedimenty mořské (marinní), říční (fluviální), větrné (eolické), ledovcové (glaciální)
- Sypké (nezpevněné, mladé) - zeminy
  - členění dle velikosti částic – kamenité, štěrk., písč.
    - štěrky a písky (horniny)
  - jemné usazeniny (lutity)
    - hlína – různé velikosti, prach + písek + jíl – přívlastek podle dominance
    - spraše – větrem naváté úlomky křemene s jílem, okrová barva, s bílými úlomky (karbonáty)
      - na spraších úrodné půdy, velké plochy, nejsou vrstevnaté
    - jíly – nejjemnější nezpevněné usazeniny < 0,004 mm - jílové minerály, bobtnají, jsou plastické
    - slíny – přechod mezi jíly a vápnitými horninami
- Zpevněné (starší)
  - nejprve kompakce (tlakem mladších usazenin) a poté stmelení (průnik mineralizovaného roztoku a vysrážení)
  - tmel nejčastěji $CaCO_3$, SiO_2 či železité tmely
  - Velikost úlomků – psefity (>2mmm slepence), psamity (2-0,063mm,pískovec), aleurity (0,063-0,004mm, prachovce), pelity (<0,004mm, jílovce)
  - slepence – ztmelení štěrkových kulatých valounů, nebo ostrohranných (brekcie)
  - pískovce – všechny horniny z úlomků 0,06 – 2 mm
    - křemenné (trochu muskovitu a glaukonitu)
    - křemence – pevné a houževnaté
    - arkózy a droby (i živce aj.)
  - slínité horniny
    - opuky (písč. slínovec) – zrnka křemene, jílových minerálů a kalcitu
  - jílové břidlice – zpevněný lutit, jílovec, lupek
  - tufy - vulkanoklasitcké

cc BY SA

Chemogenní sedimenty

- vylučování a srážení látek z vody
- konkrece – útvary odlišného složení než okolní hornina – křemičité ve vápencích, karbonátové v jílovitých
- metasomatóza – nízkoteplotní nahrazování minerálů – dolomitizace, silicifikace, hematitizace
- vápence – především tvořené kalcitem, vytváří oblasti krasy, usazeniny moří i jezer, ale i z mořských živočichů (korály)
  - stavební materiály
  - travertin (Ca sintr, tuf) z minerál.pramenů nebo aragonit (při vyšší T – K.Vary)
  - dolomit – pevnější a odolnější než vápence, méně krasových jevů
- silicity – hlavně křemen, chalcedon a opál
  - buližníky – jemnozrnné, všesměrné, ostré hrany, různé barvy
  - gejzirit (Islan, Yellostone, SVK)
- ferolity (Fe rudy) – oxidy, hydroxidy a karbonáty – limonit, siderit, chamosit
- Fosfátů – vysrážení z mořské vody
- Solné – suché (aridní) a polosuché (semiarid.) oblasti – ložiska solí

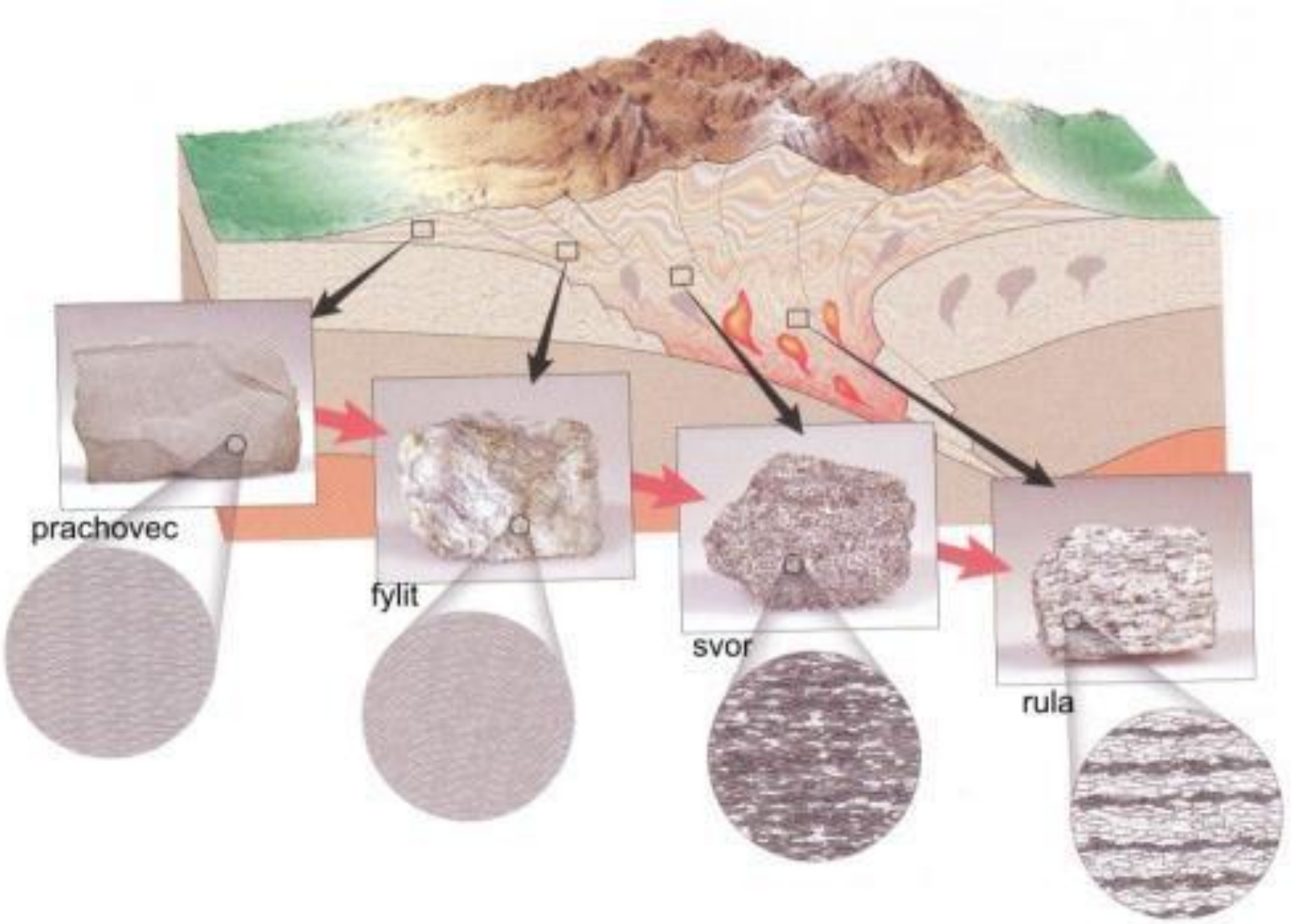
CC BY SA

Metamorfované horniny

- Vznikají z vyvřelin, sedimentů i předchozích přeměněných hornin
- Působením tepla, tlaku a chemické aktivity roztoků – teplota roste s hloubkou (30°C/km), tlak rovněž
- Změna textury i složení minerálů, ale nenastává úplné přetavení, pouze rekrystalizace
- Metamorfóza
  - Regionální – horotvorné pochody, rozsáhlé části kůry (ruly, svory)
  - Kontaktní – blízko magmat. krbů, prostorově omezené (rohovce)
  - Hydrotermální (metasomatóza) – teplé roztoky (trochu dál od vulkanické činnosti) – greiseny, hadce
- Horniny se stávají kompaktnější, břidličnatost (krystalické břidlice)

CC BY SA

Metamorfované horniny



zdroj: *http://geologie.vsb.cz/*

cc BY SA

Původní horniny	Metamorfované horniny	Hlavní minerály
Kyselé vyvřeliny	Rula (ortorula) granulit	Křemen, živec, biotit
Bazické vyvřeliny	Zelené břidlice Amfibolit eklogit	Albit, epidot, chlorit Amfibol, plagioklasy, pyroxen Pyroxen, granát
Ultrabazické vyvřeliny	Chloritická či mastková břidlice serpentinit	Chlorit, magnetit, mastek Serpentin, pyroxen, granát
Konglomeráty Pískovce arkozy	Konglomerátové ruly kvarcit pararula	Valouny a tměl křemitého charakteru Křemen, někdy méně chlorit, živce, slídy Živec, křemen, biotit
Jílovité sedimenty	Rohovec Porcelanit Fylit Svor pararula	Křemen, živec Křemen, albit Křemen, (živec) Sericit, (grafit, granát) Křemen, živec, slídy
Slinité horniny	Rohovec Erlan amfibolit	Křemen, živec Živec, pyroxen, křemen Plagioklas, amfibol
Vápence a dolomity	Krystalické vápence (mramory, dolomity)	Kalcit, dolomit

cc BY SA

Metamorfované horniny - zástupci

- ruly nejvýznamnější
  - obsahuje živce, křemen a slídu (biotit) – a další sillimanit, granát, amfibol, garfit atd.
  - pararuly – z usazenin – rozsáhlé plochy (Šumava, Krušné aj.)
  - ortoruly – z vyvřelin
  - břidličnatost
- fylity – šedé, zelenavé, perlěťový lesk - muskovit, chlorit (do zelena) a křemen – Krkonoše, Jeseníky, Krušné
- svory – silně lesklé – muskovit, křemen – porfyrické – Jeseníky, Krušné aj. hory
- mramory – rekrystalizace vápenců – dolomitické nebo kalcitické (měkčí)
- skarny, greiseny – málo běžné

CC BY SA

Analýza minerální složky půd

- Fyzikální pozorování
  - sítová analýza
  - optické metody
- rentgenometrická analýza (XRD)
- Elektronová mikroanalýza
- IR spektrometrie
- Termická analýza
- Sekvenční vyluhování (extrakce)
- AAS, ICP-AES
- hmotnostní spektrometrie
- NMR

CC BY SA

Rentgenometrická analýza

rentgenometrické metody – rentgenová difrakční analýza (XRD)

nejvyužívanější metody v krystalografii (mineralogii)

XR záření – λ 10^{-11} až 10^{-8} m (0,1 – 100 Å)

není vhodné pro nekrystalické a amorfní pevné látky

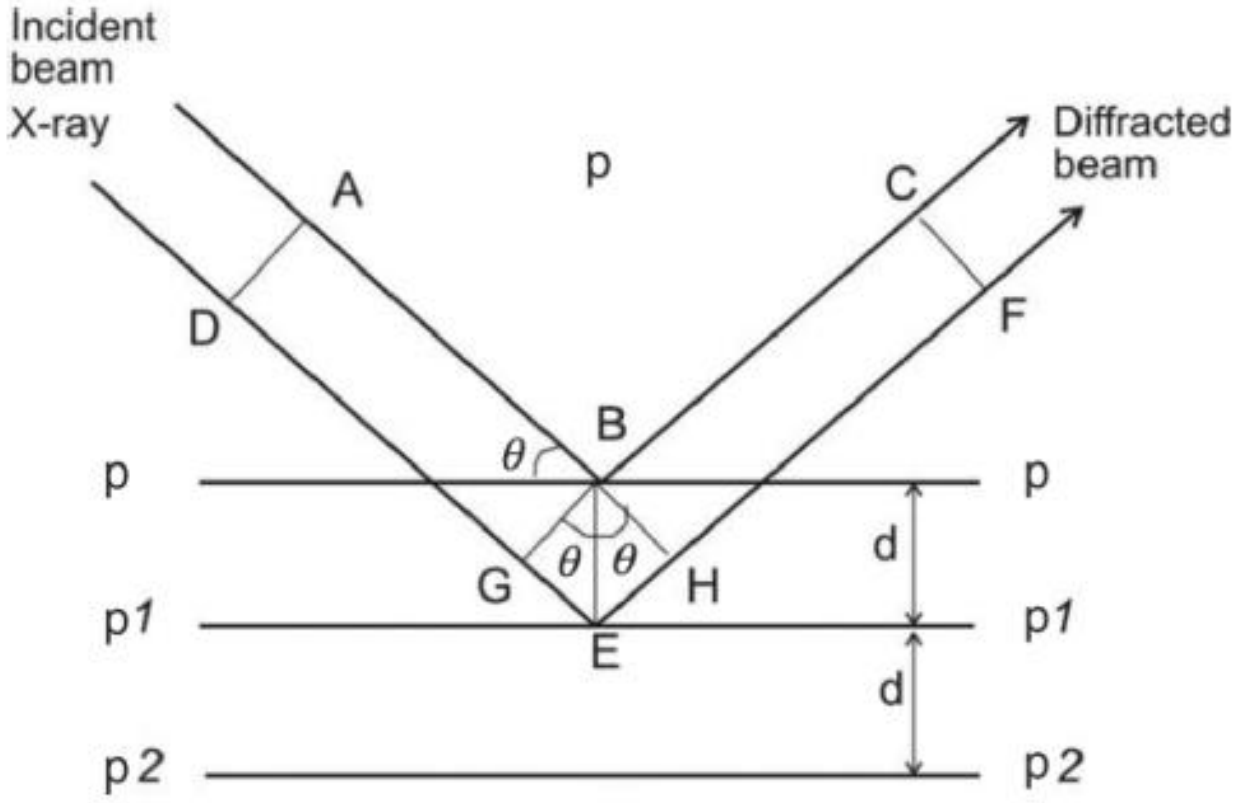
- jev difrakce (nepřesně „ohyb“)
  - dopad XR –> rozkmit elektronů v atomu –> vyzáření sekundárního XR všemi směry –> interference –> zesílení v diskrétních směrech
  - reflexe – paprsky zesíleného záření
  - geometrické podmínky – směr XR a orientace krystalu (Braggova rce)
  - reflexe na strukturních rovinách - určení mezirovinné vzdálenosti
- instrumentace
  - rentgenka – elektrody s vysokým U, katodou W vlákno s vysokou T, urychlené elektrony dopadají na anodu (různé, např. Cr, Fe aj.) - > XR
  - polychromatické a charakteristické záření (dle anody)
  - monochromatizace – filtry (kovové fólie, absorpce) a krystalové monochromátory (fokusace)
  - záznam plošně/bodově – na film, scintilační, CCD detektory, image plate
- různé metody
  - práškové – nejčastěji difraktometrická metoda – 1D záznam
  - monokrystalové – krystal 0,X mm, přesnější, 3D struktura – monokrystal. difraktometr
- Aplikace
  - fázová analýzy – minerální fáze (včetně polymorfie)
  - strukturní analýza – základní buňka, počet vzorcových jednotek, prostorové grupy atd.

CC BY SA

Princip XRD

Braggova rovnice – podmínka difrakce

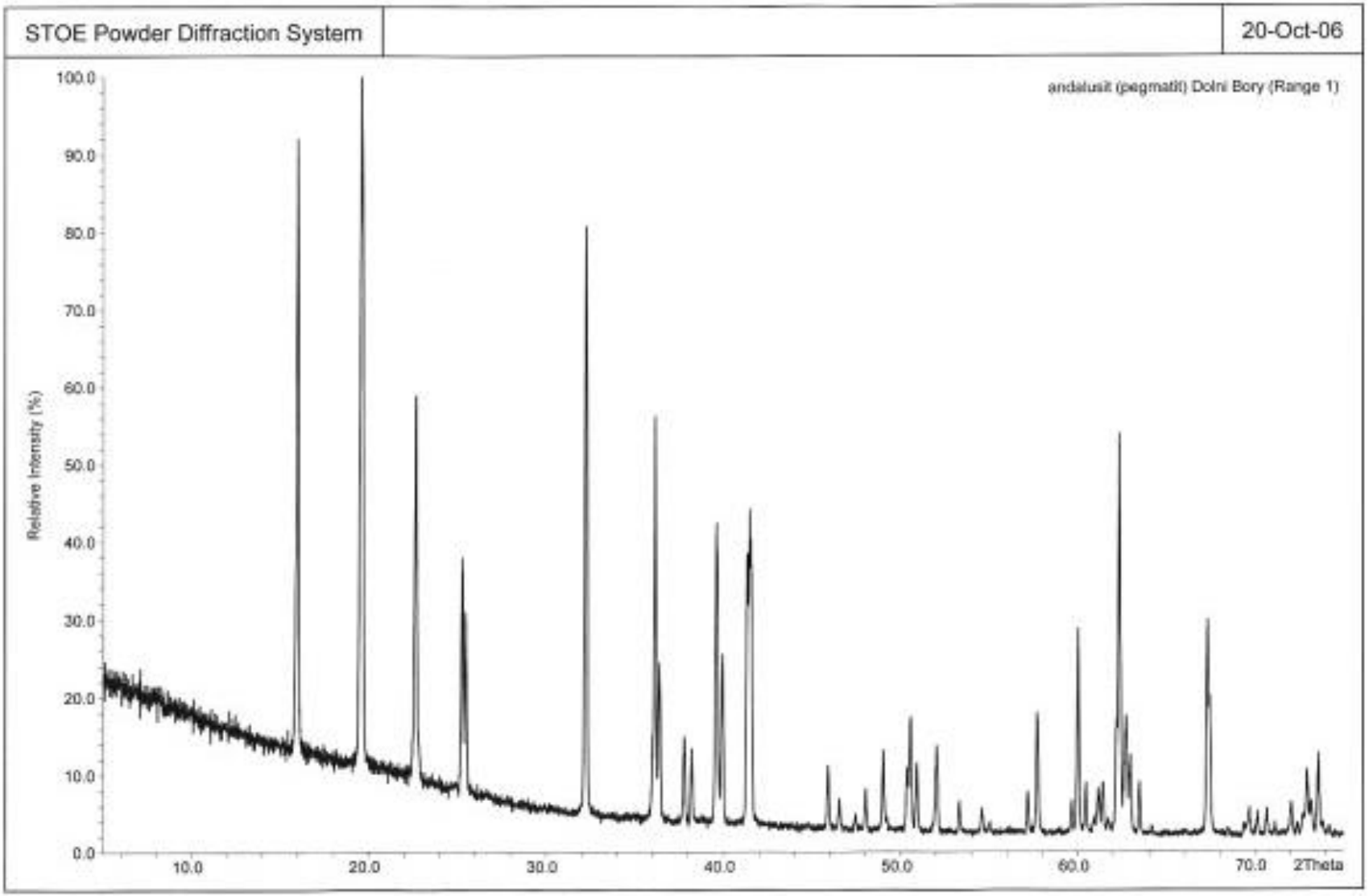
$$2d\ sin\theta = n\lambda$$



zdroj: Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2006). *Handbook of Soil Analysis - Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*. Berlin Heidelberg New York: Springer

cc BY SA

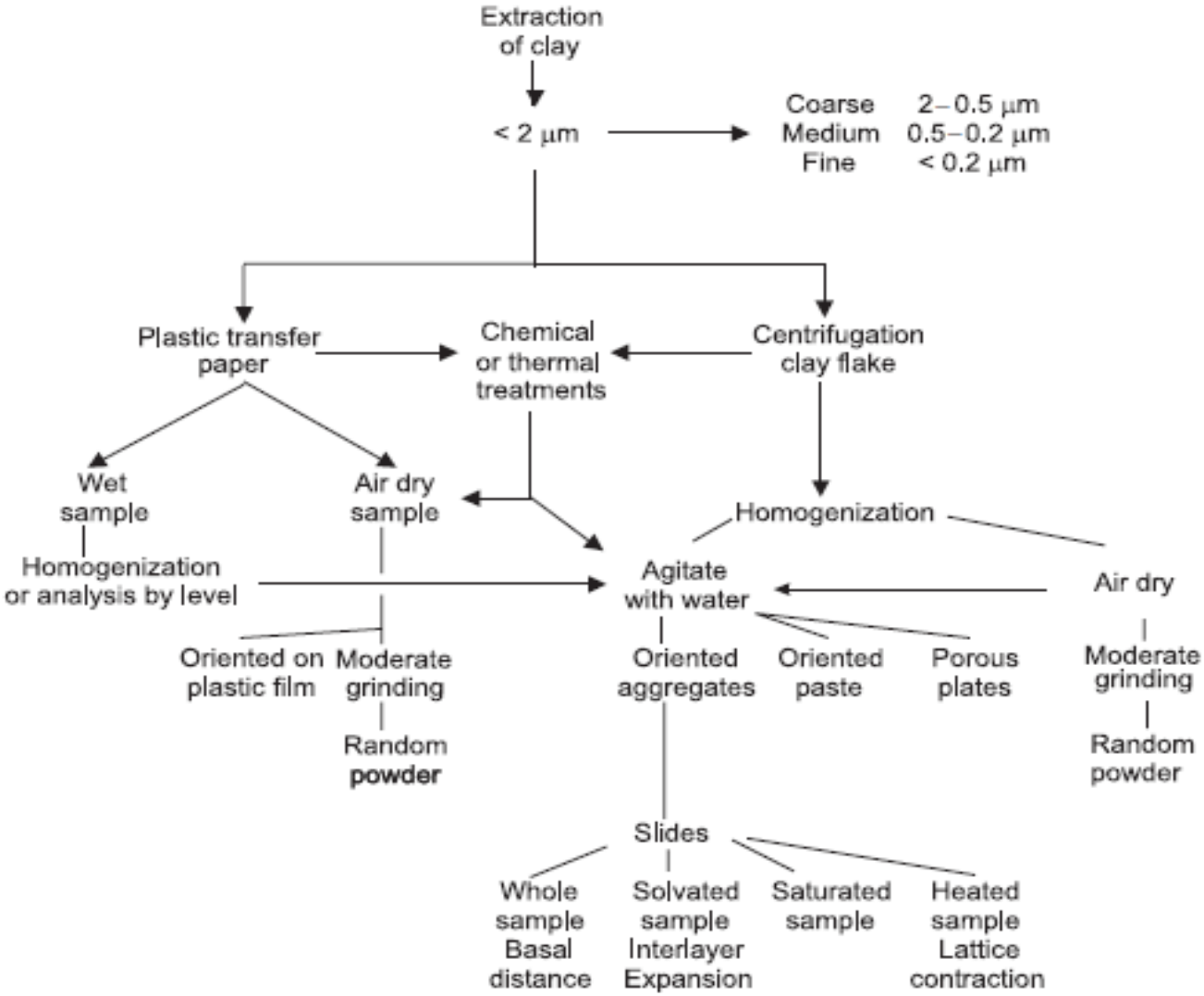
záznam XRD - difraktogram



zdroj: *http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_5_2_metody_strukt/kap_5_2_metody_strukt.htm*

CC BY SA

Příprava vzorku půdy pro XRD



zdroj: Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2006). *Handbook of Soil Analysis - Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*. Berlin Heidelberg New York: Springer

CC BY SA

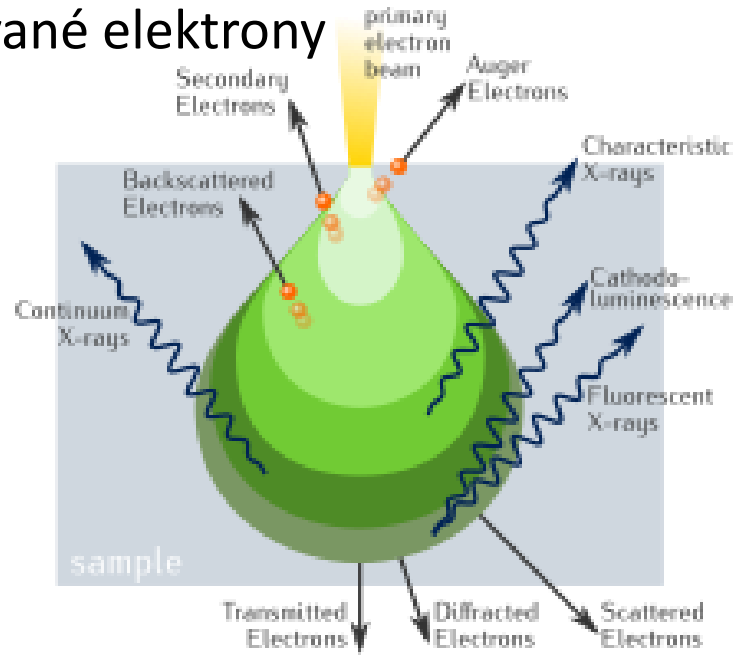
CC BY SA

Elektronová mikroanalýza

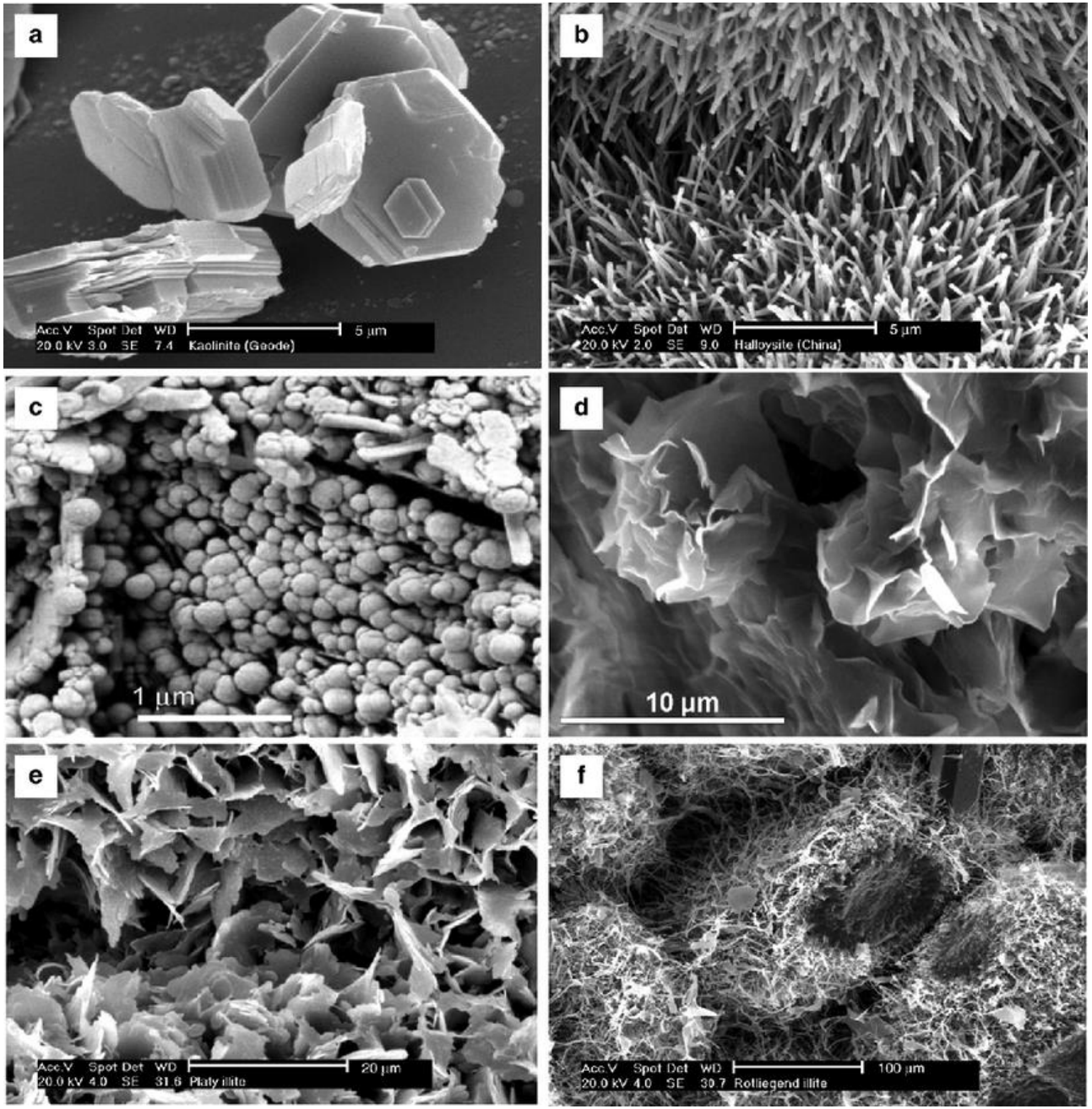
- založeno na interakci vysoce energ. elektronů a vzorku
- propojení s RTG instrumentací a optickou mikroskopií
- textura, morfologie, i chemické složení povrchu
- elektronová tryska -> primární elektrony -> fokusace -> několik jevů – věršinou XR spektroskopie
  - odražené (BEI), sekundární (SEI), absorbované elektrony
  - ionizace atomů -> XRF (EDX, WDX), katodoluminiscence UV/VIS/IR, Augerovy elektrony (AES)
- bodová, liniová (line)

nebo plošná (mapping, scanning)

- složitá příprava vzorku, kalibrace, interpretace



obrázek z wikipedia



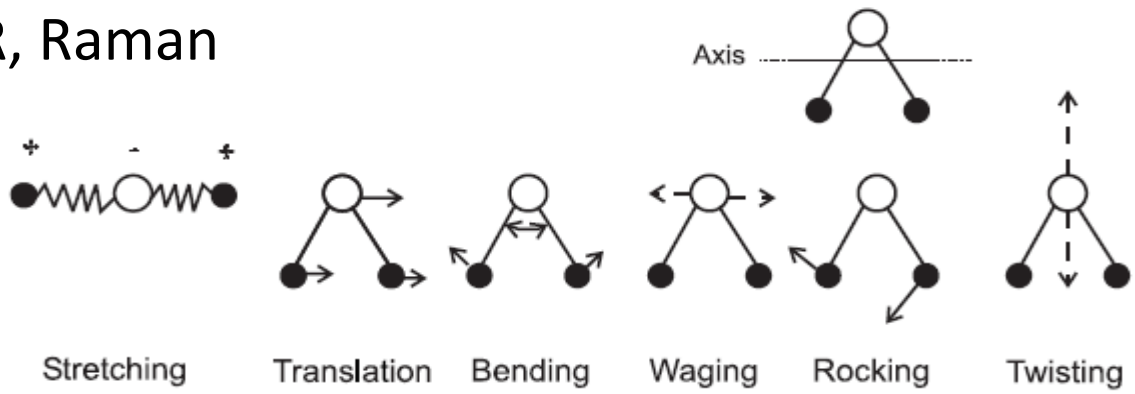
G.E. Christidis, *Insustrial Clays, European mineralogical notes in mineralogy*, Vol 9 (2011), Chapter 9, [https://www.researchgate.net/publication/311583515_Industrial_Clays/download, 29.9. 2021]

CC BY SA

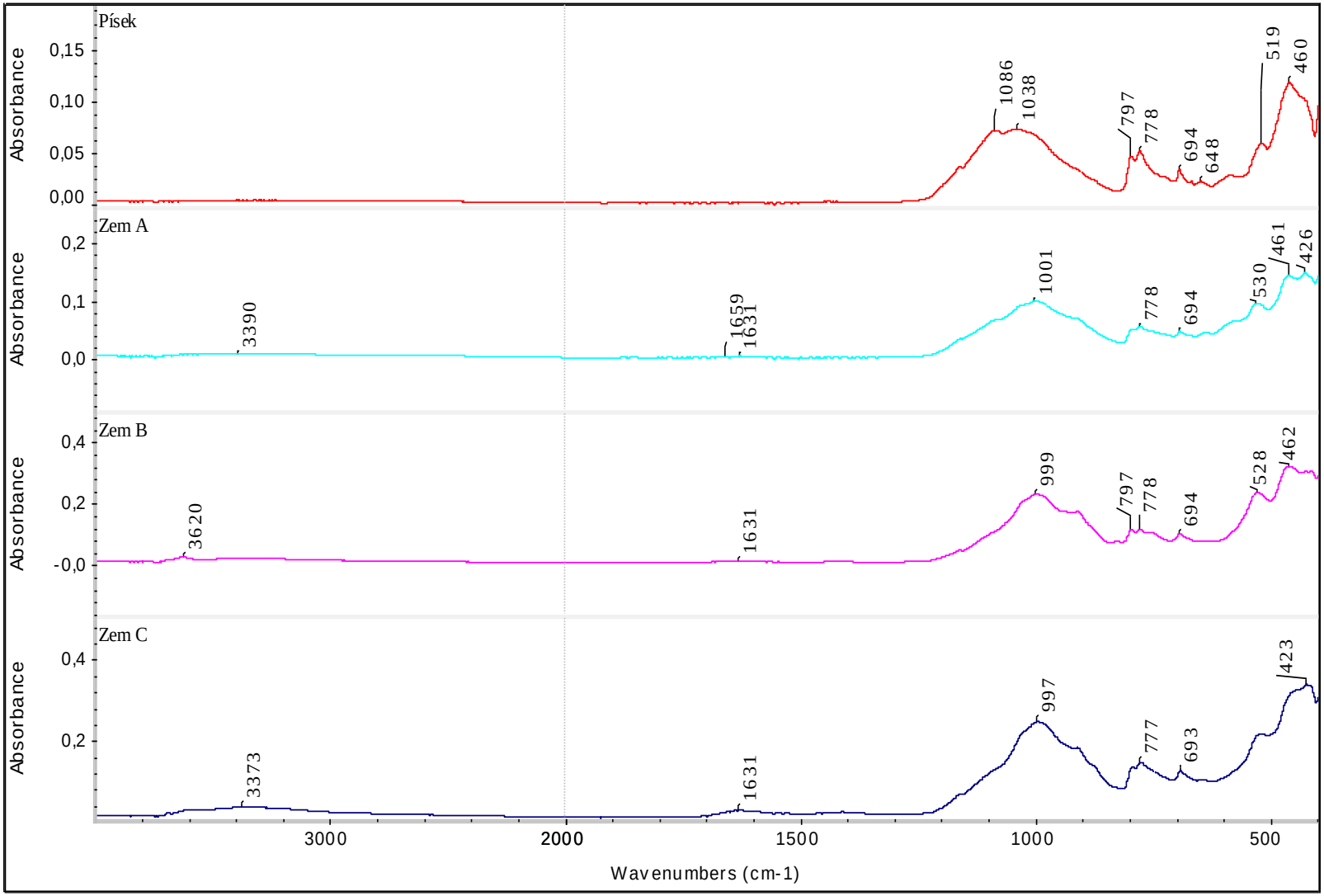
CC BY SA

Infračervená spektrometrie

- Interakce hmoty s IR (1 mm – 1 µm) umožňuje charakterizovat vibrační/rotační energie vazeb
- Měří se absorpce (transmise) určitých vlnových délek, které odpovídají různým přechodům energie vazeb
  - Blízké IR (NIR) – vysoká energie pro základní orbitaly – používá se pro organiku
  - Střední IR (medium) – 300 – 5000 cm^{-} - vhodné pro studium molekulárních vazeb – krystalografie
  - Vzdálené IR (far) - 200 – 10 cm^{-} - rotační vibrace – pro některé specifické struktury
- Umožňuje určit stupeň substituce, krystalické a nekrystalické nečistoty a další aspekty vazby a struktury
- doplňuje informaci z XRD a termických metod
- techniky – disperzní, FTIR, Raman



IR spektrometrie



Sýkorová, A., Použití molekulové spektrometrie při sledování termické desorpce zemin kontaminovaných organickými polutanty, 2013, diplomová práce, FTOP VŠCHT Praha

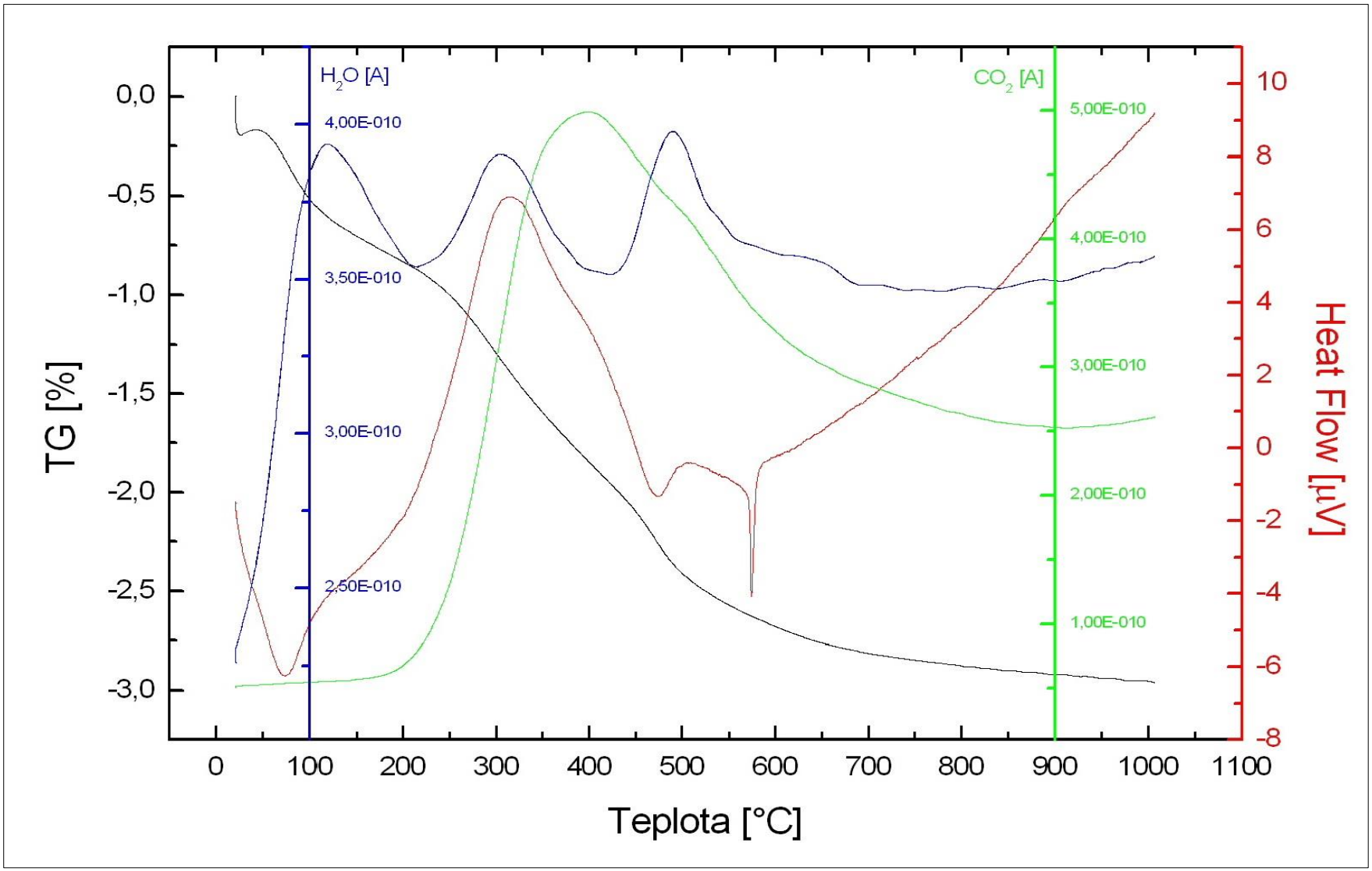
cc BY SA

Termická analýza

- Sleduje změny materiálu při nárůstu teploty
  - dehydratace, oxidace, disociace, krystalizace, tání, polymorfie aj.
  - často jsou charakteristické pro minerály - diagnostika
- Změny hmotnosti – termogravimetrie TGA, nebo diferenční TG (DTG), často spojené s analýzou vznikajících plynů (MS, IR)
- Změny energie – diferenční termická analýza DTA a diferenční skenovací kalorimetrie DSC – exotermní a endotermní děje
- Mechanické změny – termomechanická analýza TMA (dilatometrie) a dynamická MA (viskoelasticita) – používají se v keramickém a polymerním průmyslu, ale lze použít i pro půdy – praskání, bobtnání
- Neocenitelné ve všech geo-oborech
  - zejména studium jílů, specifický povrch jílů
  - kvantifikace minerálů s podobnou přesností jako XRD
  - vázaná voda, půdní geneze

CC BY SA

Termické analýzy



Sýkorová, A., Použití molekulové spektrometrie při sledování termické desorpce zemin kontaminovaných organickými polutanty, 2013, diplomová práce, FTOP VŠCHT Praha

cc BY SA

Analýza minerální složky půd – další metody

- AES - emisní spektrum vzorku po jeho atomizaci v Ar-> ionizace/excitace -> emise fotonu
  - jiskrový spektrometr (pevný) nebo ICP-AES (kapalný vzorek)
- AAS – absorpce záření po atomizaci (plamen, elektrotermicky) – pouze pro roztoky (mineralizát)
  - nejjednodušší prvková analýza (kvantitativní)
- MS hm. spektrometrie – roztoky, po atomizaci urychlení iontů a jejich diferenciace dle hmotnosti – hmotnostní spektrum
  - radioizotopová analýza
- Sekvenční extrakce
  - Není dostatečně efektivní v mineralogické analýze
  - Poskytuje informaci o nekrystalické fázi a doplňuje informaci a celé řadě fyzikálních vlastnostech atd.
  - Založená na kyselých, bazických, redukčních a komplexačních činidlech
  - TDN omezení – celá řada faktorů (pH, čas, teplota, tlak, koncentr., poměry činidel atd.)
  - Metody - kyselá oxalátová ve tmě (AOD), dithioničitan-citronan-bikarbonát (DCB), EDTA, pyrofosfátová, silně alkalická aj.
- Mikroskopické metody
  - Heterogenita, textura jednotlivých částic, morfologie, transformační mechanismy atd. – analýza v různých měřítcích (pedon - makro-mikro)
- Separační metody
  - na základě hustoty, magnetických vlastností, povrchových vlastností (flotace)

CC BY SA

Literatura

- Vávra, V., Losos, Z.; Multimediální studijní texty z mineralogie pro bakalářské studium, 2006, Masarykova univerzita v Brně - Přírodovědecká fakulta, [Online http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm, 2018]
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). Fundamentals of soil behavior (3rd edition). New York: John Wiley & Sons.
- V.P. Evangelou, Envionmental Soil and Water Chemistry: Principles and Applications, 1998, Wiley
- Jelínek, J.; Nauka o Zemi pro technické obory, multimediální výukový text, 2014, VŠB Institut geologického inženýrství, [Online http://geologie.vsb.cz/, 2018]
- Vráblíková, J., Vráblík, P., Aplikovaná pedologie, 2008, Univerzita J.E. Purkyně Ústí nad Labem – FŽP, skriptum
- Blažková M., Základy geologie, 2014, Univerzita J.E. Purkyně Ústí nad Labem – FŽP, skriptum
- Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2006). Handbook of Soil Analysis - Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Berlin Heidelberg New York: Springer
- Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9.
- MEUNIERS, A., Clays, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005, ISBN: 3-540-21667-7
- CHVÁTAL, M., Úvod do mineralogické krystalografie, 2020, Vodní zdroje Chrudim, ISBN 978-80-87883-14-3
- CHVÁTAL, M., Úvod do systematické mineralogie, 2020, Vodní zdroje Chrudim, ISBN 978-80-87883-13-6
- WEISS, Z., KUŽVART, M., Jílové minerály a jejich nanostruktura a využití, 2005, Karolinum, ISBN 80-246-0868-5
- HONS, R.J., Atlas našich hornin, 2017, Aladin Agency, ISBN 978-80-906737-4-8

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Chemie geosféry
B240008

Chemické složení půd – organická složka

Autor: Jiří Kroužek
Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

Chemické složení půd - organická složka

- Význam půdní organické hmoty
- Zdroje organických látek
- Rozdělení organických látek
- Charakteristika jednotlivých skupin
- Interakce s minerální složkou
- Přeměna organické hmoty
- Analýza půdní organické hmoty
- půdní biota

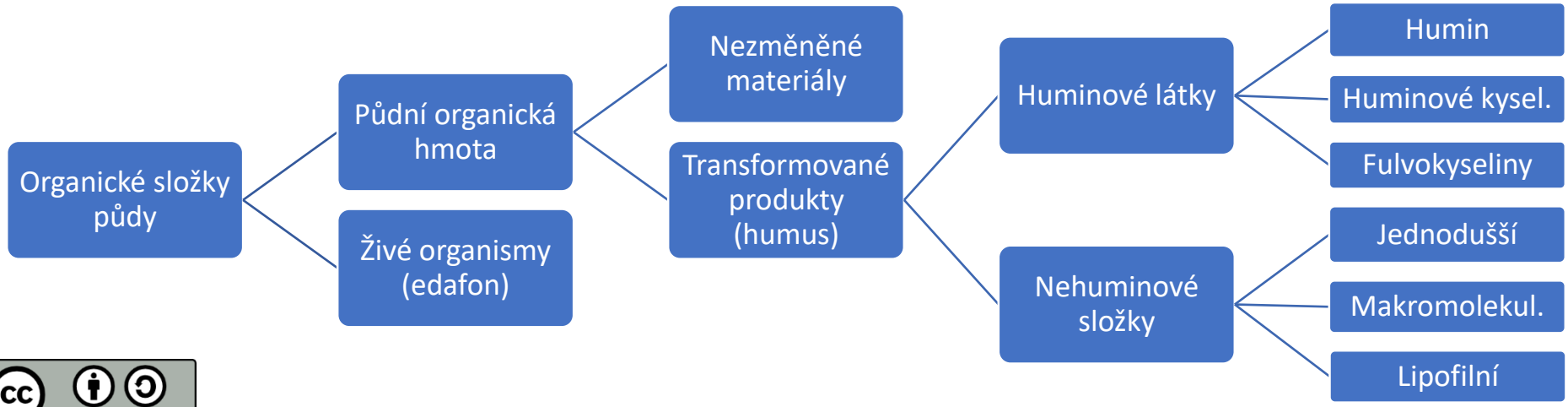
CC BY SA

Půdní organická hmota

- SOM – soil organic matter/TOC – total organic carbon
- soubor všech neživých organických látek v půdě
- SOM/humus/huminové látky – nejednoznačná terminologie a definice

➢ Humusové látky – neidentifikovatelné

➢ Nehumusové složky – cukry, aminokyseliny, tuky, proteiny, polysacharidy, enzymy, vosky atd.



CC BY SA

Význam půdní organické hmoty

- Nutriční biologická funkce – zásobárna uhlíku, živin, energie
  - edafon, rostliny
- Zadržení vody v půdě
- Struktura půdy
- Chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti půdy
  - sorpce, komplexace, půdní reakce
- Půdotvorné procesy

- Zdrojem jsou organické látky dopadající na povrch půdy – stromové, keřové, bylinné a mechové patro, nebo uvolňované přímo do půdy z rostlin či půdní bioty

CC BY SA

Význam humusu v zemědělství

- rozhodující složka z pohledu úrodnosti půdy
  - produktivita půdy (výnosy)
  - stabilita výnosů
  - odolnost vůči výkyvům počasí a dalším biotickým či abiotickým faktorům
  - obsah živin v půdě – 6-7x více poutá než jílové koloidy
  - kationtová výměnná kapacita v půdním sorpčním komplexu
- hromadění SOM v půdě patří k základním půdotvorným procesům
  - důležité z pohledu skleníkového efektu (oteplování, klimatické změny) – rezervoir uhlíku
- vliv na strukturu půdy – příznivý vodní, vzdušný a tepelný režim
- podmínkou bohaté půdní bioty

ochrana SOM patří mezi závažné problémy ochrany přírodních zdrojů, ztráta organické hmoty je nejvážnějším projevem degradace zeměděl. půdního fondu – vyhodnocení protierozních opatření, dodávky hnojiv atd.

Kvantita a kvalita SOM je důležitá také v případě lesního hospodářství

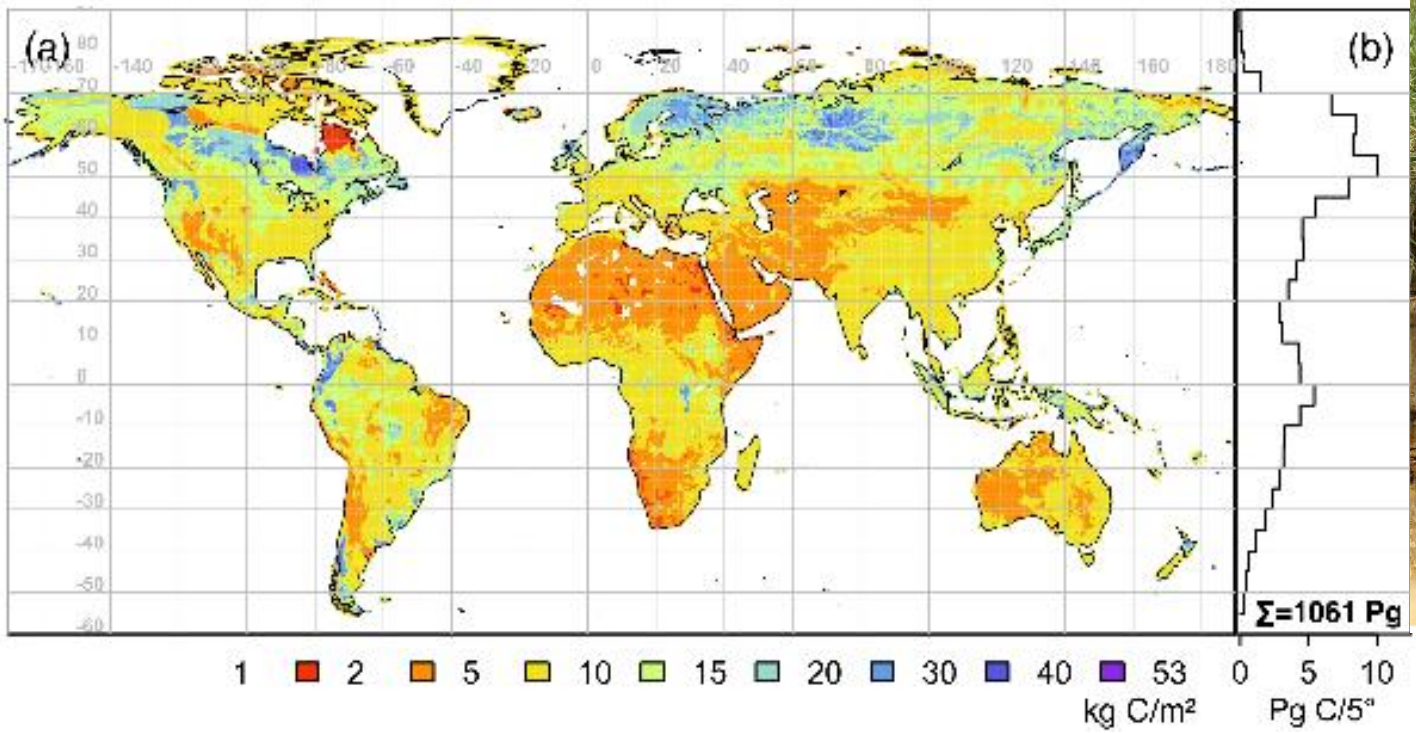
CC BY SA

Obsah organické hmoty v půdě

obsah	TOC (%)	% humusu
velmi nízký	< 0,6	< 1
nízký	0,6 – 1,2	1 - 2
střední	1,2 – 1,7	2 - 3
vysoký	1,7 – 2,9	3 - 5
velmi vysoký	> 2,9	> 5

Přepočet TOC/humus:

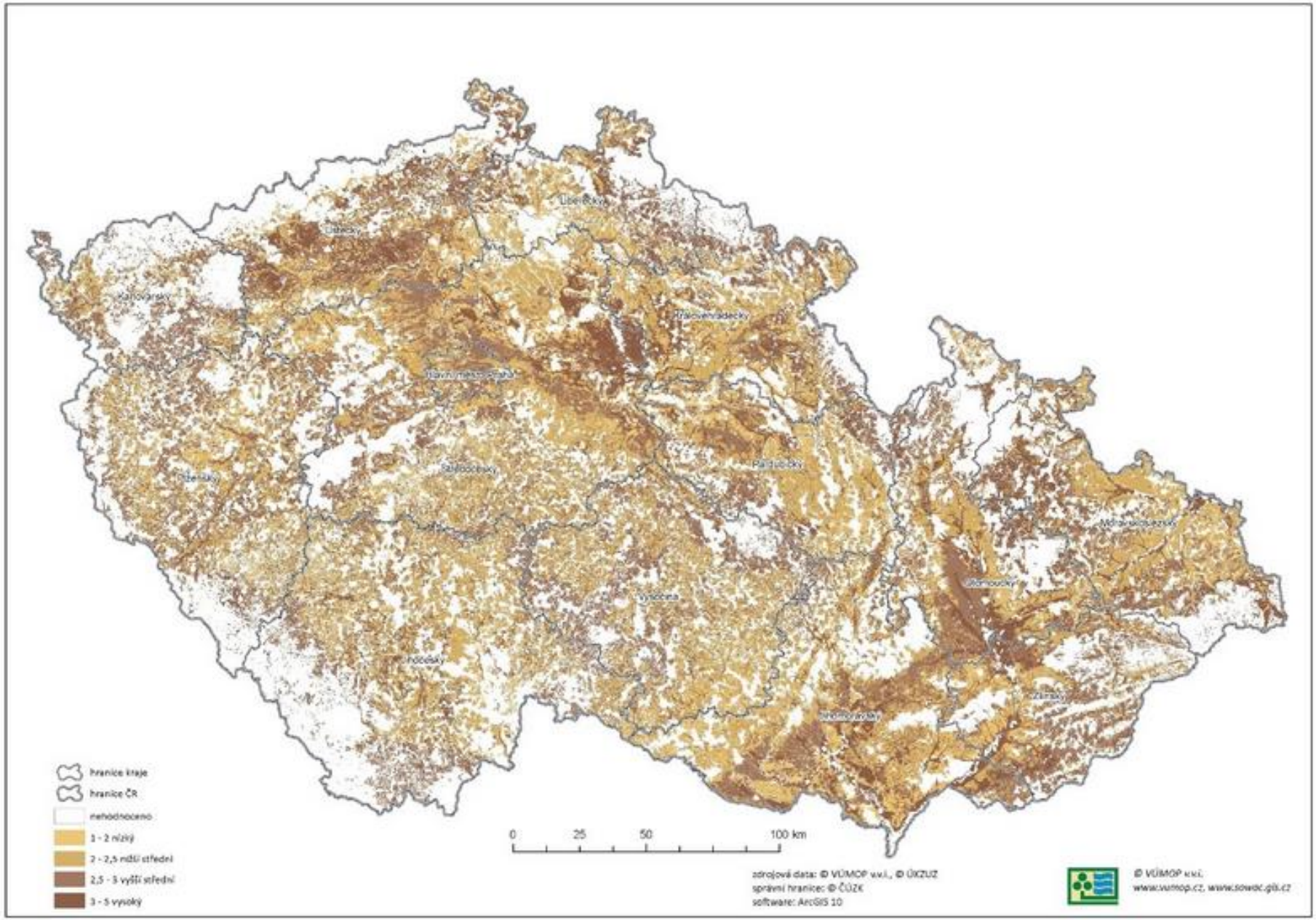
Welteho koeficient 1,724





Köchy, M., Hiederer, R., & Freibauer, A. (2015). *Global distribution of soil organic carbon*–Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. *Soil*, *1*(1)

CC BY SA



zdroj: *www.organickahmota.cz*

cc BY SA

Dehumifikace

= úbytek SOM/humusu v půdě

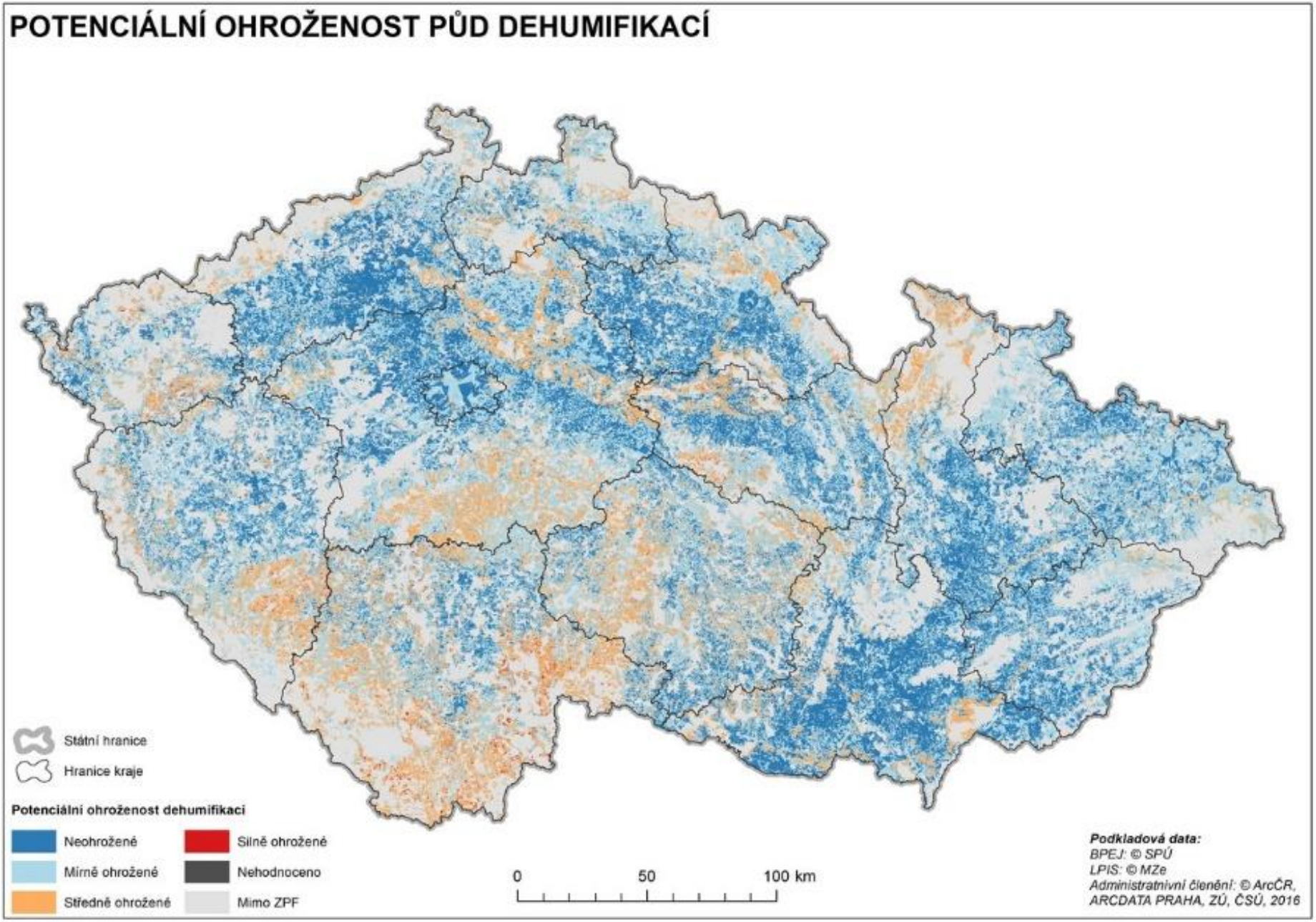
faktory

- intenzita a způsob hospodaření (mineralizace v důsledku intenzivní kultivace)
- nedostatečné doplňování SOM (rostlinné zbytky, hnojení)
- ztráty erozí
- mineralizace v důsledku regulace vodního režimu půdy (odvodnění)
- mineralizace aplikovaných organických hnojiv
- přílišná aerace (orání luk, hlubší proorávání)

důsledky

- ztráta stability půdních agregátů (fyzikální degradace)
- náchylnost k erozi (vodní i větrné)
- snížení pufrační kapacity – náchylnost k acidifikaci
- snížení filtrační schopnosti a retenční kapacity
- nižší poutání kontaminantů a zvýšení jejich mobility
- nižší poutání živin

CC BY SA



zdroj: *www.organickahmota.cz*

CC BY SA

Dehumifikace

Setrvání SOM v půdě závisí na chemickém složení stejně jako na fyzikálně-chemických procesech a biologických parametrech daného půdního prostředí (mikroprostředí, mnohdy hot-spots)

Aspekty setrvání SOM

- Hydrofobicita místa v půdě
- Půdní reakce – snižuje aktivitu rozkladného enzymu
- Sorpční schopnost mikroprostředí – zachytává „katalyzátory“ rozkladu (vč. enzymů) z půdního roztoku

Stabilita polysacharidů dána jejich nedostupností vůči rozkladu (nikoli složením)

- Fyzikální nedostupnost (struktura biorezidua, adsorpce na koloidy)
- Inhibice enzymatické hydrolýzy (komplexy s kovy nebo s koloidním humusem)

CC BY SA

Zdroje půdní organické hmoty

Rostlinná biomasa (rostliny, řady, sinice)

- Rostliny největším producentem
- Při omezeném růstu rostlin (sucho, vlhko, chlad) – půdní biokrusty
  - Směsi nižších autotrofů a dalších organismů (houby, bakterie, lišejníky a mechy
  - Vytváří biofilmy (mm), ale produkují velmi málo OM

Vstup do půdy

- Opadem – hromadění a rozklad na povrchu, bohaté organické horizonty, vymývání rozpustných látek a transport organismy do spodnějších horizotnů
- Přímo do půdy
  - Podzemní opad
  - Rhizodepozice
  - Transport povrchové organiky

CC BY SA

Zdroje půdní organické hmoty

Nerozložený materiál – opad, kořeny, exudáty

- Rychle podléhá rozkladu (hodiny, dny, max. týdny) - polysacharidy, organické kyseliny, aminokyseliny, cukry, biologicky aktivní látky, proteiny, NK, lipidy
- Odolnější vůči rozkladu (měsíce až desetiletí) – strukturní materiály – celulóza, lignin, lignocelulózové komplexy, fenolické látky, vosky, pektiny
- Odolnost dána hydrofobicitou látky, přístupností (hydrofobní bariéry, vosky), stupněm polymerace a hydratace polymerů, kombinací polymerů v buněčných stěnách, bakteriostatickými vlastnostmi (komponenty ligninu, terpeny, alkaloidy, taniny)
- 5-15% SOM v organominerálních horizontech

Přeměněná SOM

- Živá aktivní složka – 2-4% SOM, tj. edafon
- Mrtvá pasivní složka – odumřelá biomasa, produkty metabolismu, humusové látky

CC BY SA

Zdroje půdní organické hmoty

- Rostlinný opad
  - 75% celulóza a hemicelulóza
  - 15% lignin
  - 10% proteiny, aminokyseliny, cukry
  - Jednotky % vosky, pektin, pigmenty, metabolity
  - Záleží na druhu, orgánu či vývojovém stádiu
- Mikroby a živočichové
  - Mnohem více bílkovin a lipidů

Procentuální zastoupení:

materiál	Bílkoviny	polysacharidy	celulóza	lignin	lipidy
vojtěška	15-18	8-11	13-33	6-16	stopy
žito	12-20	16-23	19-26	4-6	stopy
pšenice	3	21-26	27-33	18-21	stopy
borovice	0,5-1	24-30	42-49	25-30	stopy
escher.coli	55	5-30	0	0	9
houby	20-25	45 (chitin 10)	36	0	17

cc BY SA

Sacharidy a lipidy

Sacharidy (mono, di, ale hlavně poly-) - až 15% C v půdě

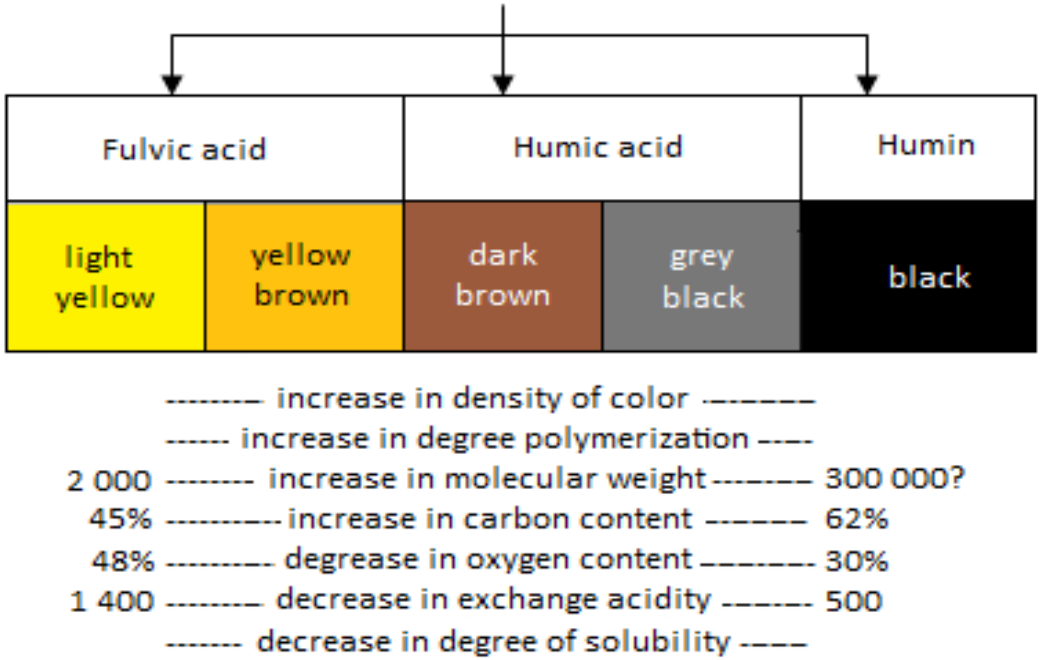
- Snadno rozložitelné
- Perzistence podmíněna:
  - Adsorpce na jíl.minerály
  - Vazba na Fe, Al nebo Cu (komplexy)
  - Uzavření v mikroagregátech
  - Lignocelulózové komplexy
- Asimilační rezervoáry - škrob (rostliny), glykogen (živ.), dextran (mikroo.)
- Hemicelulóza – primární a sekundární buněčné stěny rostlin – pektin
- Celulóza – buněčné stěny vyšších rostlin, nevětvené řetězce glukózy
- Lignin – ve dřevě, zpevňuje vzájemnou vazbou celulózové a hemicelulózové jednotky
  - Aromatická jádra s 3C vedlejším řetězcem
  - Rozklad hlavně houbami, velmi odolný vůči rozkladu
  - Jádra hlavně do humusu, vedlejší řetězce mineralizovány

Lipidy

- Estery kyselin, různorodé mastné kyseliny
- Hydrofobicita, energetická zásobárna
- Snadno rozložitelné bez akumulace, pouze v kyselých půdách až 30% TC

CC BY SA

Huminové látky

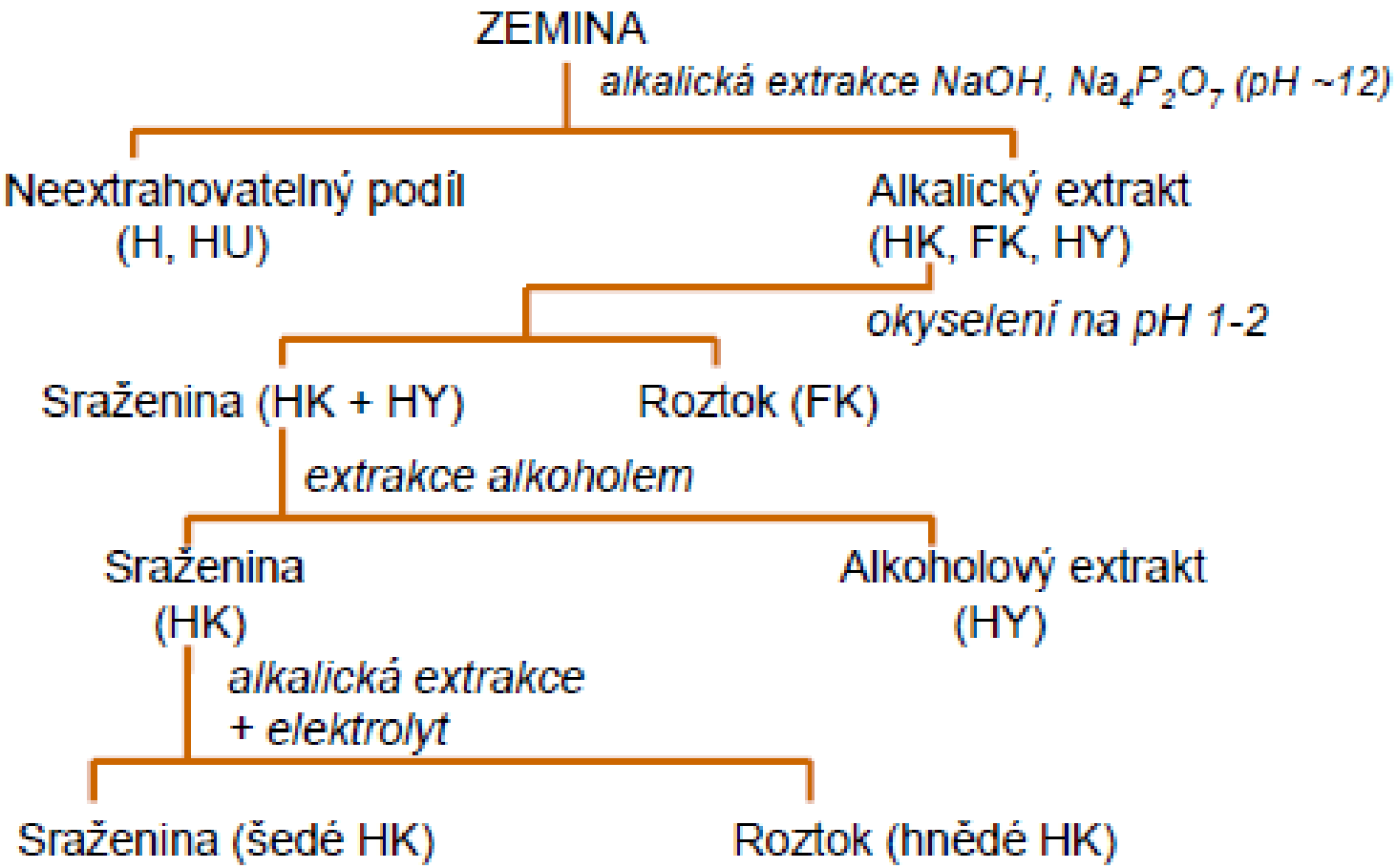


zdroj: *http://karnet.up.wroc.pl*

	Units	Fulvokyseliny	Huminové kyseliny	Humin[a]
Molekulová hmotnost	g mol^{-1}	1 000 – 5 000	10 000 - 100 000	> 100 000
C	%	42 – 47	51 – 62	> 62
O	%	45 – 50	31 – 36	< 30
N	%	2.0 – 4.1	3.6 -5.5	> 5
Obsah kyselin	mol kg^{-1}	14	5	< 5

CC BY SA

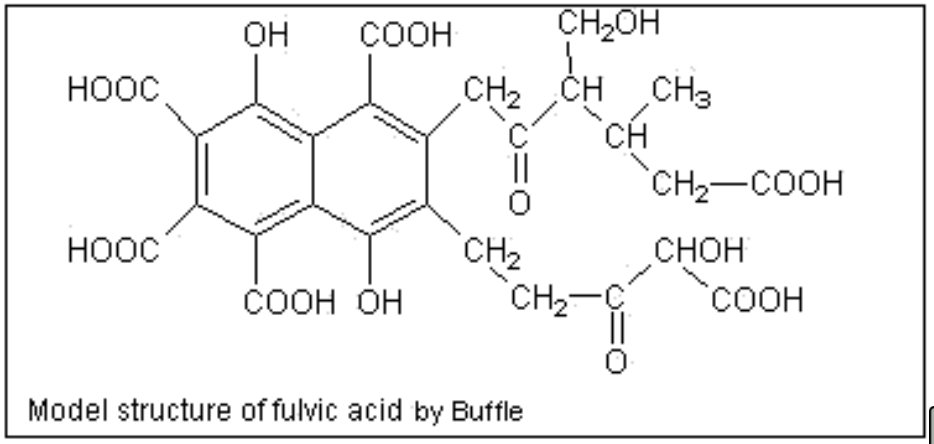
Extrakce huminových látek



CC BY SA

Fulvokyseliny

- Extrahovatelné zředěnými kyselinami, setrvávají v roztoku po vysrážení
- Aromatický charakter s bočními řetězci
- Silně hydrofilní, snadno disociují, KVK až 700 mmol/100 g
- Rozpustné ve vodě, vč. jejich solí, komplexace s Fe^{3+} a Al^{3+}
- Žluté a oranžově hnědé zbarvení
- Přispívají k alteraci minerálního podílu v půdě
- Funkční skupiny
  - -COOH
  - Fenolické –OH
  - Methoxyl $–OCH_3$



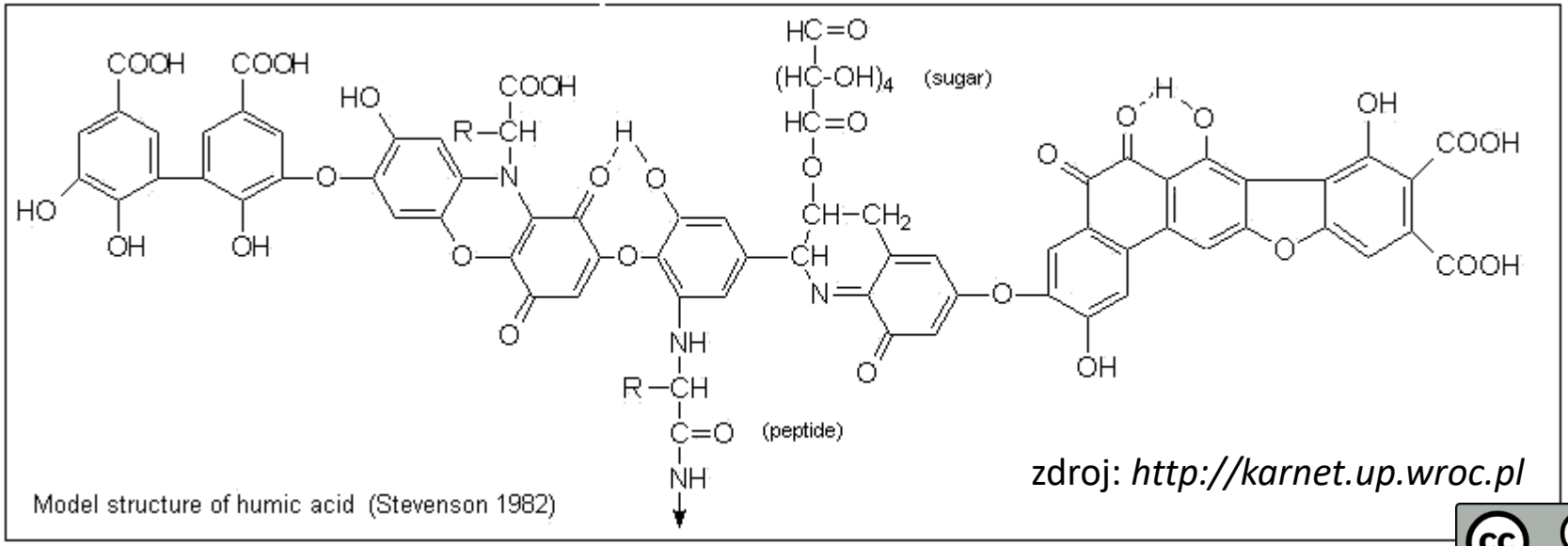
Model structure of fulvic acid by Buffle

zdroj: *http://karnet.up.wroc.pl*

cc BY SA

Huminové kyseliny

- Rozpustné v alkalickém pH, nerozpustné ve vodě a kyselém prostředí
- Aromatický charakter, méně hydrofilní
- Méně agresivní k minerálním složkám
- Žlutohnědé až černošedé zbarvení
- -COOH, Fenolické –OH, méně Methoxyl –OCH_3, více C=O



zdroj: *http://karnet.up.wroc.pl*

cc BY SA

Humin

- Nerozpustný ve vodných roztocích v celé šíři pH
- Nejtmavší zbarvení, nejsložitější struktura
- Pokročilá forma humifikace organické matrice
- Větší význam pro fyzikální vlastnosti půdy (tmel) nežli pro chemismus půdy
- Váže se na minerální složky – organominerální komplex

CC BY SA

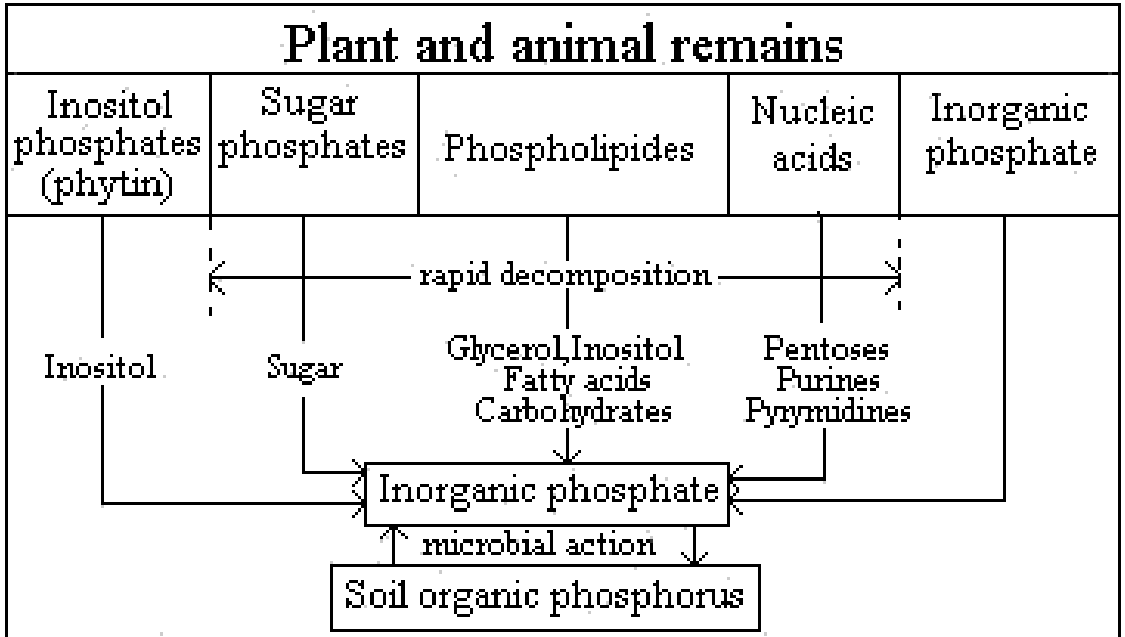
Organický dusík v půdě

- Aminokyseliny, peptidy a proteiny
  - volné, vázané na minerální složku, vázané na huminové koloidy, mukoproteiny, muramové kyseliny
  - Velmi snadno rozložitelné – rovnováha mezi syntézou a rozkladem
- Aminocukry – mukopolysacharidy (D-glukosamin, chitin)
  - Vyšší obsah v jednotkách procent
  - Hůře rozložitelné než aminokys. nebo cukry
- Nukleové kyseliny – méně než 1% - RNA, DNA
- Stopy aminů, pesticidů, vitamínů
- Poměr C/N
  - Pokles – rozklad na anorganické složky
- Stabilita organického dusíku
  - Reakce s další OH (např. lignin, tanin, chinon), komplexace, adsorpce na jílové minerály, uzavření v malých pórech

CC BY SA

Organický fosfor v půdě

- Organické látky humusu a organické složky buněk
  - Inositol fosfát (až 50% P)
  - Fosfolipidy (1 až 5 % P)
  - Nukleové kyseliny (0,2 až 0,5 % P)
  - Fosfoproteiny (stopy)



Phosphorus transformations in soil. According to W. Flaig (1966).

zdroj: *http://karnet.up.wroc.pl*

cc BY SA

Interakce OH s minerální složkou

- Většina huminových látek není ve volném stavu

➢ Soli nižších organických kyselin
  - ➢ acetáty, oxaláty, laktáty, fumaráty aj.
  - ➢ na minerálech (magnezit, kalcit, siderit aj.) nebo solích minerálních kyselin s Ca, K a dalšími kationty.

➢ Soli huminových kyselin (humáty) a fulvokyselin (fulváty)
  - ➢ Alk. kationty Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} drženy iontovou výměnou na COOH skupině
  - ➢ Většinou ve směsi s hydroxidy Fe a Al

➢ Chelátové komplexy s kovovými ionty
  - ➢ dvě a více koordinační pozice okolo iontu jsou obsazeny jedním ligandem vytvářejícím kruhovou strukturu

$$\underset{\text{enolate}}{\text{-O-}} > \underset{\text{amine}}{\text{-NH}_2} > \underset{\text{azo}}{\text{-N=N-}} > \underset{\text{ring N}}{\text{=N}} > \underset{\text{carboxylate}}{\text{-COO}^-} > \underset{\text{ether}}{\text{-O-}} > \underset{\text{carbonyl}}{\text{C=O}}$$

$$Fe^{3+} > Cu^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Zn^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+}$$

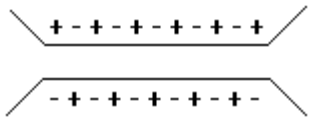
  - ➢ Transport kovů k rostlinám (fulváty) a rezervoár polyvalentních kationtů (humáty)

➢ Organojílové komplexy

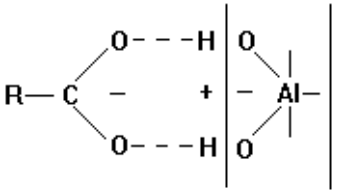
CC BY SA

Organojílové komplexy

- Interakce organických látek s jíly má nesčetně důsledků pro vlastnosti půdní matrice
- Zejména adsorpce huminových látek



- Van der Waalsovy síly
  - Velmi slabé – vychází z fluktuací hustoty náboje atomů
  - Adsorpce slabě polárních nebo nepolárních velkých molekul
- Kationtový můstek (s negativně nabitým povrchem jílu)
  - Humáty či fulváty s polyval. kationtem Ca^{2+} (slabší vazba), Fe^{3+}, Al^{3+} (silnější)



- Vodíkové můstky
  - Vazba polárních skupin s adsorbovanou vodou nebo kyslí alumosilikátech
  - Slabé – doplňující a mezistupeň při těsnějším svázání po vysušení
- Adsorpce prostřednictvím hydroxidů Fe
- Adsorpce do interlamelárního prostoru

cc BY SA

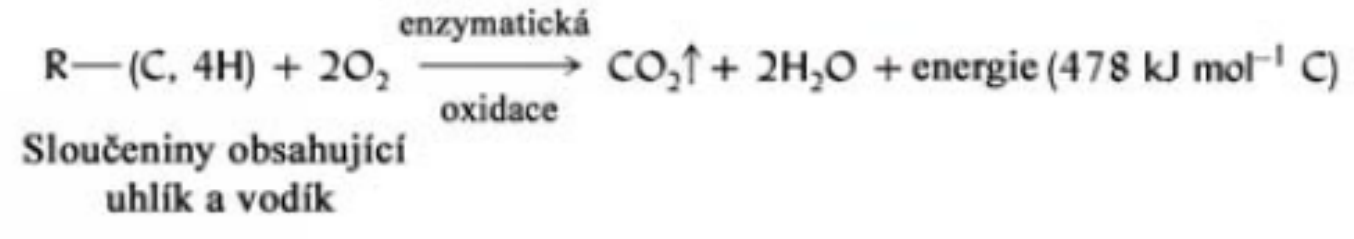
Přeměny organické hmoty

- Osud primární organické hmoty (rostlinné a živočišné zbytky)
  - Transformace – mineralizace, humifikace, asimilace (heterotrofy)
  - Akumulace – ulmifikace/karbonizace
- Výsledkem jsou humusové látky, jednoduché anorganické látky, živé buňky (pletiva a tkáně) anebo organogenní sedimenty
- K transformaci pravděpodobně dochází v malých ohniscích geobiochemické aktivity (hot-spots) = vysoce oživená místa v rhizosféře nebo na povrchu půdních agregátů s vysokým obsahem SOM, nespojité a o malém objemu (pár %)
- Důležitými faktory těchto mikroprostředí (půdní částice/agregáty) – hydrofobicita, půdní reakce a sorpce
- Míra transformace závisí na vlastnostech pedonu (fyzikálních a chemických)
- Nízkou aktivitu vykazují:
  - Zrnitostně lehké půdy s vlivem půdního vzduchu
  - Zrnitostně těžké půdy s výrazným vlivem vody
  - Půdy na karbonátových horninách s vlivem akumulace tepla
- Důležité i prakticky v hospodářství
  - Skleníkový efekt – sekvestrace C, rezervoáry CO_2 a CH_4
  - Bioplynové stanice – analogie k půdním procesům, tvorba digestátu
  - Aplikace EM produktů (efektivní mikroorganismy – oživené roztoky) – rychlejší kompostace, boj s patogeny, omezení zápach, zvýšení příjmu N rostlinám

CC BY SA

Mineralizace

- Činnost edafonu vedoucí k rozkladu organické hmoty až na prvočinitele (anorganické sloučeniny a ionty)



- Aerobní mikroorganismy
- Lehké (písčité) půdy s převahou nekapilárních pórů
- Závisí na – T, vlhkost, pH, kvalita SOM, obsah N
- 50 – 80% organické hmoty
- Význam:
  - Energie pro mikroorganismy
  - Živiny N a P z organických vazeb
  - Rozklad toxických látek
  - Tvorba CO_2

CC BY SA

Mineralizace

Primární

- Rozklad jednoduchých cukrů, polysacharidů, proteinů, aminokyselin, tuků aj.
- Produkce primární anorganických látek a iontů
- Může být rychlá – dny až roky
- Slouží jako zdroj výživy rostlin, vázány na půdní sorpční komplex nebo jsou vyplavovány podzemní vodou
- Několik následných cest produktů
  - Odplavení vyluhováním (NO_3^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+} atd.)
  - Vytěkání do atmosféry (CO_2, H_2O, H_2S, NH_3)
  - Adsorpce na výměnné povrchy půdních koloidů (zejména K^+ a H^+)
  - Asimilace biotou (bioimobilizace) (NH_4^+, PO_4^{3-})
  - Živiny pro rostliny

Sekundární

- Rozklad již humifikovaných organických zbytků (humusu)
- Je velmi pomalá (desetiletí), ale mohou to být i procenta ročně
- pouze 1-3 % huminových látek

Ochrana SOM před mineralizací

- Fyzikální – adsorpce, agregace
- Biochemická – komplexace, kondenzace

CC BY SA

Ulmifikace a karbonizace

Ulmifikace (rašelinění)

- Hodně vody, málo kyslíku
- Omezená chemická přeměna
- Hromadění energeticky bohatých látek (nadpoloviční obsah spalitelných látek)
- Dlouhodobý proces - tvorba bitumenů (živice), huminové látky jen málo
- Počátečním produktem humolity – z nerozložených zbytků rostlin s částečným zachováním původní struktury
- Slatinné rašeliny – v přítomnosti minerálních látek, vysoká hladina podzemní vody, stagnující srážkové vody
- Vrchovištní rašeliny – zcela bez minerální složky, kyselé prostředí, horské stanoviště či nížinné rašelinné lesy

Karbonizace

- Rozklad větších rostlinných celků (kořeny)
- Odbouráním snadno rozložitelných částí se koncentruje obsah uhlíku v karbonizované formě
- Tvorba tzv. humusového uhlí

CC BY SA

Humifikace

= Proces tvorby humusu – z jednoduchých organických látek vznikají látky zcela nové a většinou složitější, mnohdy vysokomolekulární s koloidními rozměry

- Zvyšuje se relativní obsah C, snižuje obsah O a poměr C:N
  - Poměr C:N – kvalitativní ukazatel intenzity rozkladu OM, < 10 velmi kvalitní humus a > 30 prokazuje velmi pomalý rozklad
  - Poměr HK:FK – spolehlivější ukazatel kvality, měla by být >1, spíše >2
- činitelé
  - Humusotvorný materiál – odumřelé zbytky rostlin
    - Složení ovlivňuje průběh degradace
    - Bílkoviny, celulosa rychleji než lignin, lipidy a třísloviny
  - Nehuminové látky – meziprodukty přeměny
  - Huminové látky (humus) – produkt přeměny

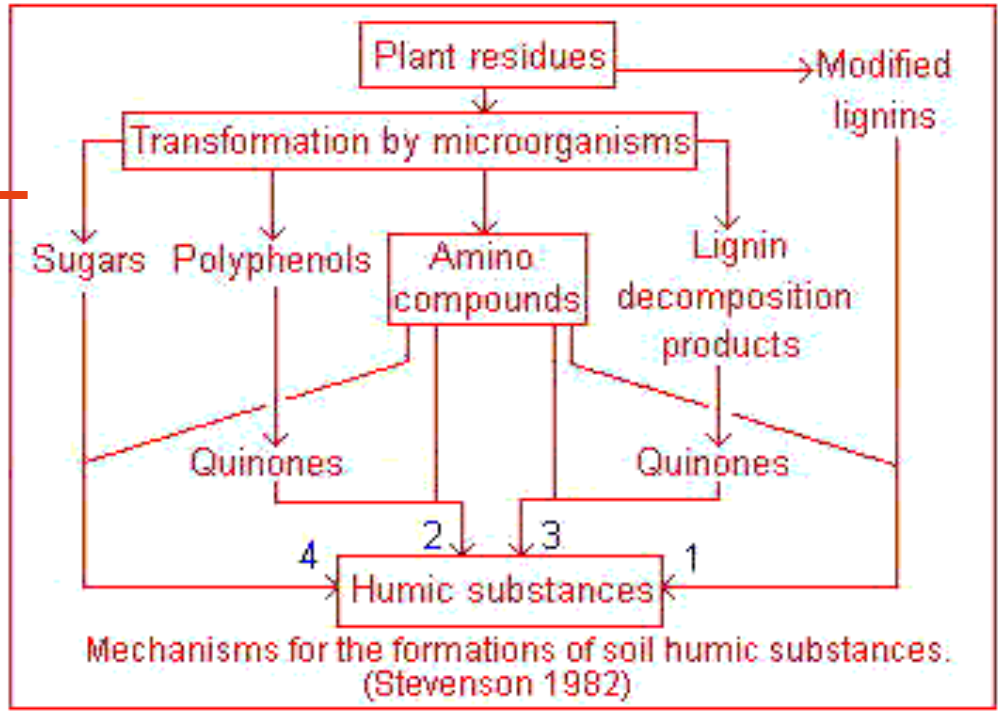


CC BY SA

Humifikace

- Komplexní chemie humusu
- Stále málo probádané

- Různé starší teorie = cesty
  - Ligninová (Waksman)
  - Polyfenolová dle Flaiga
  - Polyfenolová dle Kononové
  - Cukr-aminová kondenzace



Mechanisms for the formations of soil humic substances. (Stevenson 1982)

zdroj: *http://karnet.up.wroc.pl*

- Nové přístupy k humifikaci ve vědě v posledních letech
- Typy humifikací
  - Ze zděděných vedlejších produktů mineralizace
  - Polykondenzacemi (zestupňování složitosti)
  - Bakteriálními neosyntézami

CC BY SA

Teorie vzniku humusu

Projevují se všechny mechanismy různou měrou

Ligninová – nejstarší klasická teorie

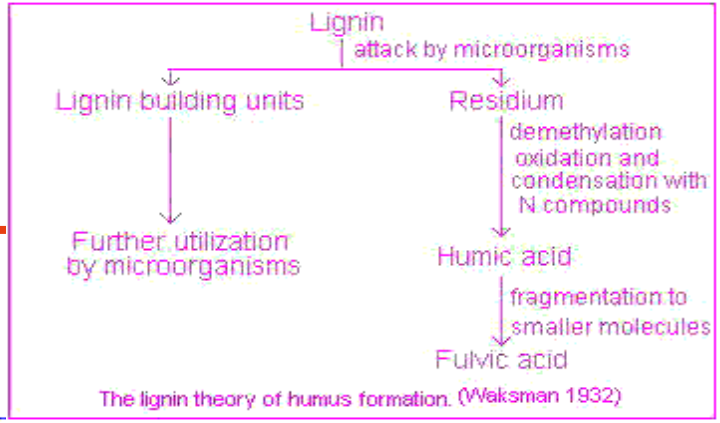
- Dle podobnosti struktury i vlastností ligninu a HK
- Spíše v málo odvodněných polohách (rašelina, dna jezer apod.)
- Podíl hub a bakterií
- Odstranění -OCH_3, tvorba o-hydroxyfenolů a poté oxidace na -COOH sk.
- Neúplné využití ligninu mikroorganismy a následný rozklad vzniklého rezidua na HK a poté FK

Polyfenolové teorie

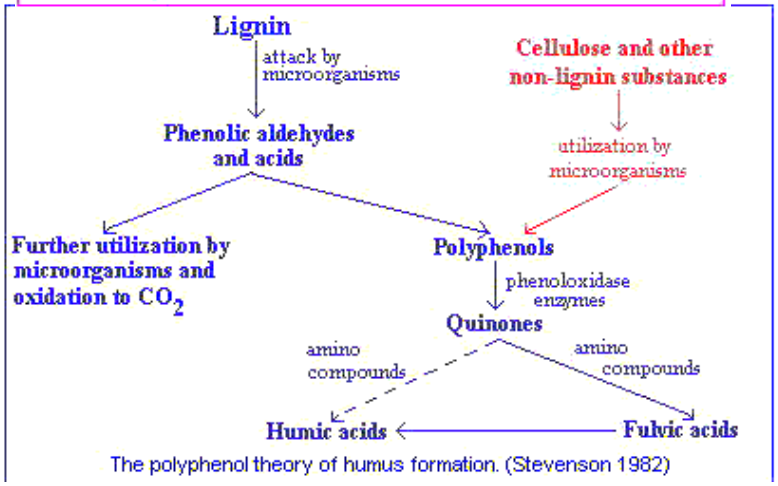
- Rozklad organismy na polyfenoly, poté enzymatická oxidace na chinony a následná polykondenzační reakce s aminokyselinami na HK a FK
- HK v půdách s nízkým vstupem ligninu – vstup celulosy aj. látek

Cukr-aminová kondenzace

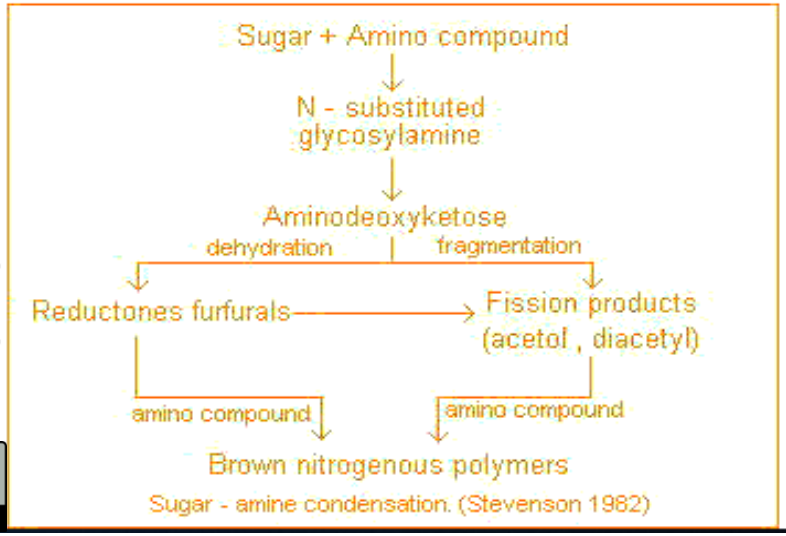
- Cukry a aminosloučeniny jakožto produkty metabolismu mikroorganismů jsou polymerizovány (ne enzymaticky, spíše katalyticky a vlivem fyz. změn v půdě)
- Výhodou teorie je jednoznačná závislost na činnosti mikroorganismů, ale při teplotách v zemině jsou reakce velmi pomalé



The lignin theory of humus formation. (Waksman 1932)



The polyphenol theory of humus formation. (Stevenson 1982)



Sugar - amine condensation. (Stevenson 1982)

CC BY SA

Typy humifikace

Ze zděděných vedlejších produktů mineralizace

- Oddělení mineralizovaných a odolnějších složek v půdě
- Následné včlenění těchto do humusojílového komplexu
- Taniny, fenoly, organické kyseliny (salicylová) a produkty rozpadu ligninu – acidifikace půdního mikroprostředí

Polykondenzacemi (zestupňování složitosti)

- Rozdíl od polymerizací (řetězení), spíše spojování a současné odštěpování vedlejších produktů syntéz
- z fenolických látek, polysacharidů, polypeptidů vznikají nové větší molekuly – kys. krenové, hymetomelanové, huminové a fulvokyseliny, humíny

Bakteriálními neosyntézami

- Hromadění produktů metabolismu živých bakteriálních kolonií
- Absorpce rozpuštěné SOM z reziduí nebo kořenových exudátů, imobilizace a transformace v mikroorganismech, vyloučení v podobě polysacharidů
- Nejasný podíl hub a bakterií

Asimilace – do vyšších trofických stupňů, půdní fauna

- Fragmentace organických látek, transformace v trávicím traktu, kdy část (<1/2) je využita pro syntézu tkání a část je vyloučena jako exkrementy, následuje transformace (koprogenní humifikace) nebo mineralizace

CC BY SA

Humusové formy a horizonty

- význam pro charakterizaci parametrů lokality
- odráží dynamiku změn organické hmoty
- Humusové horizonty (nadložní humus)
  - Opad – opadanka, hrabanka – nerozložená, nepatrně rozložená rezidua
  - Drť – fermentační horizont – částečně rozložené částice opadu
  - Měl – humifikační horizont – nediferencovaný amorfní tmavý materiál, oddělený od minerální půdy
  - Zahrnuté do půdní taxonomie
- Humusové formy
  - Mor
    - Humidní podmínky (až rašelinění) nebo suché podmínky, nízká teplota, minerálně chudý substrát
    - Pomalu se rozkládající OM, brzděná humifikace, větší vrstva drtě oddělující krajní horizonty, málo humózní svrchní horizont půdy
    - Vysoká spalitelnost, obsah 80-200 t/ha
  - Moder
    - Přechodná forma
    - Střední obsah, nezřetelný opad od drtě a zároveň spojení měli s humózním svrchním horizontem půdy
    - Např. listnaté lesy
  - Mull
    - Vznik při intenzivním rozkladu OM, opačné podmínky moru (vlhké prostředí), nížiny
    - Není patrný měl, protože je OM rychle humifikována do půdního svrchního horizontu
    - Nízká spalitelnost, obsah < 10 t/ha

CC BY SA

Analýza organické složky půdy

- Fyzikální
- Stanovení obsahu prvků
- Kvantifikace huminových látek
- Charakterizace huminových látek
- Analýza nehuminových látek
  - Kyselá hydrolýza polysacharidů
  - Titrace cukrů – kolorimetr., GC
  - Celkové lipidy – gravimetrická extrakce
  - Celkové ve vodě rozpustné org. látky – stud./tepl. výluh
  - Karbohydráty pomocí GC nebo LC
  - Biologicky či chemicky dostupný dusík
  - Aminokyseliny – titrace, kolorim., HPLC

CC BY SA

Fyzikální frakcionace organické hmoty

- Rozčlenění půdy dle fyzikálních vlastností organického materiálu – zbytky rostlin, hub, organojíl. komplexy atd.
- Separace rostlinných zbytků (kořeny)
  - manuální extrakce
  - dispergace (mechanická vodou, ultrazvukem, chemicky)
- Separace dle hustoty
  - Sedimentace v různých roztocích
- Frakcionace částic
  - mokrá sítová analýza (různé roztoky)
  - zmenšující se částice -> pokročilejší rozklad organických látek
- nízká přesnost – spíše předúprava pro další analýzy

CC BY SA

Stanovení obsahu prvků

- Mokré metody
  - Mokrá oxidace C - reakce s roztokem dichromanu
  - Důležitým parametrem je teplota
    - Teplota reakce 120°C – není 100% rozklad – korekce 1,1-1,4
    - Vyšší teploty mohou rozkládat i dichroman - optimum 150°C
  - Stanovení C – zpětná titrace dichromanu Fe^{2+} ve filtrátu (či spektrokolorimetricky)
  - Total N – modif. Kjeldahl metody - $(R_3)N + H_2SO_4 \xrightarrow{\text{catalyst}} (NH_4)_2SO_4 + H_2O + CO_2$ $2NH_4^+ + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + 2H^+$
- Suché metody
  - gravimetricky odpařením za vysoké teploty – nepřesné
  - Instrumentální suché spálení pro CHN(OS) – odstr. CO_3^{2-}
  - Termická analýza s potřebnými detektory – DTA, TGA
  - NIR analýza C a N - nedestruktivní

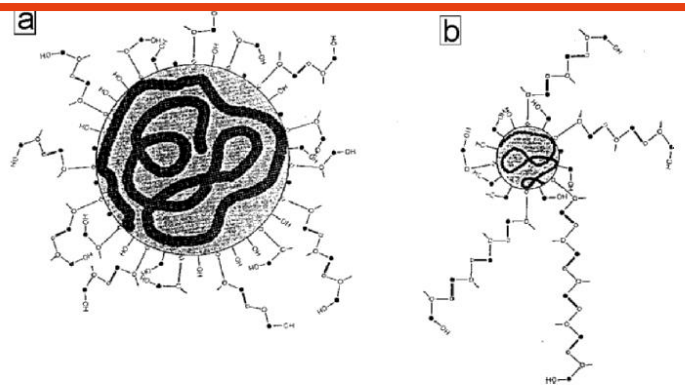
CC BY SA

Kvantifikace huminových látek

- Extrakce – nutno narušit organominerální vazby
  - Roztoky solí (např. $NaBH_4$, pH 9,7)
  - Komplexační roztoky ($Na_4P_2O_7$, pH 9,8)
  - Roztok sody (pH 12)
  - Alkalická extrakce
  - Dvoukroková extrakce – pyrofosfát a soda
- riziko narušení chemie humusu
  - degradace HL (hydrolýza, oxidace, polymerace)
  - tvorba rozpustných látek z nehuminových
  - rozklad živých mikroorganismů
- Různé postupy – dle Schnitzera, IHSS, dle Dabina
- Kvantifikace – analýza uhlíku v roztoku
  - rozklad dichromanem a titrace CO_2
  - Stanovení DOC

CC BY SA

Charakterizace huminových látek



- Frakcionace po extrakci
  - Elektroforeticky
  - Gelová chromatografie
  - Separace fulvokyselin
- Titrace hlavních funkčních skupin
- UV-VIS spektrofotometrie (poměry absorbance)
- IR spektrometrie – funkční skupiny
- Fragmentace molekul – redox, tepelná
- NMR, mikroskopie, XR spektroskopie
- Velikost molekul – GPC, ultrafiltrace, viskozimetrie

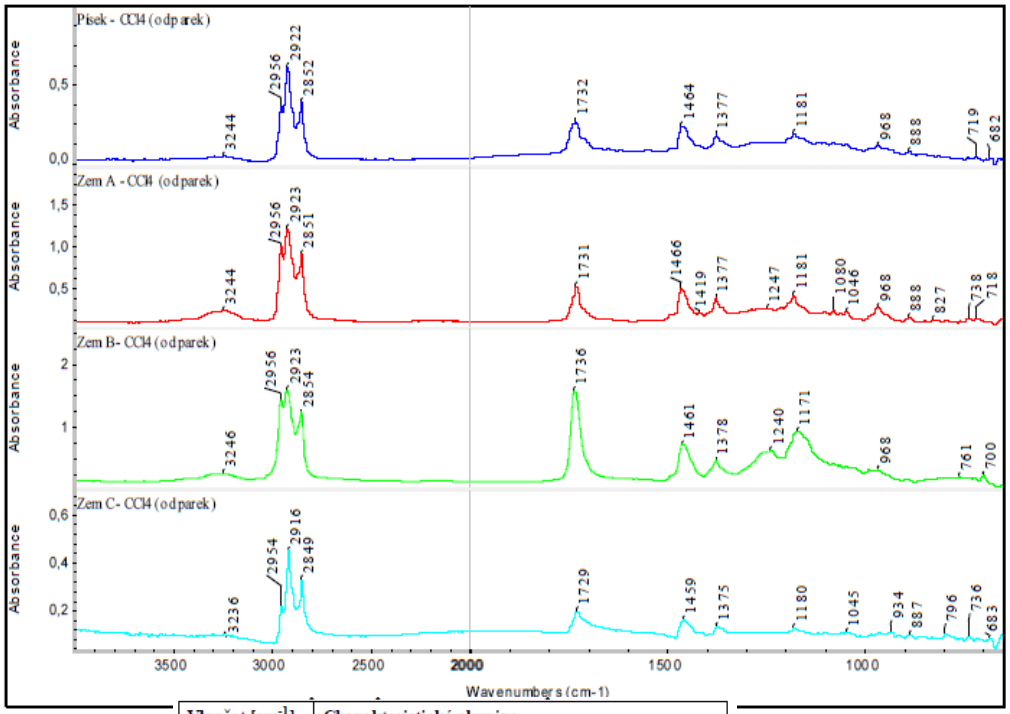
Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2006). Handbook of Soil Analysis - Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Berlin Heidelberg New York: Springer

CC BY SA

IR charakterizace org. látek

UV–Vis–NIR band assignment of soil components reported in the literature [45–47]

Sr. No.	Range (nm)	Band assignment
1	180 nm	Pi – Pi*Allowed transitions
2	205 nm	Benzenoid and e⁻ transfer band
3	240 nm	Aromatic or unsaturated compounds (conjugation of quinone and ketone)
4	254 nm	Dissolved organic carbon
5	260–280 nm	lignin and quinone moieties, Humic acid (double bonds of humic acid)
6	265 nm	Protein like structure related to biological productivity
7	280	Total aromaticity, humification of peat
8	270–280 nm	e– transitions between π–π*
9	290 nm	Aromatic or unsaturated compounds (conjugation of quinone and ketone)
10	300–310 nm	Glutamic acid
11	312, 355 and 395 nm	Fulvic acid
12	430 nm	Fe^{3+} in oxy/hydroxide in visible region (electronic transition)
13	460 nm	Lead, Fe oxide mineral including hematite and goethite
14	500–530 nm, 650 nm	Fe^{3+} in oxy/hydroxide in visible region (electronic transition)
15	510, 530 nm	Clay minerals, hematite
16	600 nm	Zinc content
17	600–670 nm	Indicate strongly humified material with a high degree of aromatic and condensed group
18	700 nm	Fe^{3+} presence
19	880–900 nm	Iron oxide minerals (hematite and goethite)
20	1400–1450 nm, 1910–1930 nm	H_2O and OH
21	1725 nm	C–H bonds, goethite
22	2060 nm	Amine group
23	2200 nm	Al–OH bonding



Vlnočet [cm^{-1}]	Charakteristická skupina
3244	Valenční symetrická N-H ve skupině $–NH_2$
2956	Asymetrická valenční –C-H ve skupině $-CH_3$
2922	Asymetrická valenční –C-H ve skupině $-CH_2-$
2852	Symetrická valenční –C-H ve skupině $-CH_3$
1730	Symetrická valenční -C=O ve skupině -COOH
1464	Deformační vějířová $-CH_3$, můžková deformační $-CH_2-$
1377	Deformační deštníková $-CH_3$
1240	valenční symetrické vazbě C-O-C
1181, 1171	Valenční symetrická C-O-C
968, 888	Mimorovinná deformační dvojná vazba
719	Mimorovinné deformační vibrace aromatické C-C vazby

Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2006). Handbook of Soil Analysis - Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Berlin Heidelberg New York: Springer

CC BY SA

Hodnocení kvality humusu

- Používá se pro zemědělské účely
- Stupeň polymerace
  - Poměr HK:FK
  - Optické vlastnosti
  - Elektroforetické chování
- Stupeň humifikace
  - Poměr C:N
  - Densitometrická separace
  - Mikromorfologie
  - Frakcionace
- Barevná charakteristika
  - Barevný kvocient – absorbance 400/600 nm alkalického výluhu

CC BY SA

Literatura

- Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9.
- Weber, J.; Soil Humic Substances, teaching material, Agricultural University of Wroclaw [Online 2018 http://karnet.up.wroc.pl/~weber/humic.htm#start]
- Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2006). Handbook of Soil Analysis - Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Berlin Heidelberg New York: Springer
- Web Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd, v.v.i; [Online 2018 www.organickahmota.cz]
- Köchy, M., Hiederer, R., & Freibauer, A. (2015). Global distribution of soil organic carbon–Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. *Soil*, *1*(1), 351-365.
- REJŠEK, K., VÁCHA, R., Nauka o půdě, 2019, Agriprint, Olomouc, ISBN 978-80-87091-82-1
- ŠANTRŮČKOVÁ H., et al., Ekologie půdy, 2018. JČU České Budějovice, ISBN 978-80-7394-695-1

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Fyzikální vlastnosti půdy - zrnitost půdy, půdní struktura, pórovitost půdy

Autor: Marek Martinec

Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

Struktura půdy

- dána stmelením jednotlivých půdních částic do větších agregátů jílovou substancí, organickými látkami, sloučeninami železa apod.
- Na tvorbě půdní struktury se mohou podílet i objemové změny při střídavé vlhkosti.
- U lesních půd (jejich humusové horizonty) – důležitou roli hraje zooedafon – půdní fauna (hlavně její exkrementy).

Charakteristika struktury půdy:

- velikostí, tvarem a uspořádáním částic a agregátů,
- velikostí, tvarem a uspořádáním volných prostorů mezi částicemi a agregáty,
- kombinací charakteru půdních agregátů a prostorů mezi nimi udávající různé typy půdní struktury.

CC BY SA

Struktura půdy

- vyjadřuje prostorové uspořádání půdních částic

Stav uspořádání:

- elementární,
- slitý – půdní škraloup,
- agregátový.

Tvorba struktury:

- agregací,
- desagregací,
- cementací.

CC BY SA

Struktura půdy

- zrnitost (textura)
- půdní organismy
- fyzikální síly (objemové změny, působení mrazu, vlhkosti)
- zpracování půdy
- humusové látky
- koagulace koloidů
- interakce mezi jílovými částicemi a org. hmotou
- hydroxidy
- přítomnost vícemocných kationtů

CC BY SA

Typy struktury dle velikosti

- mikrostruktura

< 0,25 mm

- makrostruktura

0,25 – 0,50 mm

- megastruktura

> 0,50 mm

CC BY SA

Struktura půdy

- Ovlivňuje – propustnost, míru pronikání kořenů, infiltrační a perkolační rychlosti a erodovatelnost půd.

Jednotlivé agregáty, pedy, tvoří několik základních tvarů struktur:

- **Hrudovitá (granulární)** – nepravidelně kulovité agregáty, jejich plošný kontakt s ostatními agregáty je omezen. Drobtová struktura – pórovitá granulární struktura.
- Částice jsou stmelovány působením organických koloidů. Jíly mohou spolu s hydroxidy Fe + Al vytvářet vazby. Multivalenční kationty Ca^{2+}, Mg^{2+} a Al^{3+} jsou schopny vázat se na více než jednu koloidální částici.
- Vnitroagregátové vazby – výsledek činnosti organických sloučenin, vláken mycélií hub, kořenů rostlin a organických polymerů. **Charakter vazeb** závisí na velikosti agregátů:
  - do 5 μm – **základní úroveň** – převažují rezistentní elektrostatické síly.
  - 5-250 μm – **mikroagregátová úroveň** - elektrostatické síly ovlivňuje obsah organického materiálu,
  - > 250 μm – **makroagregátová úroveň** – vazba mezi agregáty závisí na povaze vegetace a vývoji kořenového systému. Tento typ vazby – nejvíce náchylný k porušení.

CC BY SA

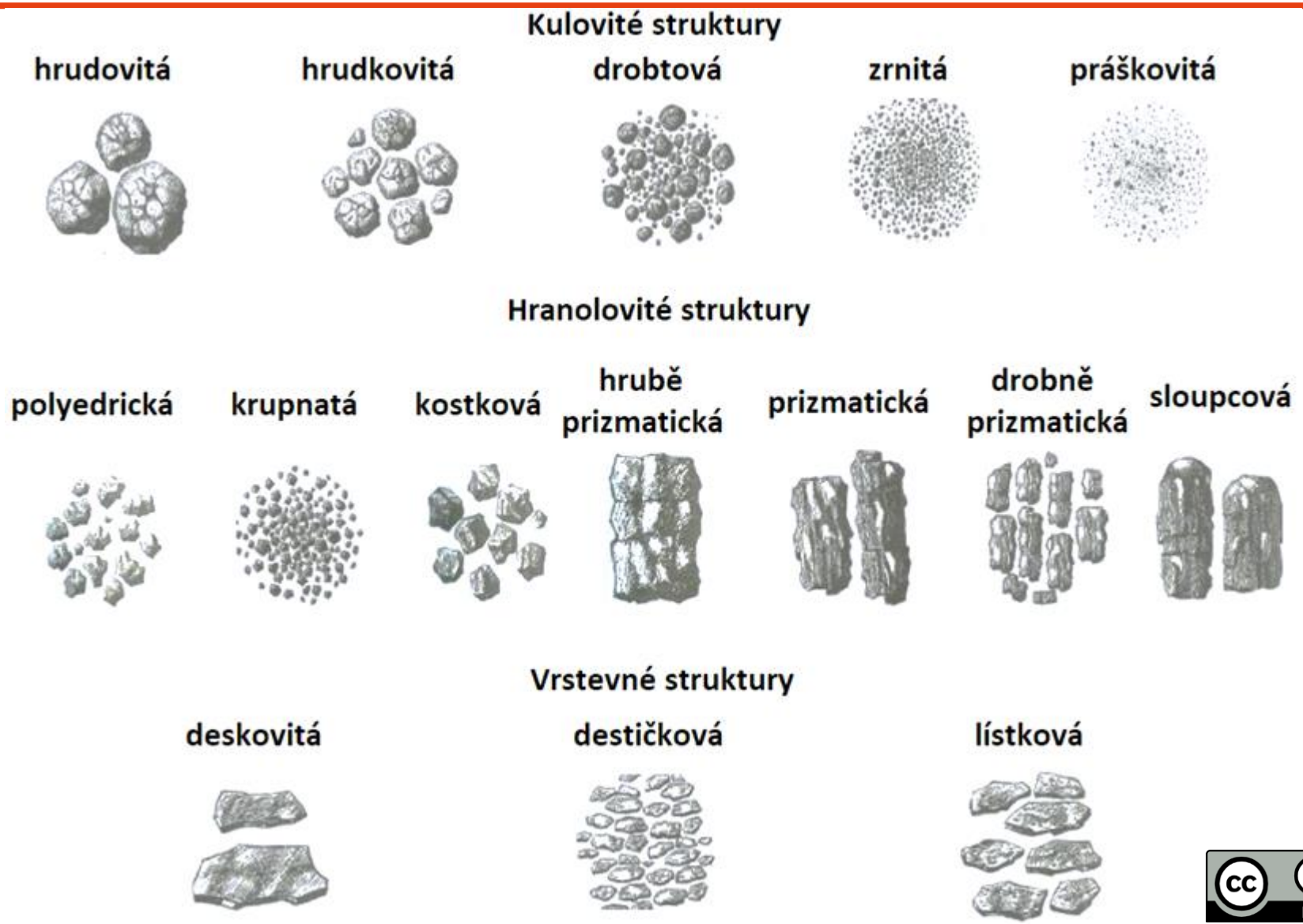
Struktura půdy

- **Kostková** – složena z přibližně stejně velkých bločků majících plošky, kterými se vážou s ploškami ostatních pedů. Podle tvaru rozeznáváme struktury: kostková, kostečková, polyedrická, hrubě polyedrická, drobně polyedrická. Vznik kostkové struktury - plošky jsou nejspíše střihové plošky vzniklé v důsledku měnící se vlhkosti půdy.
- **Prizmatická** – částice uspořádány vertikálně, každý ped je ohraničen planárními ploškami, které jsou v kontaktu s ploškami ostatních pedů. Vrchní ohraničení pedů je ploché. Podle velikosti rozlišujeme struktury: prizmatická, hrubě prizmatická, drobně prizmatická.
- **Sloupcovitá** – liší se od prizmatické struktury zaoblenou horní ploškou pedů, což je způsobeni nabobtnáním v průběhu vlhnutí půdy. Vertikální plošky jsou výslednicí smršťování během schnutí (dehydratace), na nich mohou být malé rýhy nebo ohlazy vzniklé střídáním vlhkých a suchých podmínek.
- **Deskovitá (čočkovitá, lentikulární)** – částice uspořádány v přibližně horizontálním směru. Vznik nejasný, roli zřejmě sehrává orientace částic matečného materiálu nebo proces usazování (např. kompakce).
  K vytvoření této struktury mohou přispět i procesy mrazového tání uvnitř půdního profilu. Dle velikosti rozlišujeme struktury: deskovitá, destičkovitá, lístkovitá.

CC BY SA

Struktura půdy

Zdroj: Ivanov, M.; Melichar, R.: Pedogeologie (Studijní materiály předmětu PřF:G8141). Masarykova univerzita v Brně: Přírodovědecká fakulta, 2007, Dostupné online: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2007/G8141/um/.



CC BY SA

Význam půdní struktury

Pro půdu:

- zadržování vody,
- propustnost pro vodu a vzduch,
- biologická činnost,
- rovnováha mezi rozkladnými a syntetickými procesy.

Pro vegetaci:

- příznivý vodní režim,
- uvolňování živin,
- rozvoj a růst kořenů.

CC BY SA

Zrnitost půdy (textura)

- Jeden z nejvýznamnějších znaků. Je dána zastoupením jednotlivých velikostně rozdílných minerálních částic. Pro půdu má největší význam jejich obsah v tzv. jemnozemi, tj. sumě minerálních částic pod 2 mm v průměru. U vzorků jemnozemě se provádí většina půdních rozborů.
- Trojúhelníkové diagramy – využití pro rychlou texturní klasifikaci půd → srovnání zastoupení písčité, prachovité a jílovité složky (v %).
- Hlinité půdy – tyto půdy mají nejlepší fyzikální a chemické vlastnosti pro zemědělskou kultivaci – umožňují snadný průsak vody a její udržení pro růst rostlin, stejně jako odpovídající množství živin.

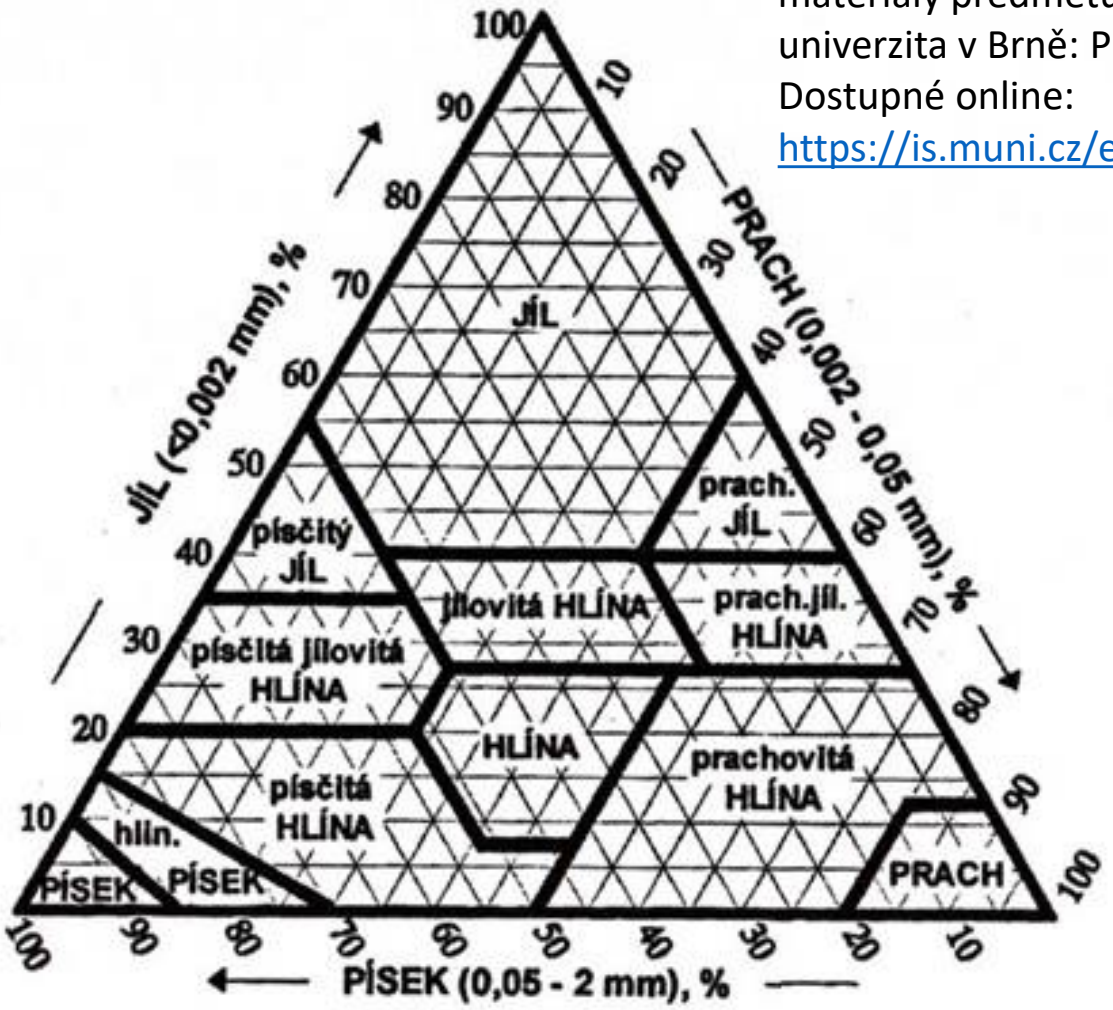
CC BY SA

Zrnitost půdy (textura)

- Hrubě písčité půdy – v létě se rychle ohřívají, umožňují rychlý průsak vody, mají však slabou schopnost vodu zadržet, jsou tedy snadno vyluhovatelné, s nedostatkem živin.
- Jemně písčité a prachovité půdy – vhodné ke kultivaci, avšak náchylné k erozi.
- Jílovité půdy – obsahují dostatečné množství živin, jejich odvodnění je však špatné – půdy jsou za vlhka silně nasáklé vodou, za sucha tvrdé, rozpraskané. Zpevnění snižuje infiltrační rychlosti a zvyšuje povrchový odtok. Velmi těžké jílovité půdy mohou být využity ke kultivaci v případě dodání organické složky a sádry.
- Kamenité půdy – těžko obdělávatelné, náchylné k vysychání, nedostatečné zadržení živin.

CC BY SA

Zrnitost půdy (textura)



Zdroj: Ivanov, M.; Melichar, R.: Pedogeologie (Studijní materiály předmětu PřF:G8141). Masarykova univerzita v Brně: Přírodovědecká fakulta, 2007, Dostupné online: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2007/G8141/um/.

CC BY SA

Zrnitost půdy (textura)

- **Zjišťování textury** - v laboratoři nejdříve odstranění organické složky pomocí H_2O_2, následuje sítování a různé sedimentační techniky pro zjištění jemné frakce. Minerální půdy – dispergace v hexametafosfátu sodném $(NaPO_3)_6$.

CC BY SA

Zrnitost půdy (textura)

Podle obsahu frakce pod 0,01 mm - % v jemnozemi (podle V. Nováka)		
Lehké	písčité	0-10
	hlinitopísčité	10-20
Střední	písčitohlinité	20-30
	hlinité	30-45
Těžké	jílovitohlinité	45-60
	jílovité	60-75
	jílové	nad 75

Podle trojúhelníkového klasifikátoru	
lehké	Písek – P, hlinitý písek – hP
středně lehčí	Písčitá hlína – pH
střední	Hlína – H, prachovitá hlína rH, prach – R
střední těžší	Písčitá jílovitá hlína pjH, jílovitá hlína - jH
	Prachovitá jílovitá hlína – rjH
těžké	Písčitý jíl – pJ, jíl – J, prachovitý jíl – rJ

CC BY SA

Měrná hmotnost půdy (ρ_z)

- Představuje hmotnost 1 m^3 pevné, neporézní zeminy (pevná fáze půdy bez pórů) v tunách ($t.m^{-3}$) v laboratoři ($g.cm^{-3}$).
- Určena především zastoupením křemene, jílů, živců a slíd.
- Průměrná hmotnost našich minerálních půd se pohybuje kolem 2,6-2,7 $t.m^{-3}$ ($g.cm^{-3}$), u organických půd (rašeliny) klesá pod 1,5 $t.m^{-3}$ ($g.cm^{-3}$).

CC BY SA

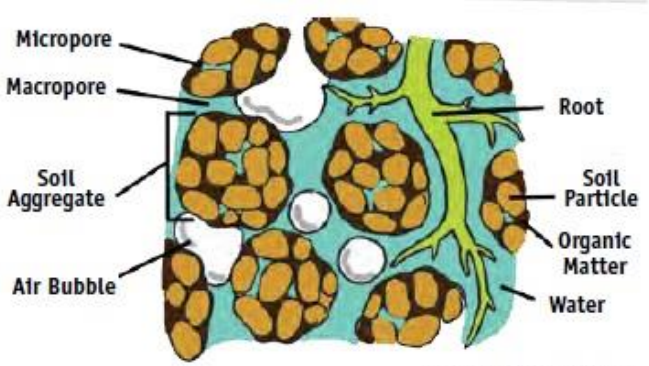
Objemová hmotnost (ρ_d)

- Udává hmotnost 1 m^3 půdy v jeho přirozeném uložení ($t.m^{-3}$) – vysušené půdy.
- Je vždy nižší než měrná hmotnost.
- Závisí na půdních vlastnostech: zrnitosti, struktuře, vlhkosti, pórovitosti.
- Objemová hmotnost minerálních půd kolísá mezi 0,8-1,8 $t.m^{-3}$ ($g.cm^{-3}$), u organických půd většinou mezi 0,2-0,3 $t.m^{-3}$ ($g.cm^{-3}$), rašeliny kolem 0,11 $t.m^{-3}$ ($g.cm^{-3}$).
- Běžné minerální půdy 1,2-1,6 $t.m^{-3}$ ($g.cm^{-3}$).

CC BY SA

Pórovitost (P)

- Vyjadřuje celkové procentuální množství volného prostoru, který není vyplněný pevnými částicemi půdy (celkový objem pórů v neporušené půdě).
- Ovlivněna texturou půdy a ulehlostí půdy.
- Důležité je zastoupení jednotlivých typů pórů podle velikosti, a tedy rozlišujeme:
  - pórovitost nekapilární (PN) průměr pórů > 0,1 mm,
  - pórovitost semikapilární (PS) průměr pórů 0,0002 - 0,01 mm,
  - pórovitost kapilární (PK) průměr pórů < 0,0002 mm.



CC BY SA

Pórovitost (P)

Dána zejména:

- texturou půdy,
- strukturou půdy,
- ulehlostí půdy,
- zhutněním půdy,
- kypřením půdy.

Má vliv na:

- poměr fází půdy,
- pohyb vody a roztoků půdou,
- pohyb plynů v půdě (provzdušnění),
- průběh procesů a reakcí.

CC BY SA

Dělení půdních pórů

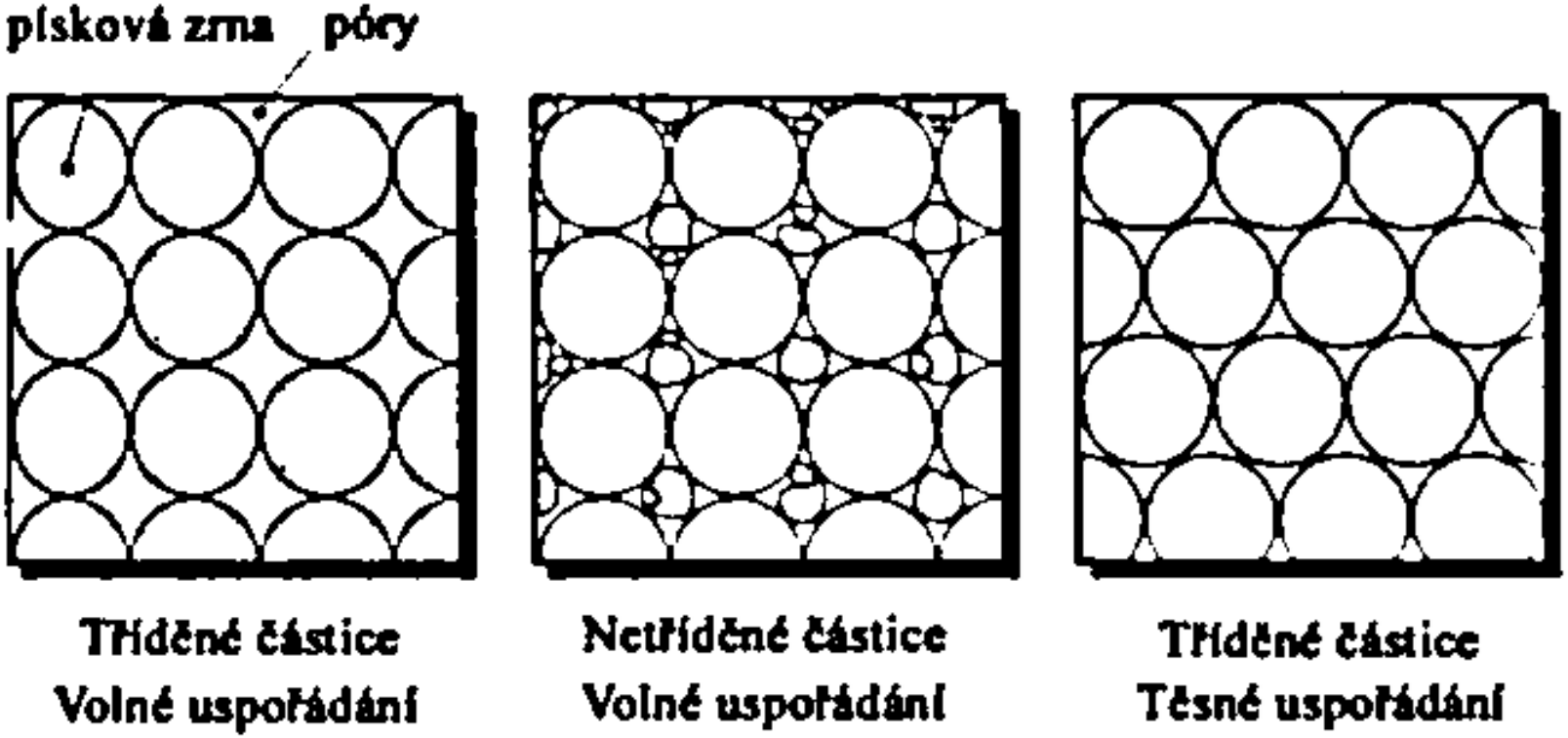
Pórovitost:
- meziagregárová – hrubší póry,
- vnitroagregátová – jemnější póry

Ideální stav:
- celková pórovitost – 40 – 50 %,
- meziagregátová pórovitost – 1/3,
- vnitroagregátová pórovitost – 2/3.

Pórovitost:
- nekapilární – gravitační síly,
- semikapilární – gravitační a kapilární síly,
- kapilární – kapilární síly.

CC BY SA

Vliv uspořádání částic na množství a velikost pórů



Zdroj: Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU, 2005.

CC BY SA

Zhutnění půdy

- přirozené (cca 20 % našich půd)
- technogenní (těžké stroje)

Důsledky:

- snížení pórovitosti a zvýšení objemové hmotnosti,
- omezení činnosti mikroorganismů,
- omezení vývoje kořenů,
- snížení propustnosti pro vzduch a vodu,
- zhoršení obdělávatelnosti.

CC BY SA

Koloidní systém půdy

- Koloid – částice 1 nm až 1 µm

Minerální koloidy v půdě:

- jílové částice,
- primární silikáty,
- polymerní kyselina křemičitá,
- hydratované oxidy (Al, Fe, Mn),
- nerozpustné alumoferrifosfáty.

Organické koloidy:

- lignin,
- bílkoviny,
- polysacharidy,
- humusové látky.

CC BY SA

Koloidy

- Vznik zvětráváním a humifikací, typické velkým měrným povrchem (1 až 100 $m^2.g^{-1}$), jenž je značně aktivní.
- Nejdůležitější vlastností je elektrický náboj povrchu, který ovlivňuje schopnost sorbovat ionty.

Elektrický náboj se objevuje vlivem:

a) iontogenních skupin, např. R-COOH a R-NH_2, s významnou rolí pH prostředí,

b) adsorpce a desorpce iontů v souvislosti s koncentrací vnějšího roztoku,

c) buněčného metabolismu při přenosu elektronů z cytoplazmy k povrchu buněčné stěny.

CC BY SA

Koloidy dle způsobu disociace

Elektronegativní (acidoidy):

- X-H disociují H^+
- mají záporný náboj, adsorbují kationty
- v kyselém prostředí koagulují v alkalickém peptizují
- převládají v půdách

Elektropozitivní (bazoidy):

- X-OH disociují OH^-
- mají kladný náboj, adsorbují anionty
- v kyselém prostředí peptizují v alkalickém koagulují

Amfoterní (amfolytoidy):

- X-O-H disociují H^+ nebo OH^-
- chování podle prostředí

CC BY SA

Koloidy dle vztahu k vodě

Hydrofobní:

- málo stabilní, snadno se srážejí.

Hydrofilní:

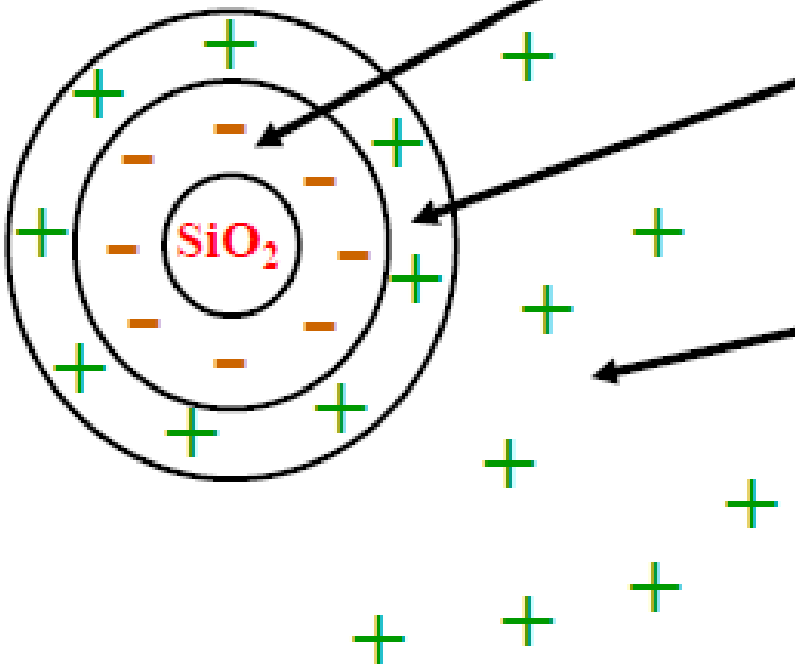
- silně hydratované, stabilnější.

Ochranné koloidy:

- povrchová vrstva koloidních látek měnící přirozený charakter koloidu.

CC BY SA

Koloidní micely – jílové minerály



nabíjecí vrstva
(konstituční, adsorpční)

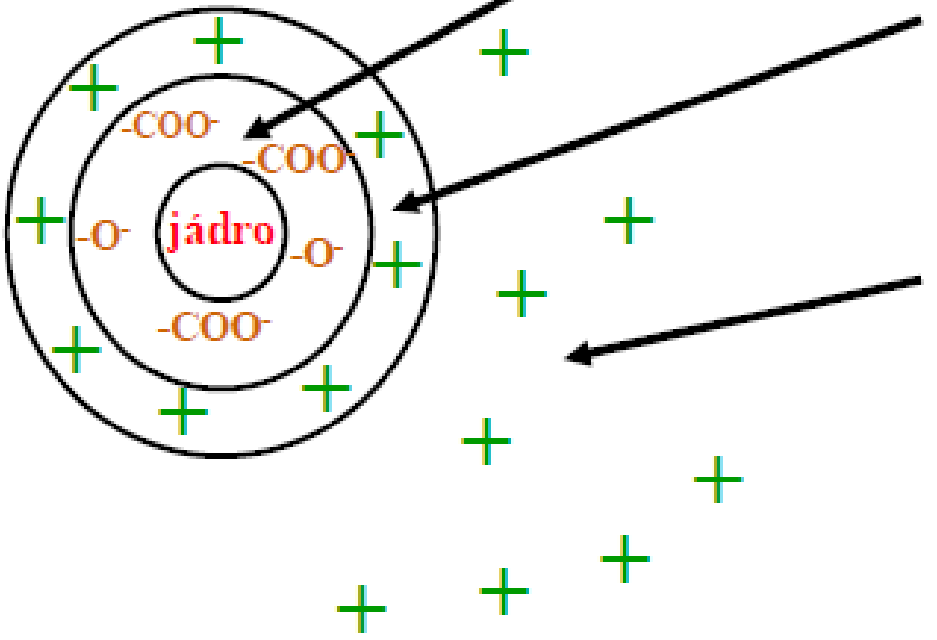
nepohyblivá část
kompenzační vrstvy

difusní část
kompenzační vrstvy

Zdroj:
Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU, 2005.

CC BY SA

Koloidní micely – humusové látky



nabíjecí vrstva
(konstituční, adsorpční)

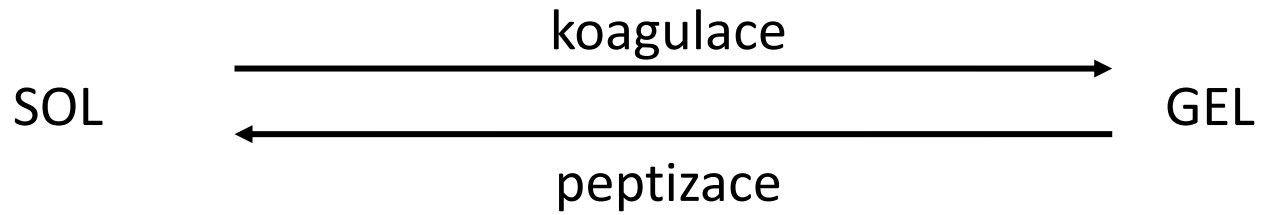
nepohyblivá část
kompenzační vrstvy

difusní část
kompenzační vrstvy

Zdroj:
Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU, 2005.

cc BY SA

Stabilita koloidních systémů



- Sol - koloidní suspenze, ve které jsou homogenně dispergované pevné částice s koloidními rozměry (1 - 1000 nm)
- Gel - koloidní systém charakteru pevné fáze, v které dispergovaná pevná fáze tvoří souvislou 3-rozměrnou síť
- koloidní systém je stabilní ve stavu sol či koloidní roztok
- (stabilní koloidní systém → nestabilní půdní struktura)

Stabilitu koloidů zvyšuje:

- jednomocné kationty (Na^+, K^+),
- nízká koncentrace půdního roztoku.

Stabilitu koloidů narušují:

- vícemocné kationty (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{3+}, …),
- vysoká koncentrace půdního roztoku.

CC BY SA

Význam koloidů v půdě

- fyzikální vlastnosti půdy – struktura, soudržnost
- vzlínání vody – elektrokapilarita
- chemické vlastnosti půdy – sorpce a reakce
- půdotvorné procesy – transport látek

Využití koloidních vlastností:

- zlepšení půdní struktury,
- remediace půdy,
- výživa rostlin.

CC BY SA

Tepelné poměry v půdě

- nepřetržitá změna v místě i v čase

Významné pro:

- průběh chemických reakcí,
- biologické procesy,
- výměnu hmoty a energie mezi půdou a atmosférou,
- rychlost a směr fyzikálních procesů.

CC BY SA

Teplotní bilance

- výsledek příjmů a ztrát tepla

- perioda den-noc
- změny v průběhu roku (roční období)

- v průběhu roku dochází k vyrovnání rozdílů
- výsledná bilance je nulová

CC BY SA

Zdroje tepelné energie půdy

- přímé záření ze Slunce
- rozptýlené záření oblohy

- přeměna krátkovlnného záření v atmosféře na dlouhovlnné

- uvolněné teplo – rosa, jinovatka

CC BY SA

Výdej tepelné energie

- dlouhovlnné vyzařování Země
- evapotranspirace
- turbulentní tepelná výměna s přízemní vrstvou atmosféry
- odvod tepla do hlubších vrstev

CC BY SA

Tepelné poměry v půdě

Vnější faktory:

- intenzita dopadajícího záření – úhel dopadu, nadmoř. výška, obsah vodních par,
- adsorpční schopnosti povrchu – barva.

Vnitřní faktory:

- tepelná kapacita,
- tepelná vodivost,
- teplotní vodivost.

CC BY SA

Tepelná kapacita půdy - C

- Změna v obsahu tepla jednotkového objemu půdy při jednotkové změně teploty ($J.K^{-1}.m^{-3}$).

- Tepelná kapacita půdy – suma tepelných kapacit jednotlivých fází.

$$C = f_s C_s + f_a C_a + f_w C_w$$

f – objemový zlomek dané složky

V praxi:

- $C = 2{,}0m + 2{,}5o + 4{,}2w$

m – obsah minerální složky

o – obsah organické složky

w – obsah kapalné fáze

CC BY SA

Tepelná kapacita půdy - C

- voda: 4,2 $MJ.K^{-1}.m^{-3}$
- vzduch: 0,00125 $MJ.K^{-1}.m^{-3}$
- křemen a ostatní minerály: 2,0 $MJ.K^{-1}.m^{-3}$
- organická hmota: 2,5 $MJ.K^{-1}.m^{-3}$

CC BY SA

Tepelná vodivost půdy

- přenos tepla v půdě

Závislá na:

- minerálním složení,
- vlhkosti,
- struktuře,
- zrnitosti,
- obsahu humusu.

CC BY SA

Tepelná vodivost půdy

- jednotky: $W.m^{-1}.K^{-1} = J.s^{-1}.m^{-1}.K^{-1}$
- voda: 0,42 $W.m^{-1}.K^{-1}$
- vzduch: 0,02 $W.m^{-1}.K^{-1}$
- křemen: 4.9 $W.m^{-1}.K^{-1}$
- organická hmota: 0,35 $W.m^{-1}.K^{-1}$
- písek: 1,3 $W.m^{-1}.K^{-1}$
- hlína: 0,38 $W.m^{-1}.K^{-1}$
- jíl: 0,34 $W.m^{-1}.K^{-1}$

CC BY SA

Teplotní vodivost půdy

- Rychlost s níž probíhají změny teploty v půdě.
- Určuje hloubku, do které pronikne změna teploty.
- Dána poměrem tepelné vodivosti a tepelné kapacity.

CC BY SA

Záhřevnost půdy

- ovlivněna tepelnými vlastnostmi půdy

Závisí na:

- vlhkosti – snižuje záhřevnost
- Suchá půda – rychlé prohřátí
- Mokré půdy – nejnižší záhřevnost
- druhu půdy
- Písčité – záhřevnější
- Jílovité – studené
- Rašelinové - studené
- půdním typu

CC BY SA

Teplotní výkyvy v půdě

Hloubka teplotních výkyvů:

- Denní: 0,4-1 m max do 2 m,
- měsíční: 5 m,
- roční: 15-30 m.

Důsledek:

- rozvoj vegetace na jaře,
- otužování rostlin na podzim.
- Hlouběji teplota roste. Rychlost jejího růstu v jednotlivých oblastech vyjadřuje geotermický stupeň.
- Geotermický stupeň udává počet metrů do hloubky, kdy dojde ke zvýšení teploty o 1° C. V Evropě je průměrná hodnota geotermického stupně 33 m/° C (Teplota hornin vzroste o 1° C každých 33 m do hloubky).

CC BY SA

Zdroje

- Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9.
- Ivanov, M.; Melichar, R.: Pedogeologie (Studijní materiály předmětu PřF:G8141). Masarykova univerzita v Brně: Přírodovědecká fakulta, 2007, Dostupné online: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2007/G8141/um/.

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Chemie geosféry
B240008

Fyzikálně - chemické procesy v půdě I

Autor: Radek Škarohlíd/Jiří Kroužek
Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

Fyzikálně - chemické procesy v půdě I

- Chemická rovnováha
- Chemická kinetika
- Půdní roztok

CC BY SA

Chemické rovnováhy – výchozí úvahy

- Jednotlivé chemické složky existují v různých formách výskytu → ve většině případů je analytické stanovení jednotlivých specií komplikované → výpočet ze zákonů chemické termodynamiky.
- Pro řešení otevřených systémů je nutné řešit sadu diferenciálních rovnic, pro které často chybí potřebné údaje kinetických konstant → aproximace skutečného ustáleného stavu rovnovážným stavem systému uzavřeného.
- Za předpokladu, že většina chemických reakcí podílejících se na rovnovážném stavu probíhá rychle v porovnání s dobou zdržení v systému je **rovnovážný model** významnou aproximací pro určení distribuce složek v dynamickém systému.

CC BY SA

Chemické rovnováhy – termodynamika I

- Předpoklad konstantního tlaku → aplikujeme:
  - změnu reakční entalpie ΔH,
  - změnu standardní reakční entalpie ΔH°.

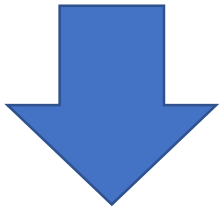
- Reakční entalpie (reakční teplo): teplo, které vymění s okolím systém, v němž probíhá chemická reakce.
  - kladná hodnota – systém přijímá teplo z okolí → endotermická reakce
  - záporná hodnota – systém odevzdává teplo do okolí → exotermická reakce

- Standardní reakční entalpie (stand. reakční teplo): změna entalpie provázející reakci při standardním tlaku 101,325 kPa a teplotě 298,15 K, jestliže jsou výchozí a konečné látky ve svých standardních stavech

CC BY SA

Chemické rovnováhy – termodynamika II

- Slučovací teplo: změna entalpie při tvorbě sloučeniny z prvků.
- Entalpie prvků ve standardních stavech se při všech teplotách pokládá dle konvence za rovnou nule → entalpie sloučenin je rovna jejich slučovacímu teplu.
- Standardní slučovací teplo $(\Delta H°)_{sl}$: slučovací teplo za standardních podmínek. Změna entalpie při vzniku 1 molu sloučeniny z prvků za standardních podmínek.



- Standardní reakční entalpii lze vypočítat jako rozdíl standardních slučovacích tepel produktů a výchozích látek.

CC BY SA

Chemické rovnováhy – termodynamika III

- Kirchhoffova rovnice: závislost reakční entalpie na teplotě, kde ΔC_p je rozdíl mezi úhrnnou tepelnou kapacitou vznikajících produktů a úhrnnou tepelnou kapacitou výchozích látek

$$\frac{d(\Delta H)}{dT} = \Delta C_p$$

- Gibbsova energie:
  - změna Gibbsovy energie ΔG
  - změna standardní Gibbsovy energie ΔG°

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

CC BY SA

Chemické rovnováhy – termodynamika IV

- Změna standardní reakční Gibbsovy energie je změna Gibbsovy energie při průběhu reakce za vzniku 1 molu dané látky ve standardním stavu. Změna standardní reakční Gibbsovy energie je dána součtem standardních slučovacích Gibbsových energií $(\Delta G°)_{sl}$ reakčních zplodin zmenšených o $(\Delta G°)_{sl}$ výchozích látek.
- Není-li známo $\Delta G°$ či $\Delta H°$ dané reakce → výpočet z dílčích simultánních reakcí, jejichž součet poskytuje žádanou reakci.

CC BY SA

Rovnovážná konstanta I

- Za konst. tlaku je Gibbsova energie kritériem pro směr reakcí probíhajících v uzavřených systémech.

$$\Delta G = \Delta G^\circ + 2{,}303.RT.\log Q$$

- Reakční kvocient Q je roven podílu součinu aktivit reakčních produktů umocněných na stechiometrické koeficienty a součinu aktivit výchozích látek umocněných na stechiometrické koeficienty.
- Znaménku u ΔG ukazuje, kterým směrem se reakce blíží k rovnováze:
  - $\Delta G<0$ → reakce probíhá zleva doprava
  - $\Delta G>0$ → reakce probíhá zprava doleva

CC BY SA

Rovnovážná konstanta II

- Je-li ΔG°=0 → reakční soustava je v rovnováze a reakční kvocient je totožný s rovnovážnou konstantou K.

$$-\Delta G^\circ = 2{,}303.RT.\log K$$

$$aA + bB \leftrightarrow cC + dD \qquad K = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

- Index chemické nerovnováhy I_s: v hydrogeochemii také jako kritérium spontánnosti chemických přeměn – stejný význam jako ΔG včetně znaménkové konvence

$$\frac{\Delta G}{2{,}303.RT} = \log \frac{Q}{K} = I_s$$

CC BY SA

Aktivita, aktivitní koeficienty

- Již v roztocích o koncentraci 1 mmol/l se mohou u iontů s nábojovým číslem ±2 a více projevovat rozdíly mezi aktivitami a látkovými koncentracemi.
- Aktivita iontu i lze vyjádřit jako součin látkové koncentrace *c(i)* a aktivitního koeficientu *γ(i).*

$$a(i)=c(i).\gamma(i)$$

- Aktivita jednotlivých iontů je přímo neměřitelná, experimentálně lze stanovit pouze střední aktivitu elektrolytu → střední aktivitní koeficient γ± → geometrický průměr aktivitních koeficientů jednotlivých iontů.

CC BY SA

Iontová síla

- Definována jako poloviční součet součinů látkových koncentrací c a čtverců nábojových čísel z^2 všech iontů přítomných v roztoku.

$$I=0,5 \sum cz^2$$

Typické hodnoty:

- povrchové a prosté podzemní vody – 0,002 až 0,02 mol/l minerální vody – 0,02 až 0,2 mol/l
- mořská voda - 0,6 až 0,7 mol/l

- Pro určení iontové síly je zapotřebí znát celkové složení vody → určování z empirických vzorců, např. z konduktivity

$$I = 1,6.10^{-4}\kappa$$

CC BY SA

Debye-Huckelův vztah

- Pro roztoky s I<0,2 mol/l, za předpokladu úplné disociace a odchylky od ideálního stavu způsobené převážně elektrostatickými interakcemi, lze hodnoty aktivitních koeficientů vypočítat z Debyeovy a Huckelovy teorie:

$$-log\,\gamma_i = \frac{A.z_i^2.\sqrt{I}}{1 + B.a_{.0}.\sqrt{I}}$$

- A a B jsou konstanty závislé na teplotě, relativní permitivitě a hustotě prostředí a a_0 je efektivní průměr hydratovaného iontu (v Å).
- Pro vyšší iontové síly se používá různých modifikací výše uvedeného vztahu.

CC BY SA

Debye-Huckelův vztah

I / mol l^{-1}	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
H^+	0,967	0,933	0,91	0,88	0,86	0,83
K^+, NH_4^+, NO_3^-, Cl^-	0,964	0,925	0,89	0,85	0,805	0,755
OH^-, F^-, HS^-	0,964	0,926	0,90	0,86	0,81	0,76
Na^+, HCO_3^-	0,964	0,928	0,90	0,86	0,82	0,755
SO_4^{2-}, CO_3^{2-}	0,868	0,741	0,665	0,55	0,45	0,36
Ca^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}	0,87	0,75	0,67	0,57	0,485	0,405
Mg^{2+}	0,872	0,755	0,69	0,60	0,52	0,45
PO_4^{3-}	0,725	0,505	0,39	0,25	0,16	0,095
Al^{3+}, Fe^{3+}	0,738	0,54	0,445	0,325	0,245	0,18

Pitter, P. (1999). Hydrochemie, Vydavatelství VŠCHT.

$\hat{a}/(10^{-10}\mathrm{m})$	Ion
2.5	Rb^+, Cs^+, NH_4^+, Tl^+, Ag^+
3.0	K^+, Cl^-, Br^-, I^-, NO_3^-
3.5	OH^-, F^-, HS^-, BrO_3^-, IO_4^-, MnO_4^-
4.0–4.5	Na^+, HCO_3^-, $H_2PO_4^-$, HSO_3^-, Hg_2^{2+}, SO_4^{2-}, SeO_4^{2-}, CrO_4^{2-}, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}
4.5	Pb^{2+}, CO_3^{2-}, SO_3^{2-}, MoO_4^{2-}
5.0	Sr^{2+}, Ba^{2+}, Ra^{2+}, Cd^{2+}, Hg^{2+}, S^{2-}, WO_4^{2-}
6	Li^+, Ca^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Sn^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}
8	Mg^{2+}, Be^{2+}
9	H^+, Al^{3+}, Cr^{3+}, trivalent rare earths
11	Th^{4+}, Zr^{4+}, Ce^{4+}, Sn^{4+}

Appelo, C.A.J, Postma, D.: Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2005, A.A. Balkema Publishers, 2nd Edition, ISBN: 04-1536-421-3

CC BY SA

Debye-Huckelův vztah

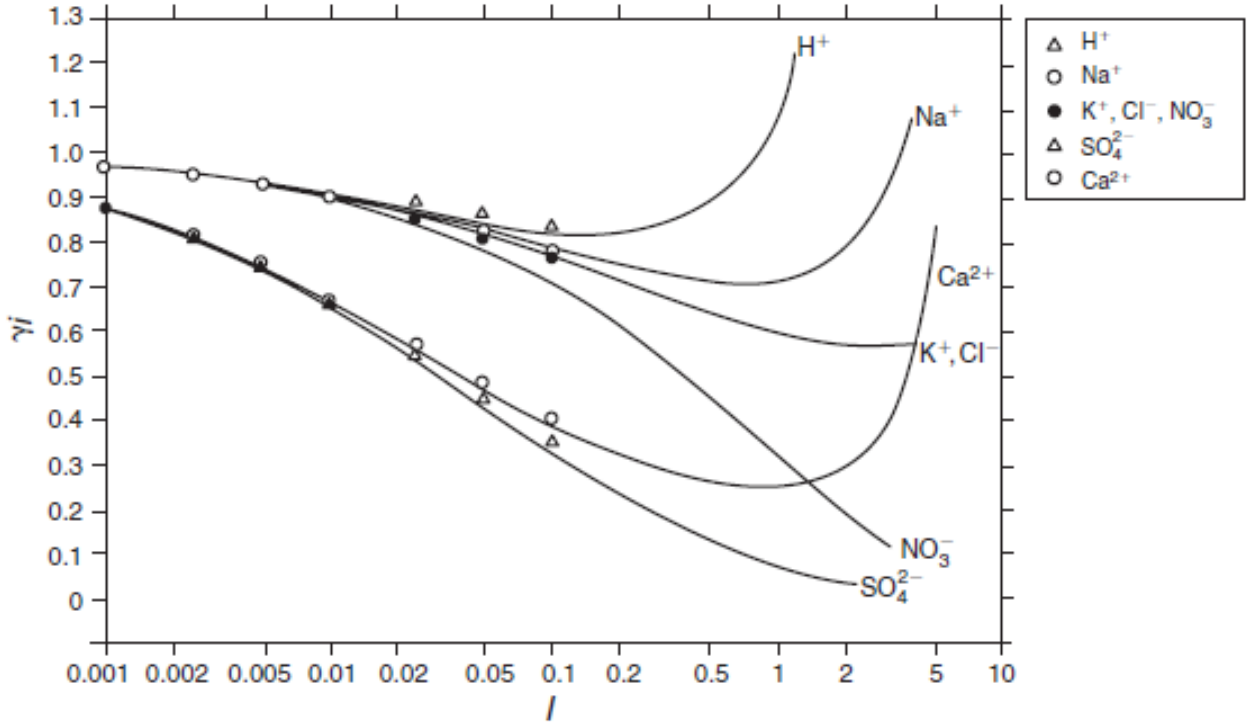


Figure 4.2. Activity coefficients for some common ions as a function of ionic strength. Symbols represent calculations with the Debye-Hückel Equation (4.12). Lines correspond to the Truesdell and Jones Equation (4.13). From Garrels and Christ (1965).

Copyright © 2005 C.A.J. Appelo & D. Postma, Amsterdam, the Netherlands

Appelo, C.A.J, Postma, D.: Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2005, A.A. Balkema Publishers, 2nd Edition, ISBN: 04-1536-421-3

CC BY SA

Neelektrolyty v půdním roztoku

- Chování většiny neelektrolytů ve vodném roztoku je ideální až do koncentrace cca 1 mol/l.

$$log\,\gamma_i = k.I$$

- *k* je experimentálně stanovená konstanta vystihující vysolovací efekt.
- Vysolovací efekt se však projevuje až při značně vysokých hodnotách iontové síly, proto volíme aktivitní koeficient roven jedné.
- Aktivita tuhých látek a aktivita vody je považována za jednotkovou.

CC BY SA

Závislost rovnovážné konstanty na teplotě

- Závislost je dána van´t Hoffovou rovnicí:

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H°}{RT^2}$$



$$ln \frac{K_{T1}}{K_{T2}} = \frac{\Delta H°}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

- Entalpie je funkcí teploty ale pro nepříliš široké rozmezí teplot ji lze pokládat za konstantní.

cc BY SA

Chemická rovnováha v půdě

- Význam:
  - chemická speciace
  - mobilita a přijatelnost
  - průběh chemických reakcí
  - rozdělení prvků mezi jednotlivé fáze půdy
- Hlavní faktory:
  - složení a charakter pevné fáze půdy
    - minerální podíl
    - organická hmota
  - složení půdního roztoku
  - pH půdy
  - redox potenciál

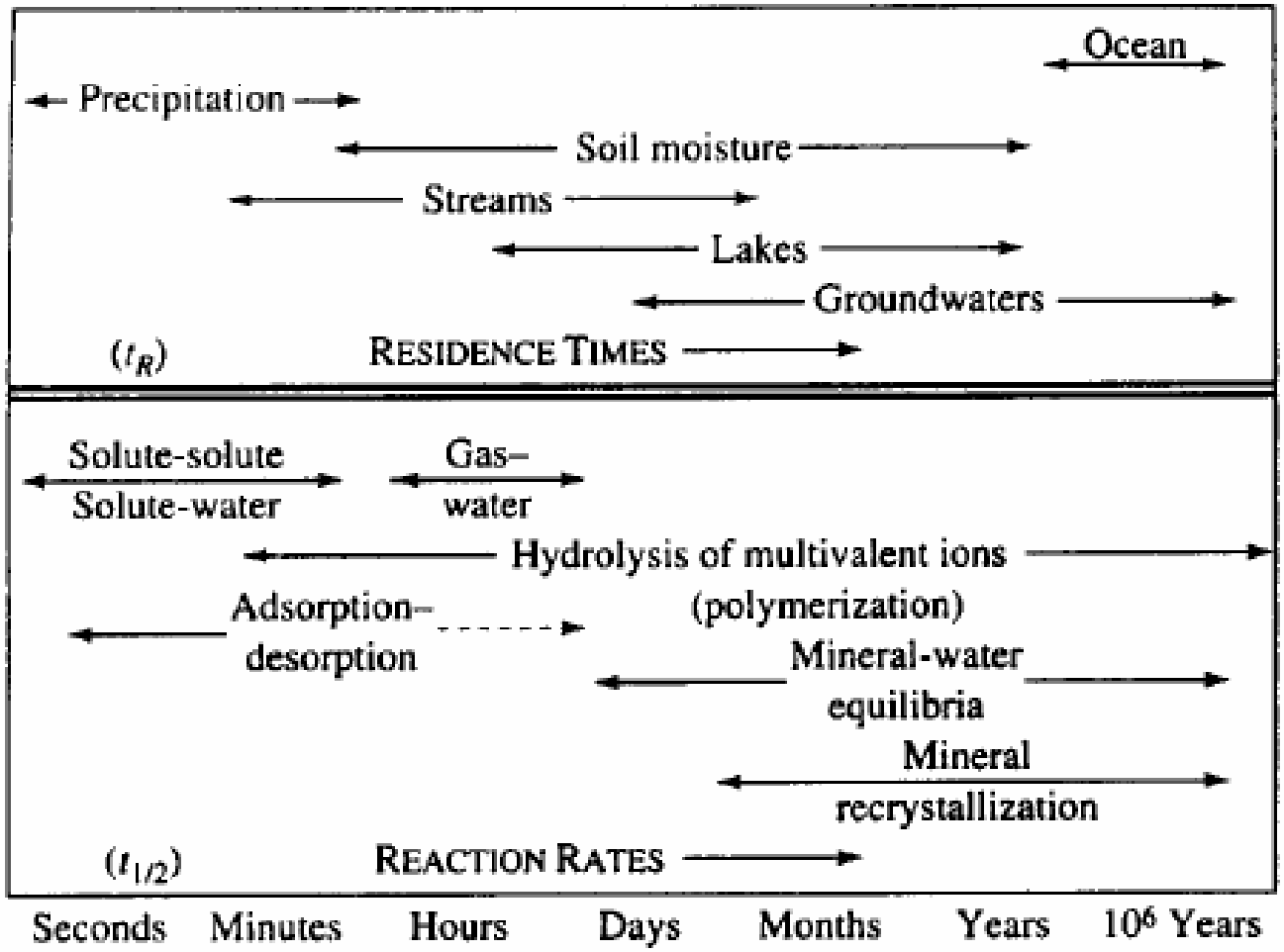
CC BY SA

Chemická rovnováha v půdě - komplexita

- Komplexita:
  - interakce mezi fázemi půdy
  - půdní roztok je složitá směs látek
  - souběžně probíhají různé procesy
  - různé kombinace sloučenin
  - vliv půdní organické hmoty
  - transport látek
  - organismy

CC BY SA

Kinetický vs rovnovážný přístup



Jestliže $t_r >> t_{1/2}$ je čas na ustanovení rovnováhy, obráceně naopak, soustavu popisujeme pomocí rychlostí

CC BY SA

Kinetika v geochemii – nerovnovážné procesy

- Rychlostní rovnice v obecném tvaru:

$$r = k(T).f(c_{A,}c_{B,}\ldots)$$

- r je reakční rychlost (rychlost reakce), která je stejná pro veškeré složky a závisí na způsobu zápisu chemické reakce, k(T) je rychlostní konstanta.
- Vztah reakční rychlosti a rychlosti úbytku (vzniku) r_i:

$$r_i = v_i.r$$

- v_i je stechiometrický koeficient v zápisu se znaménkovou konvencí, pro r_i platí, že nezávisí na stechiometrickém zápisu a závisí na volbě složky.

CC BY SA

Teplotní závislost rychlostní konstanty

$$ln\frac{k_2}{k_1} = \frac{E^*}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

- E* je aktivační energie.
- Rychlostní konstanta elementárních reakcí s teplotou vždy stoupá.
- pro reakce s poločasem reakce v řádech minut až hodin platí, že zvýšení teploty o 10° způsobí zvýšení reakční rychlosti dvakrát až čtyřikrát.

CC BY SA

Rychlostní konstanta – koncentrační závislost; řád reakce

$$r = k.c_A^{\alpha}.c_B^{\beta} \ldots.$$

- c_A a c_B jsou okamžité koncentrace.
- Exponenty α, β jsou řády reakce k jednotlivým složkám, obecně nejsou tyto exponenty totožné se stechiometrickými koeficienty.
- Celkový řád reakce: n = α + β… → součet dílčích reakčních řádů
- Řád reakce vyplývá z empiricky nalezené rychlostní rovnice → nabývá nejrůznějších hodnot.

CC BY SA

Poločas

- Doba, za kterou klesne koncentrace výchozí látky na polovinu.
- V případě více výchozích látek:
  - jsou-li ve stechiometrickém poměru – poločas nezáleží na volbě výchozí složky,
  - nejsou-li ve stechiometrickém poměru – poločas se zpravidla vztahuje ke klíčové složce, tj. k látce, která nejdříve zreaguje

CC BY SA

Chemická kinetika - přehled

	Typ reakce	Diferenciální rovnice	Integrální rovnice	Poločas
0.řád	$\nu_A\,A \rightarrow produkty$	$-\frac{dc_A}{d\tau} = \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c$	$c_A = c_{A0} - \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c \cdot \tau$	$\tau_{1/2} = \frac{c_{A0}}{2\lvert\nu_A\rvert k_c}$
1.řád	$\nu_A\,A \rightarrow produkty$	$-\frac{dc_A}{d\tau} = \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c \cdot c_A$	$\ln\frac{c_A}{c_{A0}} = -\lvert\nu_A\rvert \cdot k_c \cdot \tau$	$\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lvert\nu_A\rvert k}$
2.řád	$\nu_A\,A \rightarrow produkty$ $\nu_A\,A + \nu_A\,B \rightarrow produkty$ $\alpha = \beta = 1,\ c_{A0} = c_{B0}$	$-\frac{dc_A}{d\tau} = \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c \cdot c_A^2$	$\frac{1}{c_A} - \frac{1}{c_{A0}} = \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c \cdot \tau$	$\tau_{1/2} = \frac{1}{c_{A0} \cdot \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c}$
	$\nu_A\,A + \nu_B\,B \rightarrow produkty$ $\alpha = \beta = 1,$ $\frac{c_{A0}}{\lvert\nu_A\rvert} = \frac{c_{B0}}{\lvert\nu_B\rvert}$	$-\frac{dc_A}{d\tau} = \lvert\nu_B\rvert \cdot k_c \cdot c_A^2$ $-\frac{dc_B}{d\tau} = \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c \cdot c_B^2$	$\frac{1}{c_A} - \frac{1}{c_{A0}} = \lvert\nu_B\rvert k_c \cdot \tau$ $\frac{1}{c_B} - \frac{1}{c_{B0}} = \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c \cdot \tau$	$\tau_{1/2} = \frac{1}{c_{A0} \cdot \lvert\nu_B\rvert \cdot k_c} = \frac{1}{c_{B0} \cdot \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c}$
	$\nu_A\,A + \nu_B\,B \rightarrow produkty$ $\alpha = \beta = 1,$ $\frac{c_{A0}}{\lvert\nu_A\rvert} \neq \frac{c_{B0}}{\lvert\nu_B\rvert}$	$-\frac{dc_A}{d\tau} = \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c \cdot c_A \cdot c_B$ $-\frac{dc_B}{d\tau} = \lvert\nu_B\rvert \cdot k_c \cdot c_A \cdot c_B$	$\ln\frac{c_{B0} \cdot c_A}{c_{A0} \cdot c_B} = k_c \cdot (\lvert\nu_B\rvert c_{A0} - \lvert\nu_A\rvert c_{B0}) \cdot \tau$	$\tau_{1/2} = \frac{\ln\left(2 - \frac{\lvert\nu_A\rvert c_{B0}}{\lvert\nu_B\rvert c_{A0}}\right)}{k_c \cdot (\lvert\nu_B\rvert c_{A0} - \lvert\nu_A\rvert c_{B0})}$
3.řád	$\nu_A\,A \rightarrow produkty$	$-\frac{dc_A}{d\tau} = \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c \cdot c_A^3$	$\frac{1}{c_A^2} - \frac{1}{c_{A0}^2} = \lvert\nu_A\rvert \cdot 2 \cdot k_c \cdot \tau$	$\tau_{1/2} = \frac{3}{2\lvert\nu_A\rvert k_c \cdot c_{A0}^2}$
řád *n*	$\nu_A\,A \rightarrow produkty$	$-\frac{dc_A}{d\tau} = \lvert\nu_A\rvert \cdot k_c \cdot c_A^n$	$c_A^{1-n} - c_{A0}^{1-n} = \lvert\nu_A\rvert \cdot (n-1) \cdot k_c \cdot \tau$	$\tau_{1/2} = \left[\frac{2^{n-1} - 1}{\lvert\nu_A\rvert (n-1) \cdot k_c}\right] \cdot c_{A0}^{1-n}$

Bartovská, L. Chemická kinetika, VŠCHT

CC BY SA

Půdní roztok

- Jedná se o volnou kapalnou fázi půdy
  - otevřený systém
  - velmi proměnlivé složení
- Složení:
  - rozpuštěné soli
    - Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, NH_4^{+}
    - HCO_3^{-}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, NO_3^{-}
  - DOM
  - rozpustné komplexy, cheláty
  - koloidní částice
  - rozpuštěné plyny

CC BY SA

Půdní roztok - anorganické látky - střední hodnoty

Kategorie	Hlavní složky (10^{-4}-10^{-2} mol/l)	Vedlejší složky (10^{-6}-10^{-4} mol/l)	Ostatní (<10^{-6} mol/l)
Kationty	Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}	Fe^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}, NH_4^{+}, Al^{3+}	Cr^{3+}, Ni^{2+}, Cd^{2+}, Pb^{2+}
Anionty	HCO_3^{-}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, NO_3^{-}	$H_2PO_4^{-}$, F^{-}, HS^{-}	CrO_4^{2-}, $HMoO_4^{+}$
Neutrální	$Si(OH)_4^{0}$	$B(OH)_3^{0}$	

Borůvka, L. (2005). Pedogeochemie. Praha, ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie.

CC BY SA

Půdní roztok - organické látky - střední hodnoty

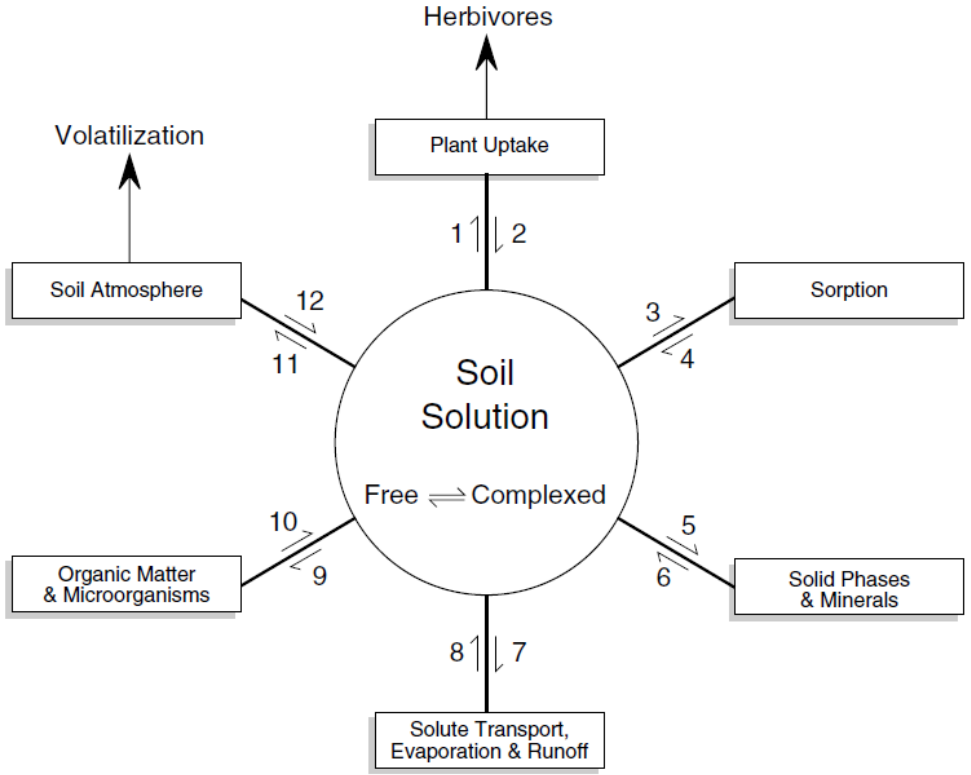
Zdroj	Hlavní složky (10^{-5}-10^{-3} mol/l)	Vedlejší složky (<10^{-5} mol/l)
Přírodní	Karboxylové kyseliny, aminokyseliny, jednoduché cukry	Uhlovodíky, fenoly, proteiny, alkoholy, sulfhydryly
Antropogenní		Herbicidy, fungicidy, insekticidy, PCB, PAH, ropné uhlovodíky, rozpouštědla, surfaktanty

Borůvka, L. (2005). Pedogeochemie. Praha, ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie.

CC BY SA

Faktory složení půdního roztoku

- Vlhkost půdy
- Zdroje
  - přirozené
  - antropogenní
- pH půdy
- rozpouštění/precipitace
- sorpce/desorpce
- vymývání/vzlínání
- podzemní a povrch. odtok
- příjem a vylučování rostlinami
- biologická aktivita
- výpar/kondenzace



CC BY SA

Význam půdního roztoku

- Pohyb látek
- Průběh chemických reakcí
- Přístupnost látek pro organismy
  - živiny
  - vzduch
- Prostředí pro organismy
- Půdotvorné procesy

CC BY SA

Literatura

- Borůvka, L. (2005). Pedogeochemie. Praha, ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie.
- Pitter, P. (1999). Hydrochemie, Vydavatelství VŠCHT.
- Bartovská, L. Chemická kinetika, VŠCHT – interní materiály

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Chemie geosféry
B240008

Fyzikálně - chemické procesy v půdě II

Autor: Jiří Kroužek

Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

Fyzikálně - chemické procesy v půdě II

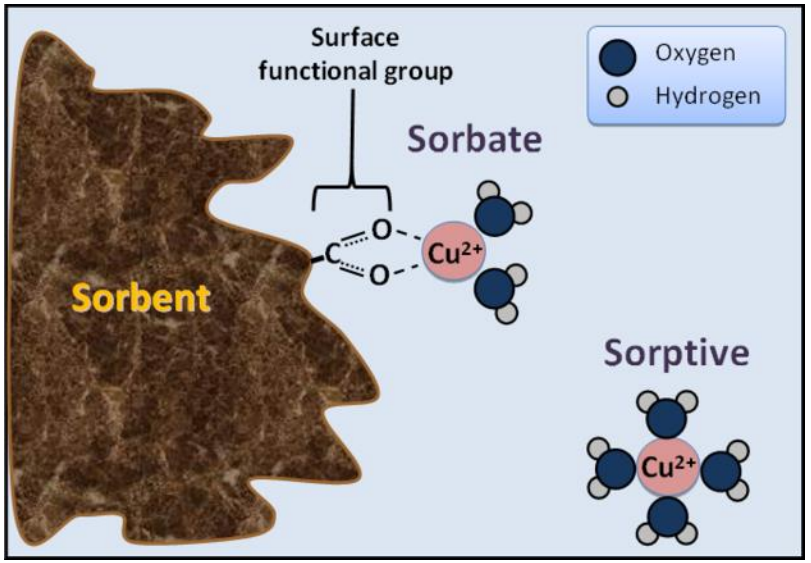
- Význam a základní aspekty půdní sorpce
- Mechanismy adsorpce
- Adsorpční izotermy
- Rovnováha, rozdělovací koeficienty
- Půdní sorpční komplex
- Kationtová výměna
- Adsorpce kontaminantů
- REDOX procesy v půdě

CC BY SA

Půdní sorpce – základní pojmy

- Jde o schopnost půdy poutat (sorbovat) ionty nebo celé molekuly různých sloučenin z půdního roztoku na povrchu pevné fáze půdy.
- půda je polyfunkční sorbent

sorbent	půdní částice
sorbát	sorbovaná látka
solvent	půdní roztok



- **desorpce** - inverzní proces - uvolňování iontů nebo molekul z pevné fáze půdy do roztoku
- **adsorpce** - sorbát poután na vnější či vnitřní povrch sorbentu
- **absorpce** - sorbát vniká dovnitř sorbentu

https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/introduction-to-the-sorption-of-chemical-constituents-94841002

CC BY SA

Půdní sorpce - význam

- vytváří rezervoár dostupných živin pro rostliny a umožňuje postupný příjem živin během vegetace
- ovlivňuje pohyb iontů a molekul v půdách
- zabraňuje vyplavování látek (živin) z půd
- omezuje nežádoucí zvýšení koncentrace solí v půdním roztoku
- kontaminace půd (těžké kovy, organické látky), sorpční schopnost zemin je stěžejní při návrhu sanace

- V půdách dochází k sorpci současně s biotickými a abiotickými transformačními reakcemi v otevřeném hydrodynamickém systému!

CC BY SA

Půdní sorpce

Půdní složky s hlavním podílem na půdní sorpci:

- organické koloidní sloučeniny – humus
- jílové minerály
- koloidní sloučeniny Al, Fe a kyseliny křemičité

Sorpční procesy – uplatňují se různé dle stupně nasycenosti pórů vodou:

- sorpce na minerální povrch
- rozdělení v půdní organické hmotě
- kondenzace par v půdních mezopórech
- rozpuštění v adsorbované vodě na povrchu částic
- adsorpce na rozhraní voda/pára

Někdy složité oddělit sorpci od srážení/rozpouštění, které zahrnují pevnou fázi - v případě sorpce však závisí na přítomnosti povrchu před samotným procesem.

CC BY SA

Typy sorbátu

- sorpce aniontů – negativní náboj – např. PO_4^{3-}, SO_4^{2-} , NO_3^-
- sorpce kationtů – kladný náboj – např. Ca^{2+} , těžké kovy (Pb^{2+}…)
- sorpce neutrálních molekul – polární a nepolární organické látky

Sorpce je jeden z nejdůležitějších chemických procesů, které upravují zadržování živin, znečišťujících látek a dalších chemických látek v půdě.

CC BY SA

Mechanismy sorpce v půdě

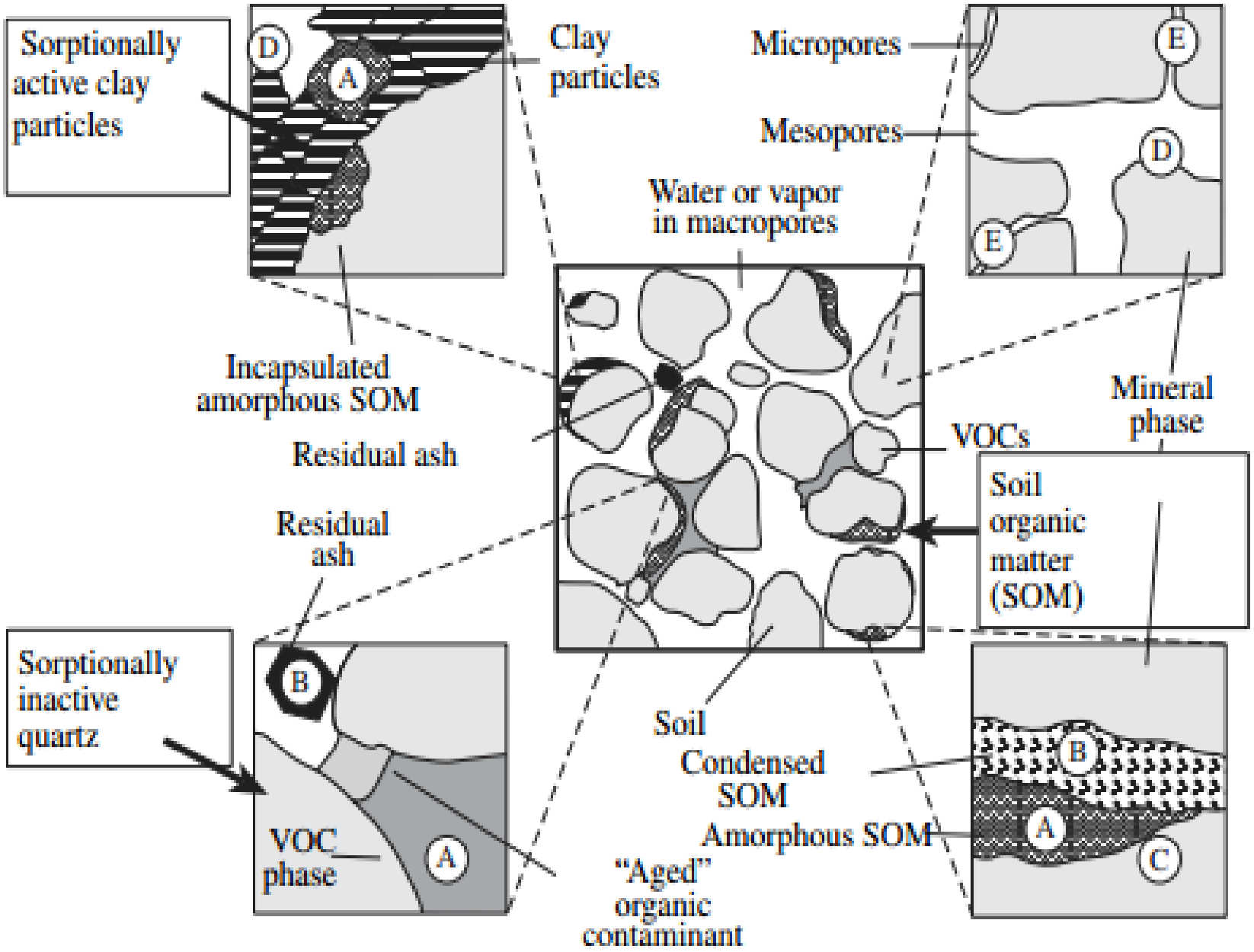
- MECHANICKÁ SORPCE – zadržování částic v jemných a slepých pórech (molekuly, agregáty, částice)
- FYZIKÁLNÍ SORPCE – jevy na rozhraní dvou fází **(neutrální molekuly, nepolární organické látky)**
- FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÁ (VÝMĚNNÁ) – iontová výměna mezi povrchem sorbentu a roztokem **(především kationty)**
- CHEMICKÁ SORPCE – tvorba nerozpustných sloučenin **(těžké kovy)**
- BIOLOGICKÁ SORPCE – poutání v tělech rostlin a organismů - selektivní a dynamická

CC BY SA

Mechanismy sorpce v půdě

- řízena entalpií nebo entropií systému
- entalpické interakce:
  - Van der Waalsovy
  - elektrostatické
  - vodíkové vazby
  - přenos náboje
  - ligandová výměna
  - přímá nebo indukovaná dipólová interakce
- entropické interakce
  - hydrofobní vazby nebo rozdělení
- v půdě vysoká heterogenita – komplexní povaha sorpce

CC BY SA



Luthy, R.G., et al., *Sequestration of Hydrophobic Organic Contaminants by Geosorbents.* Environmental Science & Technology, 1997. **31**(12): p. 3341-3347

CC BY SA

Chemická sorpce

- je tvořena elektronovou vazbou
- adsorpční energie se pohybuje v rozmezí 400 – 4000 $kJ.mol^{-1}$
- reversibilita ve většině případů nevratná
- dochází-li k desorpci, uvolňuje se látka jiná, než se adsorbovala
- je specifická
- vytváří se pouze jedna vrstva adsorbátu na aktivních centrech
- s rostoucí teplotou výrazně roste význam sorpce

CC BY SA

Fyzikální sorpce

Při fyzikální sorpci dochází k vázání iontů i celých molekul vlivem fyzikálních sil.

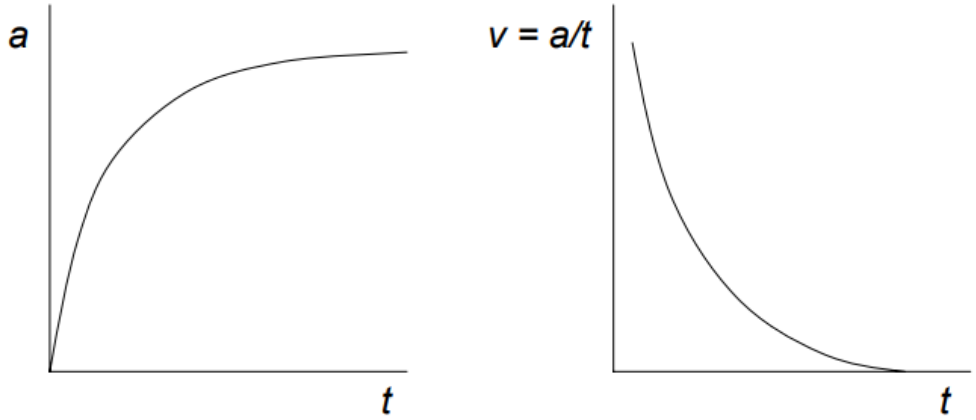
Vliv na adsorpci – kvalita adsorbentu, kvalita adsorbátu, koncentrace adsorbátu, doba interakce, teplota

- je tvořena van der Waalsovými mezimolekulárními silami
- energie sorpce (entalpie) se pohybuje mezi 5 – 70 $kJ.mol^{-1}$
- tato adsorpce je většinou vratná
- s rostoucí teplotou klesá
- s rostoucím tlakem roste
- není specifická
- na povrchu se může adsorbát vázat i v několika vrstvách

CC BY SA

Fyzikální sorpce

- Významné pro sorpci nepolárních organických látek v půdách
- **Kinetika sorpce** - vyjadřuje se závislostí množství sorbované látky na čase - rychlost sorpce



- Po určité době je dosaženo rovnováhy (při konstantní teplotě)
- sorpci charakterizuje **adsorpční izoterma**
- Izotermou se většinou vyjadřují experimentální data

cc BY SA

Adsorpční izotermy

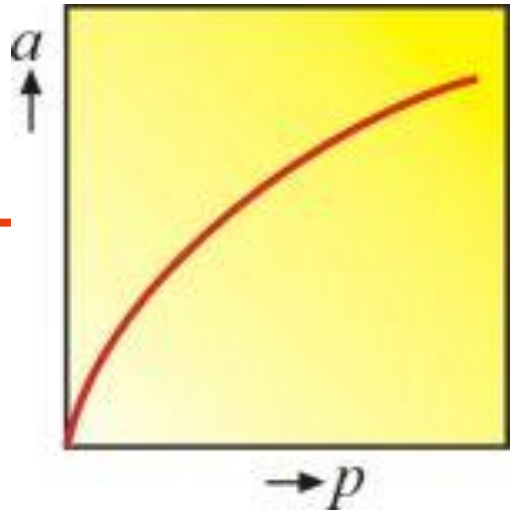
- závislost adsorbovaného množství q_e na rovnovážné koncentraci C_e v půdním roztoku (při určité teplotě), nebo parc. tlaku u plynů
- lineární izoterma (Henryho – vychází z Henryho z.)

$$q_e = K_H C_e$$

  - velmi omezená platnost
  - platí často pro hydrofobní kontaminanty v půdní OM
- nelineární izotermy – mnohem častější ionty aj.

CC BY SA

Adsorpční izotermy



Freundlichova izoterma

$$q_e = K_F C_e^{1/n}$$

- logaritmický tvar – lineární funkce

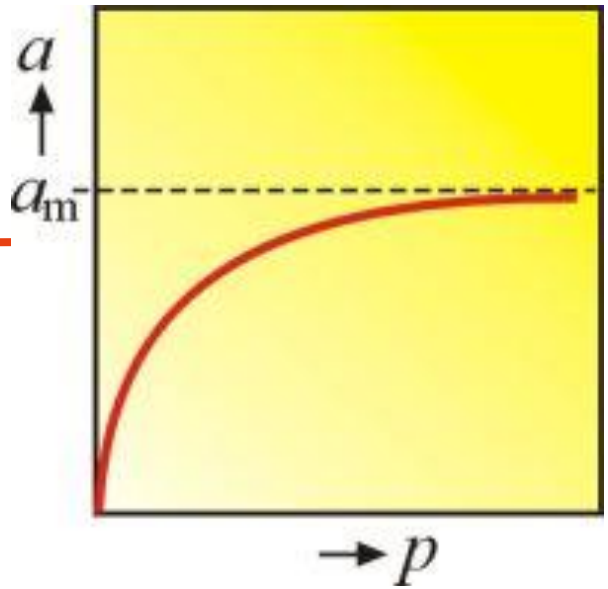
$$\log q_e = \log K_F + \left({}^{1}/_{n}\right) \log C_e$$

- K_F – adsorpční konstanta - klesá s rostoucí teplotou
- n – empiricky měřená konstanta - nelinearita sorpce
  - $n > 1$ (s rostoucí teplotou klesá k 1)
- platné jednovrstvou ads.

Bartovská L., Šišková M., Co je co v povrchové a koloidní chemii, výkladový slovník, elektronická publikace, vydavatelství VŠCHT, online *http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/*

CC BY SA

Adsorpční izotermy



Langmuirova izoterma

$$q_e = \frac{Q_{max} b C_e}{1 + b C_e}$$

- lineární tvar:

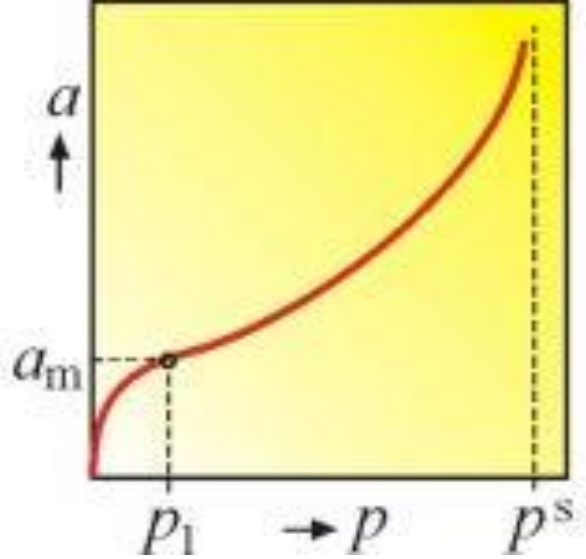
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_{max} b} + \frac{C_e}{Q_{max}}$$

- Q_{max} - plně zaplněná sorpční místa
- Q_{max} a b – nelineární regrese metodou vážených nejmenších čtverců
- jednovrstvá adsorpce, stejná pravděpodobnost, energeticky homogenní povrch
- adsorbované molekuly se neovlivňují
- bez fázových přeměn
- aplikovatelné pro silnou specifickou interakci

Bartovská L., Šišková M., Co je co v povrchové a koloidní chemii, výkladový slovník, elektronická publikace, vydavatelství VŠCHT, online *http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/*

CC BY SA

Adsorpční izotermy



BET (**B**runauer, **E**mmet a **T**eller)

$$q_e = \frac{BC_eQ°}{(C_s - C_e)[1 + (B-1)(C_e/C_S)]} \qquad \frac{C_e}{(C_s - C_e)q_e} = \frac{1}{BQ°} + \frac{B-1}{BQ°} \cdot \frac{C_e}{C_s}$$

- C_S – rozpustnost, $Q°$ - koncentrace odpovídající jedné vrstvě adsorpce, B – konstanta vyjadřující energii adsorpce

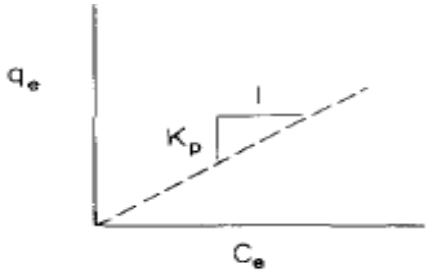
$$B = \frac{d_2c_1}{d_1c_2} exp(E_1 - E_2)/RT$$

- zahrnutí mnohovrstvé adsorpce
- po úvodní adsorpci dochází k akumulaci dalšího sorbátu v pórech – nerovnovážný proces

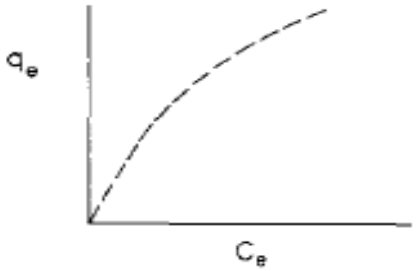
Bartovská L., Šišková M., Co je co v povrchové a koloidní chemii, výkladový slovník, elektronická publikace, vydavatelství VŠCHT, online *http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/*

CC BY SA

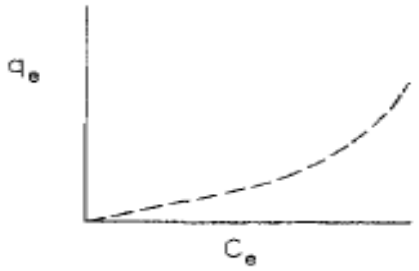
Adsorpční izotermy



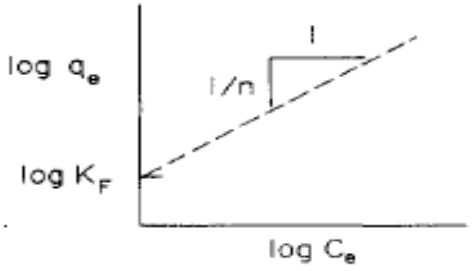
(a) Linear



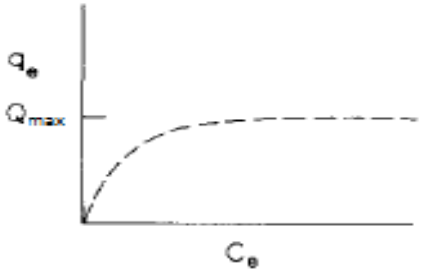
(b) Freundlich 1/n < 1



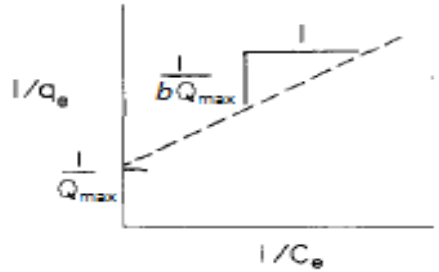
(c) Freundlich 1/n > 1



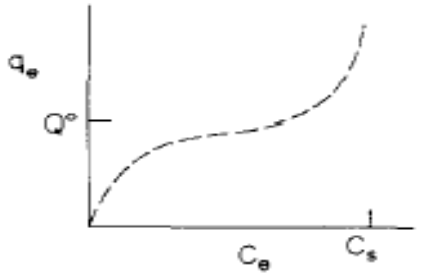
(f) Linear form - Freundlich



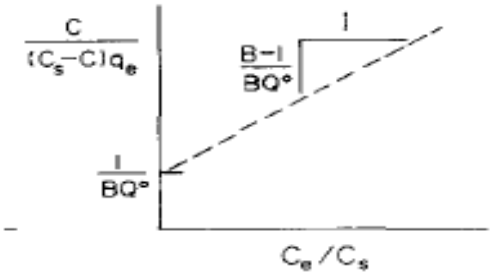
(d) Langmuir



(g) Linear form - Langmuir



(e) BET

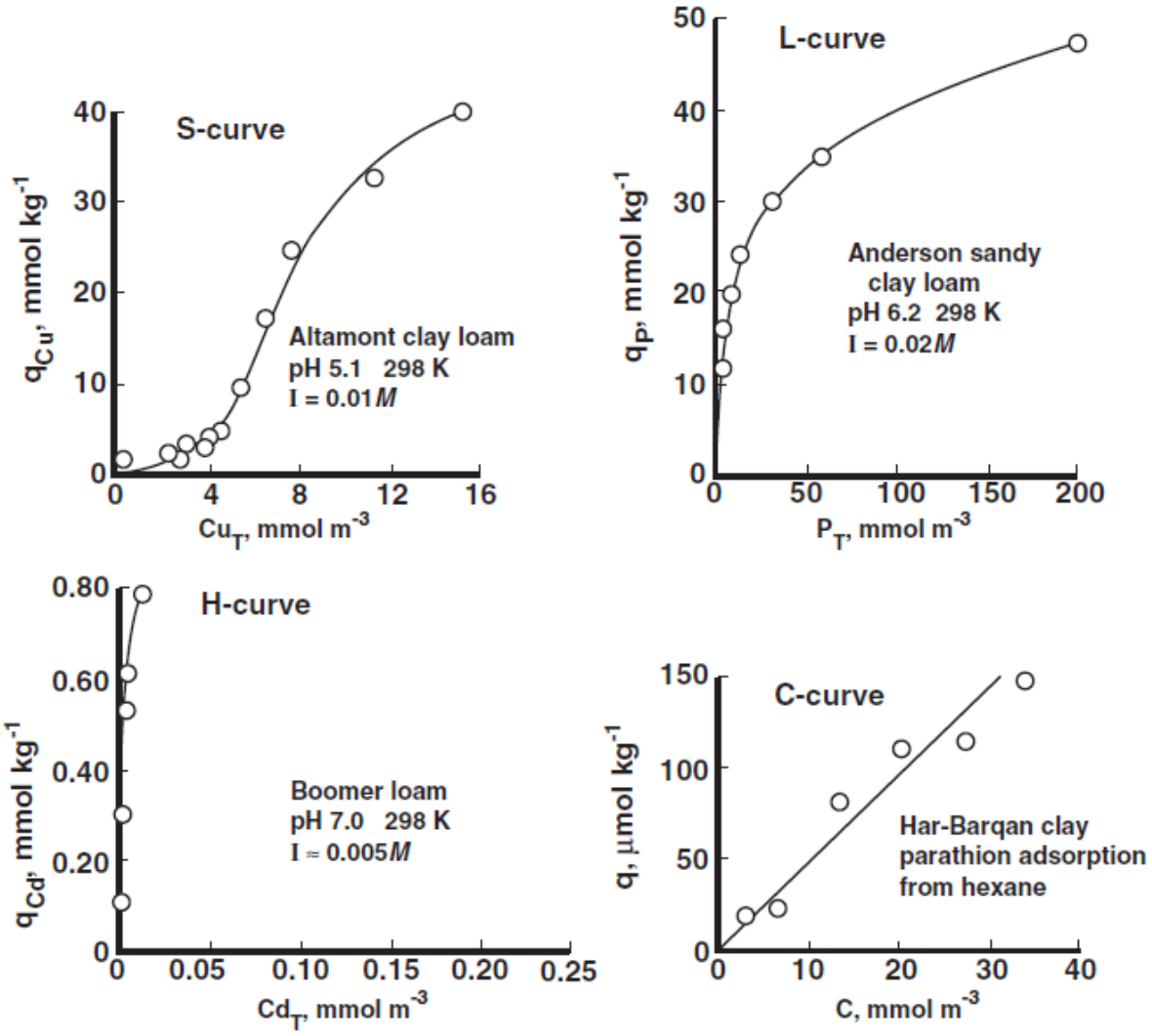


(h) Linear form - BET

Weber, W.J., *Physicochemical processes for water quality control*. Environmental science and technology. 1972, New York,: Wiley-Interscience. xxvi, 640 p.

CC BY SA

Klasifikace adsorp. izoterem



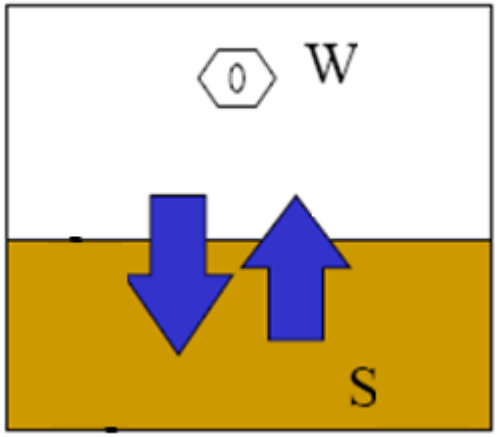
SPARKS, Donald L. *Environmental soil chemistry*. Elsevier, 2003, second edition, ISBN 0-12-656446-9

CC BY SA

Rovnováha zemina – půdní roztok

- Poměrem rovnovážných koncentrací látky v kapalné a pevné fázi v zemině je definován distribuční/sorpční koeficient $K_d \sim K_{SW}$

$$K_{.d} = \frac{C_S}{C_W}$$



- $\boldsymbol{K_d}$ (l.kg^{-1}), C_S (mol.kg^{-1}), C_W (mol.l^{-1})
- Slouží k matematickému popisu sorpce
- Existuje několik způsobů jeho vyjádření

Rippelová, V.; Study and modelling of sorption mechanisms of volatile organic compounds in soils, Dissertation Thesis, 2018, VŠCHT

CC BY SA

Rovnováha zemina – půdní roztok

K_{oc} ($l.kg^{-1}$)

= rozdělení látky mezi org. hmotu a vodu v rovnovážném stavu

= tendence organické látky podléhat sorpci na zemině

= míra hydrofobicity dané látky

- odhaduje se z rozpustnosti látky nebo K_{OW} (rozd.koef. oktanol-voda)

$$K_{OC} = \frac{C_{OC}}{C_W}$$

- Sorpce organických látek úměrná obsahu organické hmoty v zemině f_{om}, popř. organického uhlíku f_{oc}

  $f_{oc} \sim 0{,}5\ f_{om}$

  $K_{oc} \sim 2\ K_{om}$

- Reálná situace je mnohem složitější - vždy se jedná o kombinaci několika různých sorpčních procesů

$$K_d = K_{OC} \cdot f_{OC}$$

- Měření f_{oc} a f_{om}
  - Spalováním organické hmoty v peci (450°C; 24 h) a určení rozdílu hmotností
  - Chemickou oxidací organické hmoty např. manganistanem a IČ detekcí vzniklého CO_2

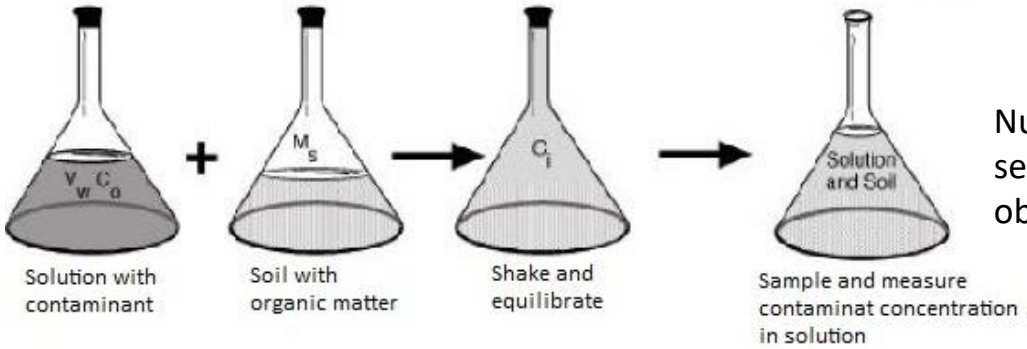
CC BY SA

Rovnováha zemina – půdní roztok

Měření sorpčního koeficientu

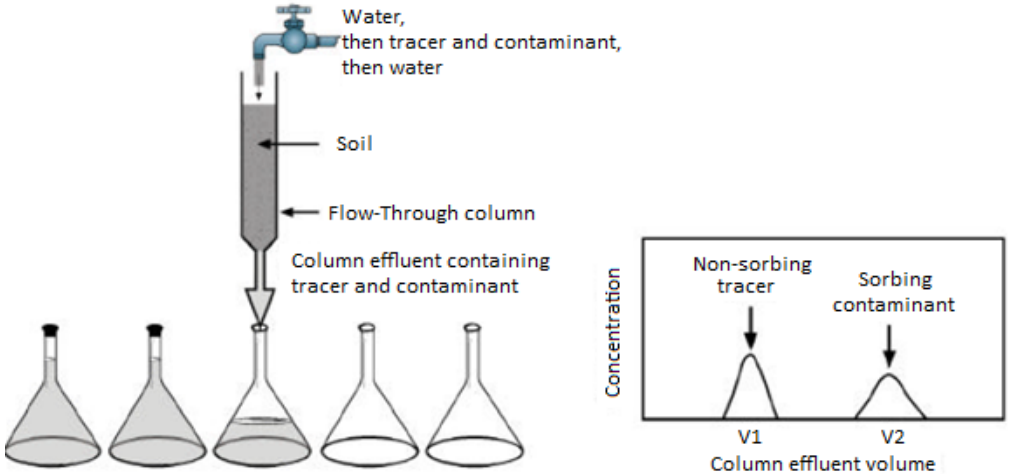
$$q_e = \frac{V_W(C_0 - C_e)}{m_S}$$

- vsádkové



Nutná separace obou fází

- kolonové testy



Rippelová, V.; Study and modelling of sorption mechanisms of volatile organic compounds in soils, Dissertation Thesis, 2018, VŠCHT

CC BY SA

Rovnováha zemina – půdní vzduch

$$K_{SA} = \frac{C_S}{C_A} \qquad K_{SA} = \frac{K_{SW}}{K_{AW}}$$

- za normální podmínek není půda suchá
- rozdělení mezi vodou a vzduchem – Henryho zákon

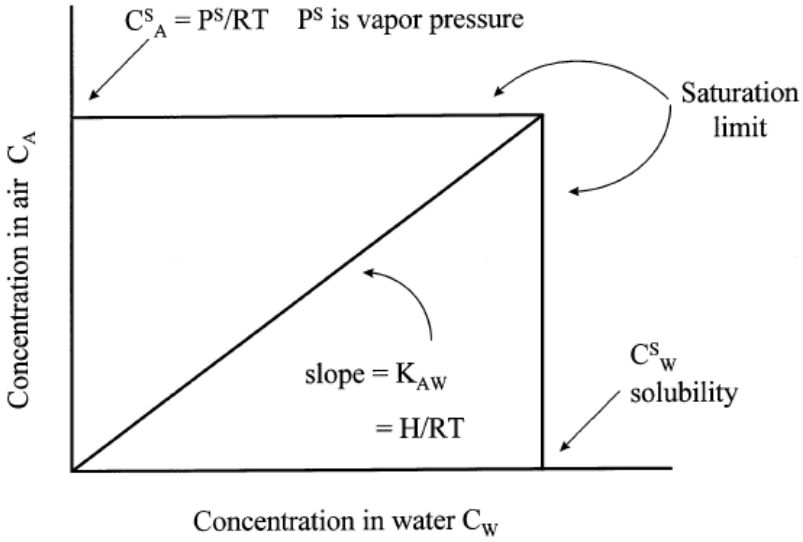
$$P = HC_W$$

H – Henryho konstanta, P – parciální tlak

$$K_{AW} = \frac{C_A}{C_W} \qquad K_{AW} = \frac{H}{RT}$$

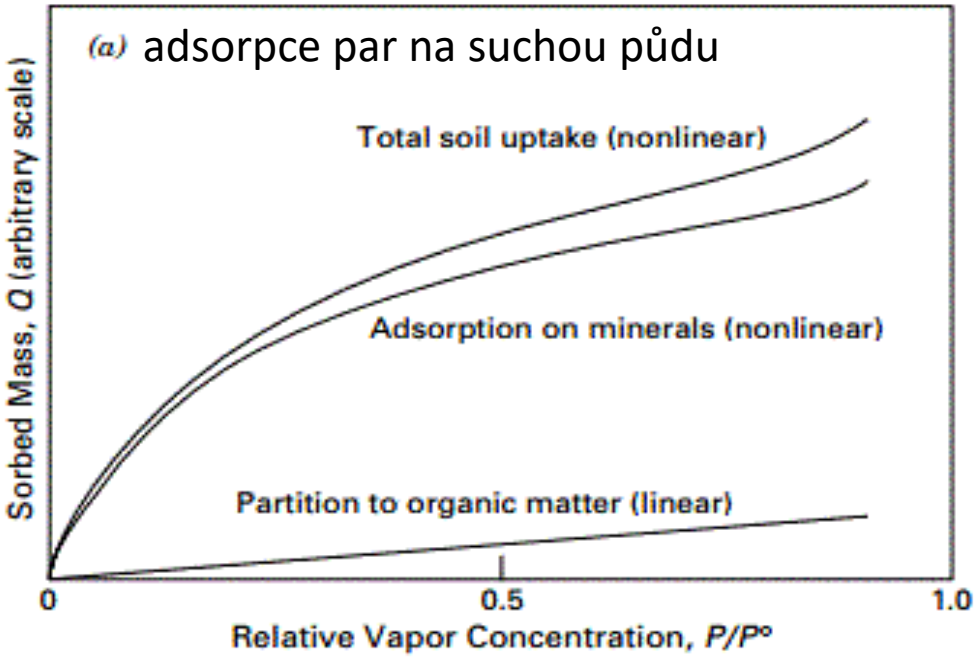
Henryho konstanta

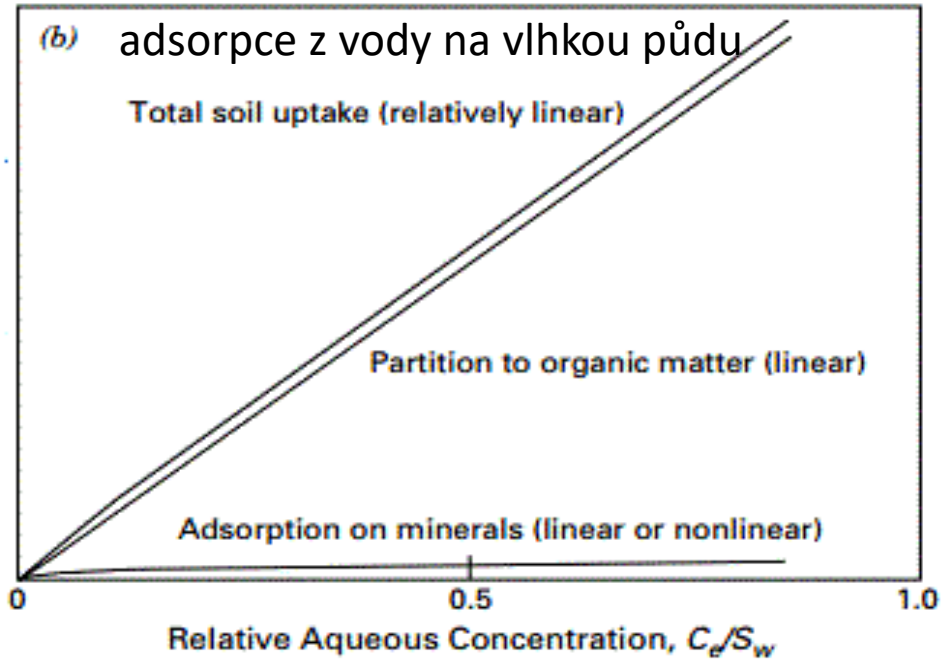
- vliv teploty
- další vlivy na rozpustnost ve vodě
- lze spočítat/změřit (strd metodiky)



Rippelová, V.; Study and modelling of sorption mechanisms of volatile organic compounds in soils, Dissertation Thesis, 2018, VŠCHT

CC BY SA





Chiou, C.T., *Partition and adsorption of organic contaminants in environmental systems*. 2002, Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience.

cc BY SA

Výměnná sorpce – iontová výměna

- Na rozdíl od adsorpce dochází k nahrazení chemického individua jiným
- Podobně jako v případě sorpce je v tomto případě zásadní vliv struktury povrchu pevné fáze
- Půda se chová jako měnič kationtů => **půdní sorpční komplex**
- Za ustálených podmínek je složení půdního sorpčního komplexu v rovnováze s podzemní vodou
- Při jakékoli změně složení podzemní vody dochází ke změně ve struktuře sorpčního komplexu
- Půda tak působí jako dočasný pufr, který může měnit koncentrace ve vodě procesem iontové chromatografie

CC BY SA

Půdní sorpční komplex

- Soubor půdních složek schopných poutat kationty
  - Organické složky – humus
  - Jílové minerály
  - Oxyhydroxidy a další minerály
- Nese záporný náboj
  - Permanentní (konstituční) – zejména izomorfní substituce v jílových minerálech
  - Variabilní – disociace hydroxylových a karboxylových skupin (výměnný H^+) v minerálech i organice – závisí na pH
- Iontovýměnná adsorpce je závislá tedy na obsahu těchto složek (jílové minerály, TOC), ale i na zrnitosti a specifickém povrchu

CC BY SA

Kationtová výměnná kapacita

- KVK (CEC in english)
- Množství kationtů, které je půda schopna poutat
- Udává se často v mmol+/100g nebo meq/kg

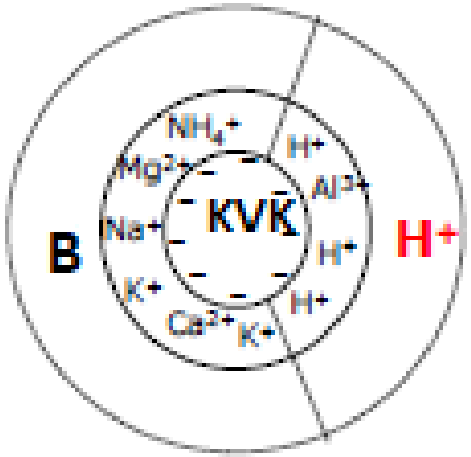
➢Potenciální – při pH 7 a vyšším

➢Variabilní – efektivní při skutečném pH půdy

$$KVK = B + H^+$$

- B – bazické kationty
- H^+ - kyselé kationty

BS = B/KVK (%) - bazická saturace



Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9

CC BY SA

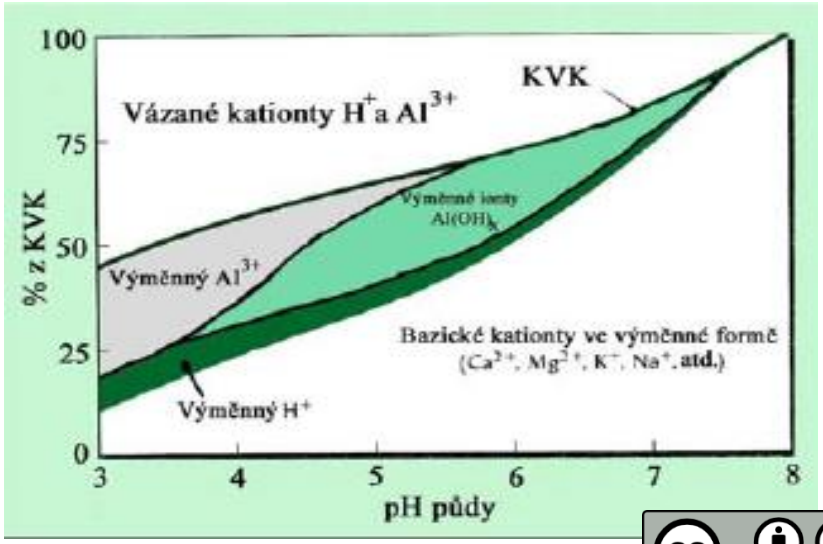
Kationtová výměnná kapacita

KVK (mmol+/100 g)	Hodnocení ČR
8 - 12	nízká až velmi nízká
13 - 24	střední
25 - 30	vysoká
> 30	velmi vysoká

Sorpční komplex	BS (%)
Plně nasycený	90 – 100 %
nasycený	75 – 90 %
Slabě nasycený	50 – 75 %
nenasycený	30 – 50 %
Extrémně nenasycený	< 30 %

	KVK (mmol+/100 g)
kaolinit	3 - 12
illit	20 - 40
vermikulit	120 - 150
montmorilonit	70 - 110
chlorit	30 - 50
huminové kys.	350 - 500
fulvokyseliny	400 - 700

KVK = 7. (% jíly) + 35 . % TOC meq/kg



Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9

CC BY SA

Iontová výměna v jílech

- význam struktury jílových minerálů v iontové výměně
- struktura jílů zodpovědná za iontovou výměnu
  - propojené vrstvy tetraedrů a oktaedrů (1:1; 2:1)
  - izomorfní substituce Al^{3+} a Si^{4+} za méně nabité ionty (např. Ca^{2+}, K^{+}, NH_4^{+} aj.) -> záporný náboj rozprostřený na atomech kyslíku
  - velikost mezivrství – možnost hydratace (bobtnání) -> umožňuje výměnu z roztokem
  - difúze v mezivrství – relativně pomalejší než v roztoku
- rozhoduje také velikost a hydratační energie kationtu
- malá velikost krystalitů 10 nm-10 um -> důležité okraje, které jsou elektricky nabité –> vazba OH- nebo H+ dle pH

CC BY SA

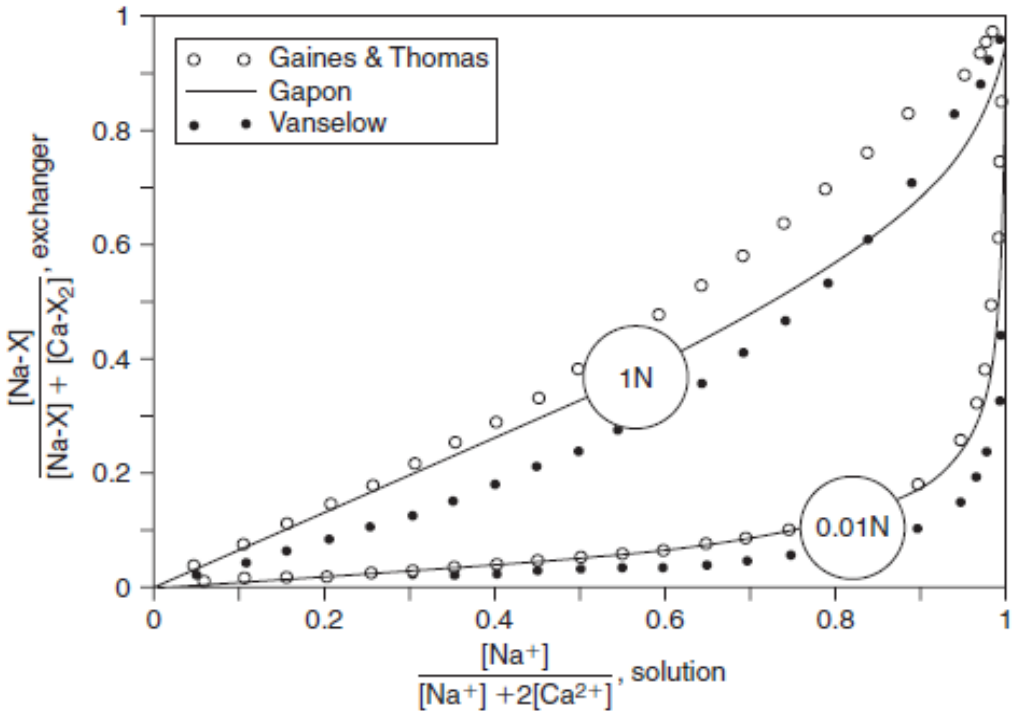
Popis procesu iontovýměnné sorpce

- homovalentní vs heterovalentní výměna
- k popisu se využívá specifického koeficientu kationtové výměny (rozdělovací koeficient)

$$K_{X/Y} = \frac{[X_{půda}][Y^+]}{[Y_{půda}][X^+]}$$ pro $X^+ + Y\text{-půda} \leftrightarrow X\text{-půda} + Y^+$

[X] – aktivita
ve vodě dle Debye Hückel
v půdě odlišné

- homovalentní
  - jeden iont -> γ=1
  - více iontů -> dle poměru iontů
- heterovalentní
  - dle různých konvencí
  - Gaines - Thomas
  - Gapon
  - Vanselow



Appelo, C.A.J, Postma, D.: Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2005, A.A. Balkema Publishers, 2nd Edition, ISBN: 04-1536-421-3

CC BY SA

Určení kationtové výměnné kapacity

- odstranění rozpuštěných kationtů pomocí alkoholu
- nahrazení vyměnitelných iontů specifickým iontem
- nutno zabránit srážení sádrovce či kalcitu
- různé metody – různé výsledky

➢ metoda s acetátem amonným
  - nasycení vzorku NH_4^+ ionty a vypláchnutí ethanolem
  - nahrazení NH_4^+ pomocí NaOH nebo $Mg(OH)_2$
  - měření koncentrace NH_4^+ v roztoku

➢ metoda s chloridem strontnatým
  - saturace pomocí $SrCl_2$ + vypláchnutí ethanolem
  - vyloučení Sr^{2+} iontu pomocí HCl + stanovení pomocí AAS

CC BY SA

Selektivita kationtové výměny

- potenciál nabitého povrchu preferenčně adsorbovat určitý iont
- lyotropní řada – není univerzální, záleží také na charakteru povrchu a dalších faktorech

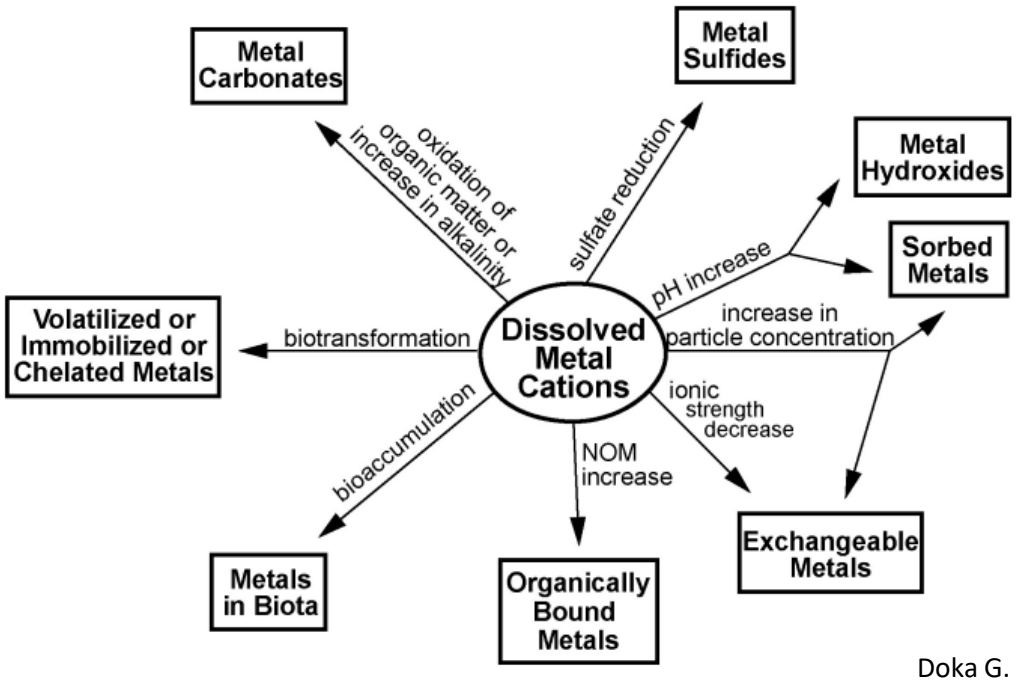
$Ba^{2+}>Pb^{2+}>Sr^{2+}>Ca^{2+}>Ni^{2+}>Cd^{2+}>Cu^{2+}>Co^{2+}>Mg^{2+}>Ag^{+}>Cs^{+}>Rb^{+}>K^{+}>NH_4^{+}>Na^{+}>Li^{+}$

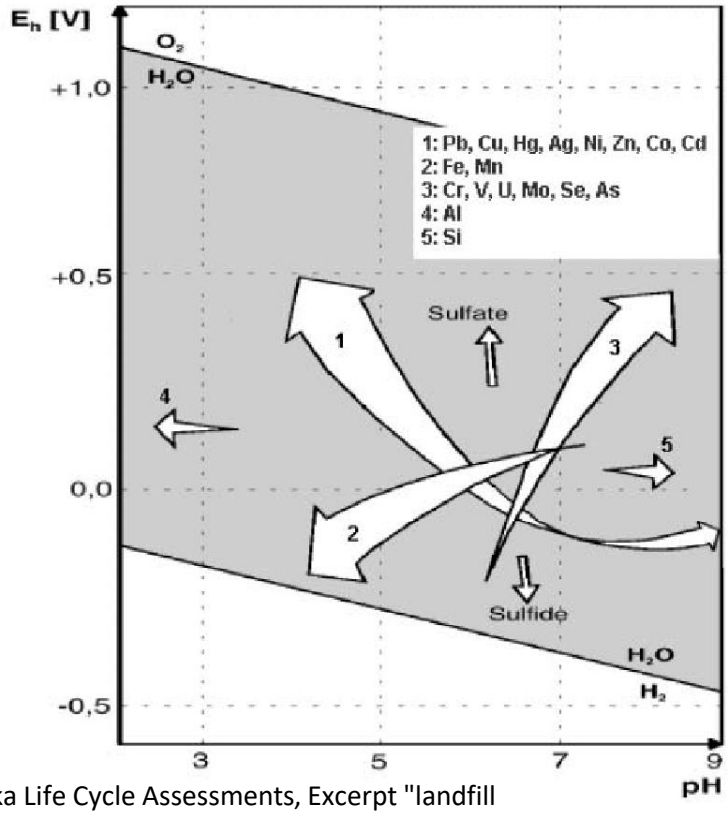
- Vlastnosti kationtu:
  - preference menšího hydratovaného poloměru (nejmenší záporné teplo hydratace)
  - valence kationtu – větší je polarizovatelnější, tj. přitažlivější pro neg. povrch
  - kyselé chování – vyšší hydrolytická konstanta
  - potenciál párování kationtu s aniontem přítomným v roztoku ($CaSO_4$ vs $CaCl_2$)
  - potenciál kationtu tvořit povrchové komplexy s přítomným aniontem
- Vlastnosti povrchu
  - potenciál tvořit vnitřní komplexy s kationtem – např. vermikulit se váže spíše ke K+ či NH_4^+ nežli Na+
  - povrchové elektrický potenciál – čím vyšší, tím spíše k vícevalentním iontům
  - pH – při vyšším k divalentním kationtům, při nižším k monovalntním
  - kyselost povrchu – slabší preferují těžké kovy více než silnější (např. kaolinit či illit více váže měď nebo kadmium nežli montmorilonit
  - povrchy, které mohou lépe měnit konformace (HA) preferují větší valence kationtů

CC BY SA

Sorpce těžkých kovů v zeminách

- Sorpční kapacita zeminy je nasycena zejména Ca a Mg
- Těžké kovy mají vyšší sorpční schopnost a Ca, Mg vytěsní a nasorbují se = imobilizace kovů





Smith, Kathleen S.. "Strategies to predict metal mobility in surficial mining environments." Reviews in Engineering Geology 17 (2007): 25-45.

Doka G. (a), Doka Life Cycle Assessments, Excerpt "landfill models" from the ecoinvent 2000 report on landfills from Doka G. (2003) Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent report No. 13. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, (2003)

CC BY SA

Faktory ovlivňující sorpci těžkých kovů v zeminách

- Při změně okolních podmínek může docházet k jejich nárazovému vyplachování = kovy se mobilizují
- pH - při různém pH vytváří kovy různé sloučeniny s jinou rozpustností ve vodě, při snížení pH se kovy mobilizují
- Náboj - kov je ve formě kationtu (tendence se vázat) nebo aniontu (neváží se tolik)
  - iontová výměna
  - minerály mají negativní náboj = katex
- Vliv komplexotvorných látek v půdním roztoku - mobilizují kovy, komplexní sloučeniny kovů jsou ale v roztoku stabilní i při vyšším pH
- Vliv srážecích činidel v půdním roztoku - imobilizace kovu
  - Nejčastěji stačí zvýšit pH – hydroxidy jsou nerozpustné
  - Srážecími činidly mohou být fosforečnany nebo sulfidy

CC BY SA

Faktory ovlivňující sorpci organických látek

Teplota

Vlastnosti sorbentu a solventu:

- Obsah organické hmoty
- Typ a množství jílových minerálů
- Specifický povrch
- Velikost částic
- Porozita
- Heterogenita zeminy
- Obsah vody
- pH
- Salinita

Vlastnosti sorbátu :

- Těkavost
- Hydrofobita
- Chemická a biologická degradace,
- Přítomnost ostatních látek

CC BY SA

REDOX procesy v půdě

- procesy elektronového transferu mezi půdními složkami
  - oxidace – chemická individua jsou donory elektronů
  - redukce – chemická individua jsou akceptory elektronů
  - vliv afinity jader prvků k elektronům a jejich tendencí zajistit stabilitu doplněním vnějšího elektronového obalu (oktet. pravidlo)
- povaha složek systému půda-voda závisí na oxidačních stavech zahrnutých prvků
  - jednoatomové látky (kovy) – oxidační stav nulový
  - sloučeniny – ox. stav odpovídá náboji po odevzdání e^- elektroneg. prvku nebo po rovnoměr. rozdělení mezi dva prvky se stejnou elektronegativitou
  - molekula bez náboje – suma oxidačních stavů je nula
- ox. stav velmi často rozhoduje o rozpustnosti látky (např. SO_4^-/S_2^-)

CC BY SA

Vliv REDOX procesů v půdě

- na rozpustnost minerálů – např. $Mn(OH)_2$ rozpustné a MnO_4 nerozp.
- na pH systému půda-voda
  - redukční podmínky snižují pH – např. nitrifikace
    $$NH_4^+ + 1{,}5\ O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$$
  - oxidační zvyšují pH – např. denitrifikace
    $$H_2O + NO_3^- + 2e^- \rightarrow NO_2^- + 2OH^-$$
- na chemické vlastnosti povrchu minerálů – bod nulového náboje
- na dostupnost či přítomnost různých speciací (Fe^{2+}/Fe^{3+})
- na perzistenci a toxicitu
  - As(III) tox. vs As (V) málo tox.
  - NO_2^- málo perzistentní vs NO_3^- vysoce perzistentní
- na elektrickou konduktivitu (obsah solí) – souvisí s rozpustností
- na těkavost – H_2S je těkavé, síran ne

CC BY SA

REDOX procesy v půdě

- lze zapsat v obecné formě $A.Ox + F.Red \leftrightarrow G.Ox + D.Red$
- elektrony neexistují volné – dochází pouze k výměně
- používají se poloviny reakce



- pravidla pro bilancování redox páru rovnic
  - napiš oxidované a redukované složky a bilancuj prvky
  - bilancuj počet kyslíků pomocí H_2O
  - bilancuj počet vodíků pomocí H^+
  - bilancuj elektroneutralitu pomocí elektronů e^-
  - odečti dvě poloreakce a zrušte elektrony pro kompletaci reakce

CC BY SA

REDOX procesy v půdě

$$A.Ox + B.H^+ + C.e^- \longleftrightarrow D.Red + E.H_2O$$

Ox – oxidovaná složka, **Red** – redukovaná složka

A, B, C, D – stechiometrické koeficienty

$$K = \frac{[(Red)^D.(H_2O)^E]}{[(Ox)^A.(H^+)^B.(e^-)^C]} \qquad logK = D.\log(Red) - A.\log(Ox) - B.\log(H^+) - C.log(e^-)$$

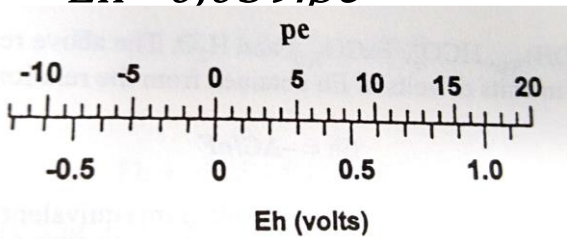
oxidačně redukční stav půdy: $pe = -log(e^-)$ $pH = -log(H^+)$

- rozsah -6 až +12

pro *B=C=1, D=A a Red=Ox* platí $logK = pe + pH$ $Eh = 0{,}059.pe$

hodnoty *Eh* relativní ke standardní vodíkové elektrodě

oxidace -> Eh=+V, redukce - > Eh=-V (pe obdobně)



$$\Delta G = \Delta G^0 - RTlnK = nFE \qquad Eh = E^0 - \frac{RT}{nF}.lnK = E^0 + \frac{0{,}059}{n}logK$$

Evangelou V.P., Envionmental Soil and Water Chemistry: Principles and Applications, 1998, Wiley

CC BY SA

REDOX procesy v půdě

zemina	Eh (mV)
Velmi dobře oxidační	800
Dobře oxidační	500
Slabě oxidační	100
Redukční	-200
Extrémně redukční	-500

silně oxidační
- nízká aktivita e-
- kladné a vysoké Eh a pe
- při dobrém provzdušnění půdy

silně redukční
- vysoká aktivita e-
- záporné a nízké Eh i pe
- v dlouhodobě zamokřené půdě

Eh 450 – 800 mV
- dostatek kyslíku
- aktivní oxidace, nitrifikace, rozklad organiky

Eh 0 - 450 mV
- hypoxie, nedostatek kyslíku
- redukce $Fe(OH)_3$, dusičnanů, pomalý roz. OC

Eh -300 – 0 mV
- anoxie, naprostý nedostatek kyslíku
- redukce síranů, tvorba vodíku, methanu, anaer. fermentace OC

CC BY SA

TABLE 5.2. Reduction Potentials of Selected Half-Cell Reactions in Soil–Water Systems at 25°C

Reaction	E^0 (V)
$F_2 + 2e^- = 2F^-$	+2.87
$Cl_2 + 2e^- = 2Cl^-$	+1.36
$NO_3^- + 6H^+ + 5e^- = 1/2N_2 + 3H_2O$	+1.26
$O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2H_2O$	+1.23
$NO_3^- + 2H^+ + 2e^- = NO_2^- + H_2O$	+0.85
$Fe^{3+} + e^- = Fe^{2+}$	+0.77
$SO_4^= + 10H^+ + 8e^- = H_2S + 4H_2O$	+0.31
$CO_2 + 4H^+ + 4e^- = C + 2H_2O$	+0.21
$N_2 + 6H^+ + 6e^- = 2NH_3$	+0.09
$2H^+ + 2e^- = H_2$	+0
$Fe^{2+} + 2e^- = Fe$	−0.44
$Zn^{2+} + 2e^- = Zn$	−0.76
$Al^{3+} + 3e^- = Al$	−1.66
$Mg^{2+} + 2e^- = Mg$	−2.37
$Na^+ + e^- = Na$	−2.71
$Ca^{2+} + 2e^- = Ca$	−2.87
$K^+ + e^- = K$	−2.92
$1/2N_2O + e^- + H^+ = 1/2N_2 + 1/2\ H_2$	+1.76
$NO + e^- + H^+ = 1/2N_2O + 1/2H_2O$	+1.58
$1/2NO_2^- + e^- + 3/2H^+ = 1/4N_2O + 3/4H_2O$	+1.39
$1/5NO_3^- + e^- + 6/5H^+ = 1/10N_2 + 3/5H_2O$	+1.24
$NO_2^- + e^- + 2H^+ = NO + H_2O$	+1.17
$1/4NO_3^- + e^- + 5/4H^+ = 1/8N_2O + 5/8H_2O$	+18.9
$1/6NO_2^- + e^- + 4/3H^+ = 1/6NH_4^+ + 1/3H_2O$	+1.12
$1/8NO_3^- + e^- + 5/4H^+ = 1/8NH_4^+ + 3/8H_2O$	+0.88
$1/2NO_3^- + e^- + H^+ = 1/2NO_2^- + 1/2H_2O$	+0.83
$1/6NO_3^- + e^- + 7/6H^+ = 1/6NH_2OH + 1/3H_2O$	+0.67
$1/6N_2 + e^- + 4/3H^+ = 1/3NH_4^+$	+0.27
$1/2O_3 + e + H^+ = 1/2O_2 + 1/2H_2O$	+2.07
$OH + e^- = OH^-$	+1.98
$O_2^- + e^- + 2H^+ = H_2O_2$	+1.92
$1/2H_2O_2 + e^- + H^+ = H_2O$	+1.77
$1/4O_2 + e^- + H^+ = 1/2H_2O$	+1.23
$1/2O_2 + e^- + H^+ = 1/2H_2O_2$	+0.68
$O_2 + e^- = O_2^-$	−0.56

TABLE 5.3. Electrode Potentials of Phenol, Acetic Acid, Ethanol, and Glucose

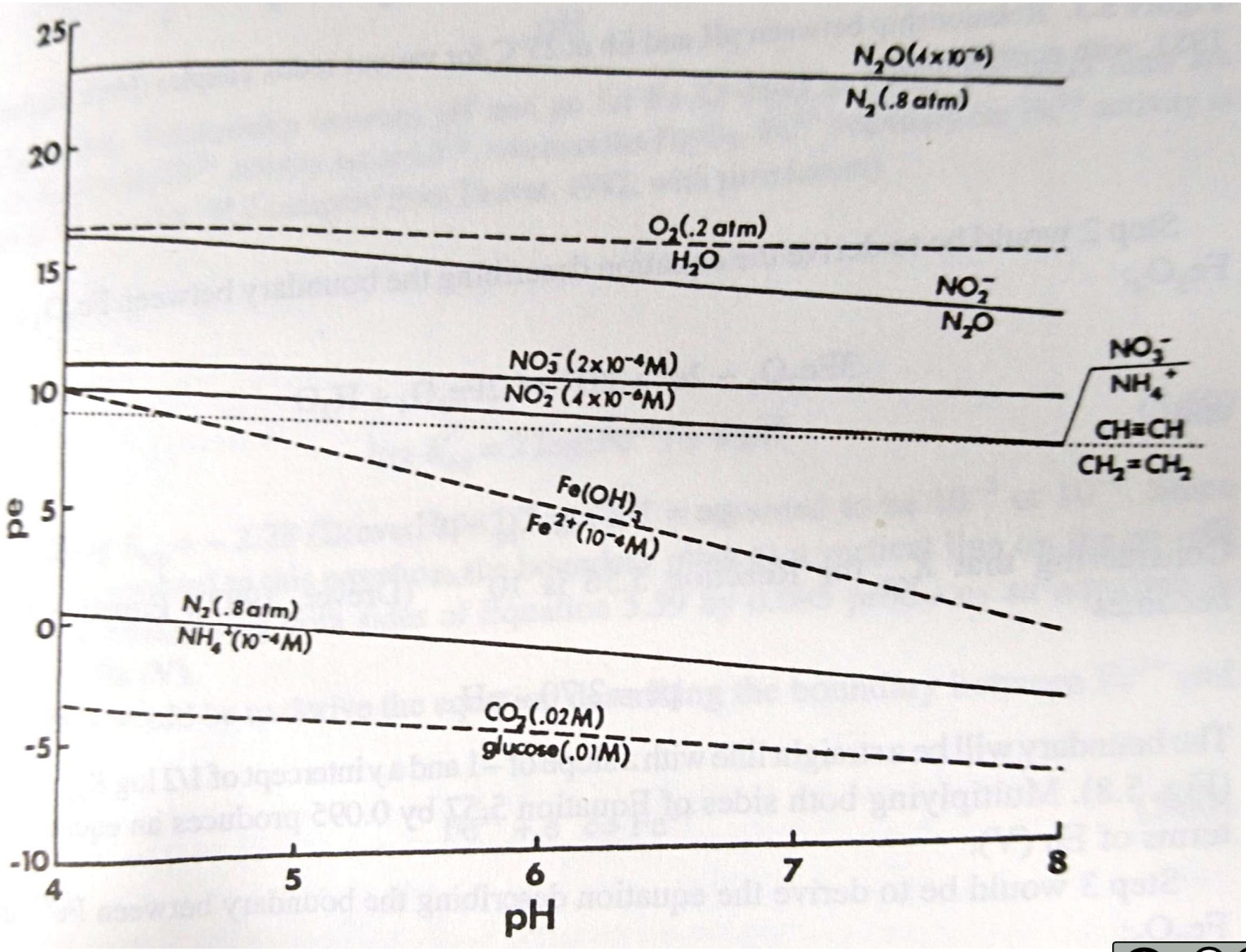
Redox Couple	E^0 (V)
Phenol–CO_2	
$6CO_2 + 28H^+ + 28e^- = C_6H_5OH + 11H_2O$	0.102
Acetic acid–CO_2	
$2CO_2 + 8H^+ + 8e = CH_3COOH + 2H_2O$	0.097
Ethanol–CO_2	
$2CO_2 + 11H^+ + 11e^- = CH_2CH_2OH + 3H_2O$	0.079
Glucose–CO_2	
$6CO_2 + 24H^+ + 24e^- = C_6H_{12}O_6 + 6H_2O$	−0.014

TABLE 5.4. Equilibrium Constants of Redox Processes Pertinent in Soil–Water Systems (25°C)

Reaction	pe^0 ($e \log K_{eq}$)	pe^0 (W)[a]
(1) $1/4O_2(g) + H^+ + e^- = 1/2\ H_2O$	+20.75	+13.75
(2) $1/5NO_3^- + 6/5\ H^+ + e^- = 1/10N_2(g) + 3/5H_2O$	+21.05	+12.65
(3) $1/2MnO_2(s) + 1/2HCO_3^-\ (10^{-3}) + 3/2H^+ + e^- = 1/2MnCO_3(s) + H_2O$	—	+8.9[b]
(4) $1/2NO_3^- + H^+ + e^- = 1/2NO_2^- + 1/2H_2O$	+14.15	+7.15
(5) $1/2NO_3^- + 5/4H^+ + e^- = 1/8NH_4^+ + 3/8H_2O$	+14.90	+6.15
(6) $1/6NO_2^- + 4/3H^+ + e^- = 1/6NH_4^+ + 1/3H_2O$	+15.14	+5.82
(7) $1/2CH_3OH + H^+ + e^- = 1/2CH_4(g) + 1/2H_2O$	+9.88	+2.88
(8) $1/4CH_2O + H^+ + e^- = 1/4CH_4(g) + 1/4H_2O$	+6.94	−0.06
(9) $FeOOH(s) + HCO_3^-\ (10^{-3}) + 2H^+ + e^- = FeCO_3(s) + 2H_2O$	—	−0.8[b]
(10) $1/2CH_2O + H^+ + e^- = 1/2CH_3OH$	+3.99	−3.01
(11) $+1/6SO_4^{2-} + 4/3H^+ + e^- = 1/6S(s) + 2/3H_2O$	+6.03	−3.30
(12) $1/8SO_4^{2-} + 5/4H^+ + e^- = 1/8H_2S(g) + 1/2H_2O$	+5.25	−3.50
(13) $1/8SO_4^{2-} + 9/8H^+ + e^- = 1/8HS^- + 1/2H_2O$	+4.25	−3.75
(14) $1/2S(s) + H^+ + e^- = 1/2H_2S(g)$	+2.89	−4.11
(15) $1/8CO_2(g) + H^+ + e^- = 1/8CH_4(g) + 1/4H_2O$	+2.87	−4.13
(16) $1/6N_2(g) + 4/3H^+ + e^- = 1/3NH_4^+$	+4.68	−4.68
(17) $1/2(NADP^+) + 1/2H^+ + e^- = 1/2(NADPH)$	−2.0	−5.5
(18) $H^+ + e^- = 1/2H_2(g)$	0.0	−7.00

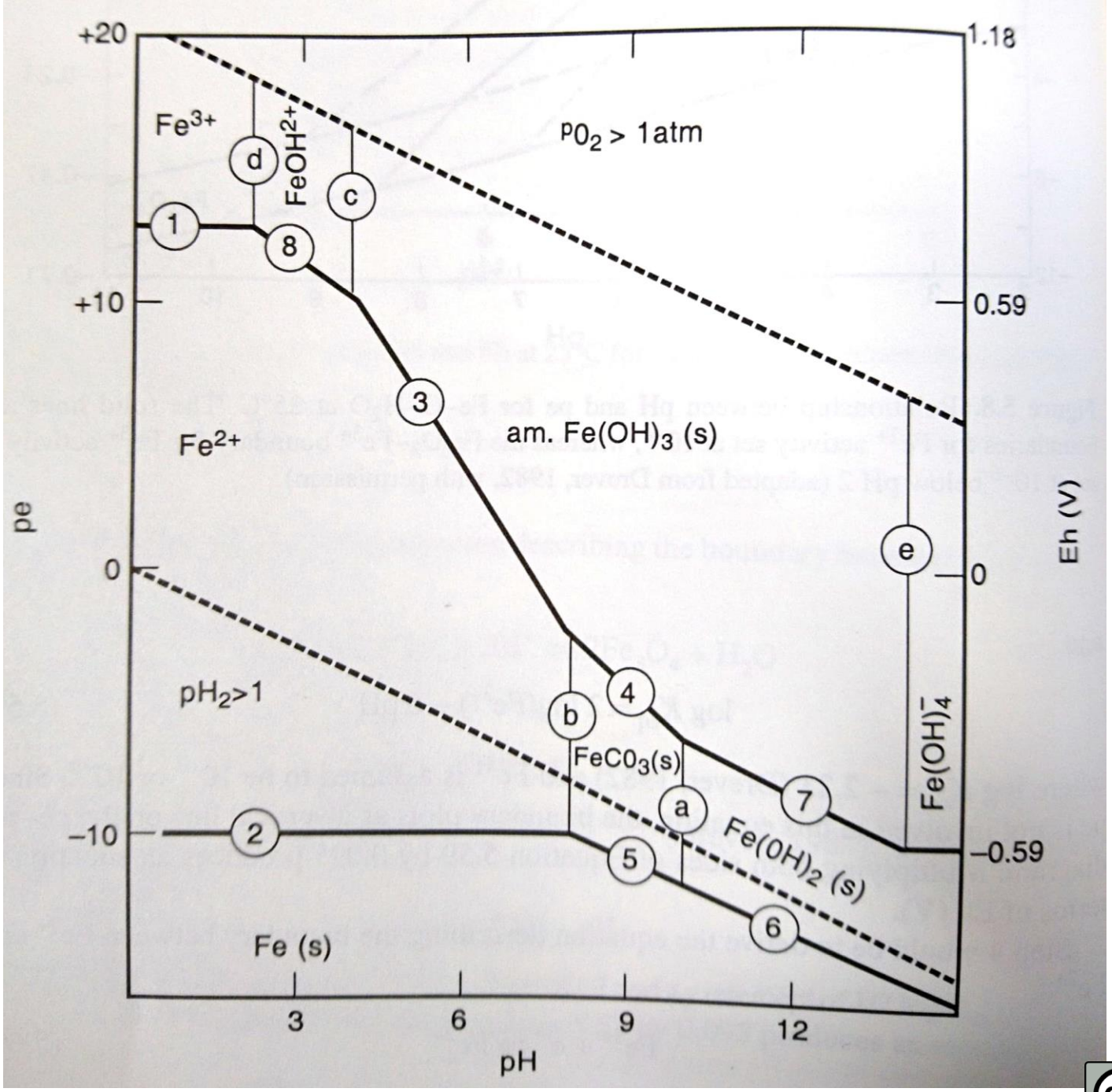
V.P. Evangelou, Envionmental Soil and Water Chemistry: Principles and Applications, 1998, Wiley

CC BY SA



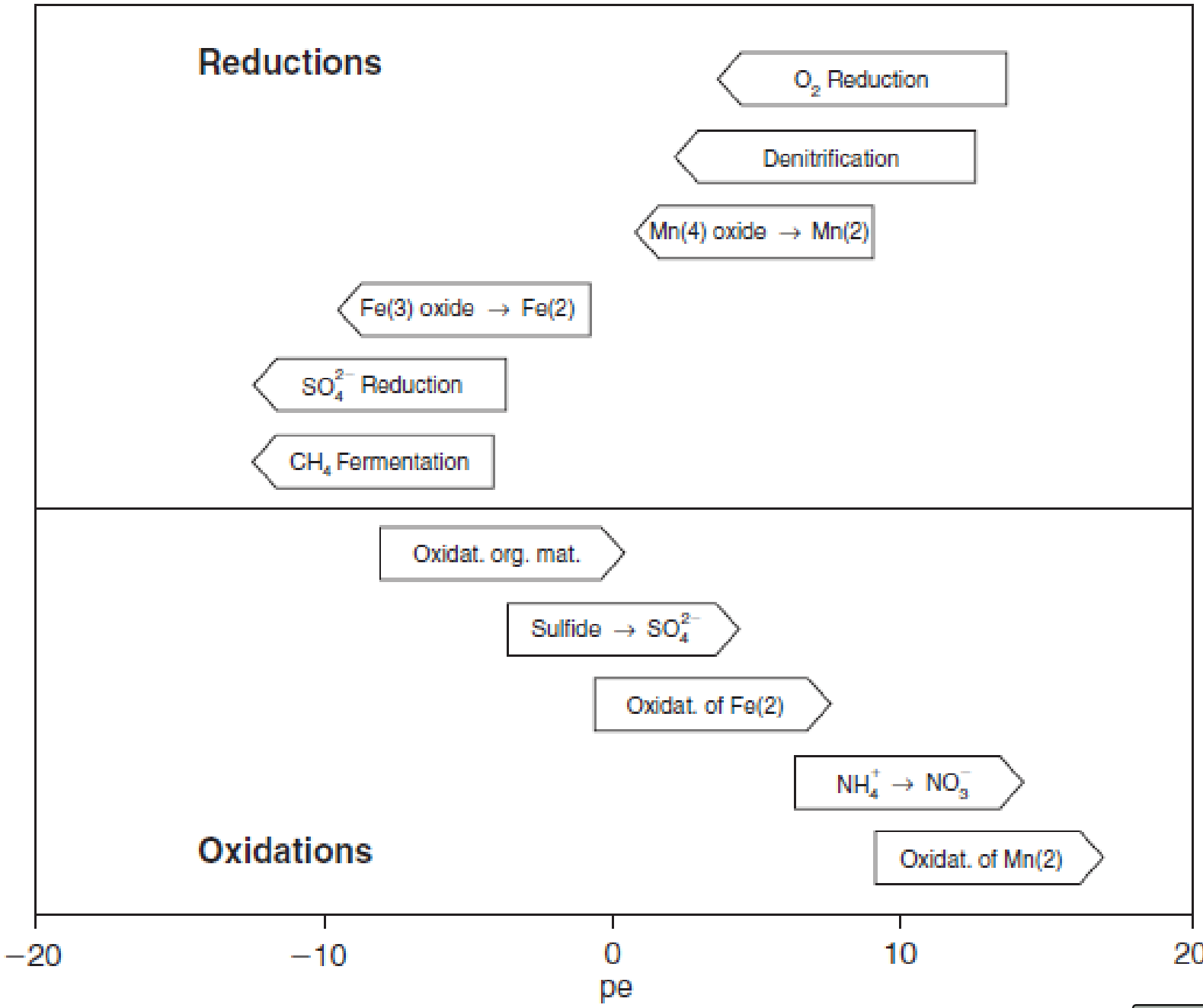
Evangelou V.P., Envionmental Soil and Water Chemistry: Principles and Applications, 1998, Wiley

cc BY SA



Evangelou V.P., Envionmental Soil and Water Chemistry: Principles and Applications, 1998, Wiley

cc BY SA

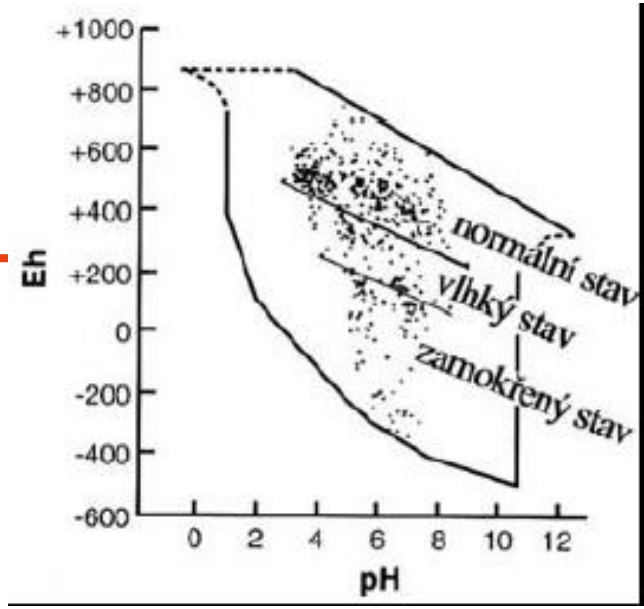


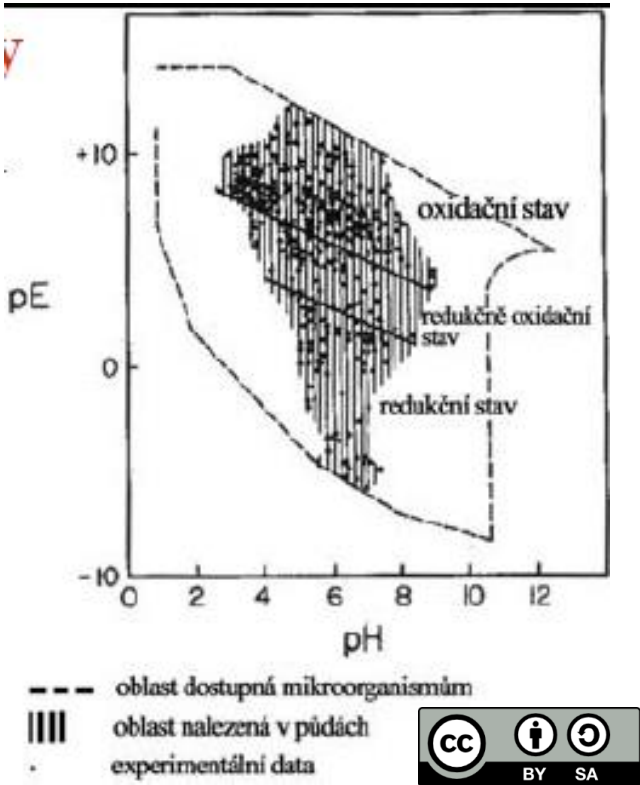
Appelo, C.A.J, Postma, D.: Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2005, A.A. Balkema Publishers, 2nd Edition, ISBN: 04-1536-421-3

CC BY SA

REDOX procesy v půdě

- každá REDOX reakce produkuje Eh plochu
- je to potenciál půdy bránit se změnám Eh (podobné jako pufrace pH)
- hlavní zdroj elektronů v půdě je O_2
  - za podmínek aerace tlumí půdní redukci
- propad elektronů zajišťuje org. hmota
  - za podmínek aerace tlumí oxidaci
- zaplavení odstraňuje kyslík -> redukce
- při redukci se účastní minerální redox páry
- na REDOX reakce má vliv řada faktorů
  - teplota, pH
  - mikroorganismy – katalyzují redox reakce





Appelo, C.A.J, Postma, D.: Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2005, A.A. Balkema Publishers, 2nd Edition, ISBN: 04-1536-421-3

CC BY SA

Měření REDOX potenciálu Eh (ORP)

- kalomelová referenční elektroda v kombinaci s platinovou
- kladné – oxidační stav/záporné – redukční stav
- pro zeminy nutná kalibrace pomocí měření známých roztoků o daném Eh
- přesnost je diskutabilní
  - elektrody mohou reagovat s kyslíkem a H_2S
  - vznikají povlaky oxidů a sulfidů
  - směsné Eh dané heterogenitou zeminy
  - vliv vlhkosti
  - pouze bodové měření – prostorová variabilita

CC BY SA

Prvek	Normální forma v oxidovaných půdách	Redukované formy v zamokřených půdách
Uhlík	CO_2, $C_6H_{12}O_6$	CH_4, C_2H_4, CH_3CH_2OH
Dusík	NO_3^-	N_2, NH_4^+
Síra	SO_4^{2-}	H_2S, S^{2-}
Železo	Fe^{3+}(oxidy)	Fe^{2+}
Mangan	Mn^{4+}(oxidy)	Mn^{2+}

Oxidovaná forma	Redukovaná forma	Eh (mV), při němž dochází ke změně formy
O_2	H_2O	380 až 320
NO^{3-}	N_2	280 až 220
Mn^{4+}	Mn^{2+}	220 až 180
Fe^{3+}	Fe^{2+}	110 až 80
SO_4^{2-}	S^{2-}	-140 až -170
CO_2	CH_4	-200 až -280

Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9

CC BY SA

Literatura

- V.P. Evangelou, Envionmental Soil and Water Chemistry: Principles and Applications, 1998, Wiley, ISBN:0-471-16515-8
- Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9.
- Appelo, C.A.J, Postma, D.: Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2005, A.A. Balkema Publishers, 2nd Edition, ISBN: 04-1536-421-3
- Meuniers, A., Clays, 2005, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 3-540-21667-7
- Chiou, C.T., Partition and adsorption of organic contaminants in environmental systems. 2002, Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience. x, 257 p.
- Weber, W.J., Physicochemical processes for water quality control. Environmental science and technology. 1972, New York,: Wiley-Interscience. xxvi, 640 p.
- Luthy, R.G., et al., Sequestration of Hydrophobic Organic Contaminants by Geosorbents. Environmental Science & Technology, 1997. 31(12): p. 3341-3347
- Rippelová, V.; Study and modelling of sorption mechanisms of volatile organic compounds in soils, Dissertation Thesis, 2018

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Chemie geosféry
B240008

Půdní organismy a biologická činnost v půdě

Autor: Marek Martinec, Jiří Kroužek
Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

Organismy v půdě

- půda pro organismy
  - je dynamickým bydlištěm pro nepřeberní množství životních forem
  - poskytuje mechanickou podporu pro rostliny, ze které mohou získávat živiny
  - poskytuje příbytek pro mnoho typů zvířat od červů a hmyzu až po savce jako jsou králíci, krtci, lišky atd.
  - tvoří se na ní kolonie mikroorganismů
  - všechny tyto organismy vzájemně interagují
- role půdní bioty
  - primární produkce stanoviště (rhizosféra)
  - biologická rekultivace stanoviště (protierozní účinek, biodegradace)
  - provzdušnění půdního horizontu
  - tvorba agregátové struktury půdního horizontu – polysacharidy jako tmel
  - dekompozice odumřelé OM – mineralizace, humifikace, toky energie
  - produkce bioaktivních látek – antibiotické látky a aminokyseliny po fixaci atmosférického dusíku
  - zdrojem potravy

CC BY SA

půdní edafon/půdní biota

Edafon

- společenstvo všech organismů v půdě
- představuje 1-10 % organické hmoty v půdě (suché hmotnosti)
  - fytoedafon: řasy, cyanobakterie, bakterie, aktinomycety, houby
    = půdní mikroflora (3/4 suché hmotnosti edafonu)
  - zooedafon: půdní fauna včetně heterotrofních Protozoa (1/4 celkové suché hmotnosti edafonu)
- Rozkládají a transportují složky z jedné části půdy do druhé.
- Provzdušňují půdu, zvyšují její porozitu a do půdy dodávají organické kyseliny a CO_2.
- Energii pro růst přejímají z oxidačního rozkladu komplexních molekul.
- Během dekompozice se organické formy mění na anorganické, jako jsou amoniak, fosfáty a sulfáty = **mineralizace**.

CC BY SA

Faktory ovlivňující činnost edafonu

- složení půdy
- vlhkost
- provzdušnění
- půdní reakce
- redox potenciál
- sorpce v půdě
- teplota
- rostliny
- kontaminace půdy

cc BY SA

Půdní organismy – dělení

Půdní organismy (edafon) jsou klasifikovány podle:

- taxonomie
- trofické pozice
- výskytu – preferované půdní vrstvy
- velikosti těla / ekologické funkce

- **půdní biota**
  - makrobiota – vše kromě mikrobioty
  - mikrobiota – bakterie, aktinomycety a sinice, houby a řasy

CC BY SA

Zastoupení organismů v půdě

Skupina	čerstvá hmota ($t.ha^{-1}$)
Bakterie	6,3
Houby	3,1
Prvoci	0,3
Mesoedafon (mimo háďátka)	1,8
Makroedafon (včetně háďátek)	1,0
Celkem	**12,5**

Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9

CC BY SA

Půdní biomasa

- **biomasa** – váha všech organismů.
- **mikrobiální biomasa** – váha organického uhlíku na hektar ($kg.ha^{-1}$)

- U obdělávaných půd tvoří **mikrobiální biomasa** přibližně 2 % organické půdní složky, v zatravněných a zalesněných oblastech je to asi 3 %.
- V běžných půdách obsah mikroorganismů kolem 0,5 % hm. Avšak ovlivňují značnou měrou procesy a vlastnosti půdy. 60 – 80 % metabolismů v půdě zajišťují mikroorg.
- Nejvíce mikrobiální hmoty a aktivity (80 %) je lokalizováno ve svrchních 20 cm půdního horizontu ve vazbě na kořenový systém a největší podíl zdrojů organických látek (opadu)

CC BY SA

Půdní organismy - příklad

Např. 26 litrů organické půdy teplého lesa obsahuje:

a) 45 milionů jednobuněčných protozoí

b) 4 miliony hlístic a vířníků

c) 60 000 hmyzích zástupců včetně larev, mravenců brouků, stonožek, svinek

d) 150 žížal

Celková hmotnost těchto organismů dosahuje 120 g. K tomu se může vyskytovat až:

a) až 300 g hub, plísní a řas

b) až 900 g kořenů vyšších rostlin

c) až 1,3 milionů bakterií v 1 unci (28,3495 g)

CC BY SA

Půdní organismy – trofické dělení

- Příjem živin z půdy
  - Z půdního roztoku – osmotrofové (rostliny, mikroflóra, jednobuněční) – difúze a pasivní transport a pak transport přes membránu (pouze ionty a jednoduchá organika, složitá rozkládána extracelulárními enzymy)
  - Z pevné potravy – fagotrofové (fauna)
  - Mixotrofové – pomocí fagocytózy, tj. vychlípení membrány a obalení pevné částice do vakuoly (řasy, prvoci)
- Zdroj uhlíku
  - Heterotrofy – organické látky (živ., houby, většina bakterií, část archeí, některé rostliny)
  - Autotrofy – anorganické formy uhlíku – rostliny a řasy, některé bakterie a archea
  - Mixotrofní – kombinace obou
- Zdroj energie
  - Fototrofní – slunce (rostliny, řasy, sinice, některé bakterie, archea)
  - Chemotrofní – štěpení chemických vazeb redukovaných látek (ostatní)
- Donor elektronů (redukční ekvivalent)
  - Organotrofy – metabolizují organické látky (všechny eukaryota, některá prokaryota)
  - Litotrofy – anorganické
- Potřeba kyslíku (akceptor elektronů)
  - Aerobní – katabolismus je aerobní respirací
  - Anaerobní – alternativní metabolické dráhy, anaerobní respirace (produktem CO_2 a voda)/fermentace a jiné, kyslík toxický
  - Fakultativně aerobní – oba typy metabolismu
- Další specifické metabolické dráhy – fixace dusíku, metanogeneze, metanotrofie, autotrofní nitrifikace, oxidace železa, oxidace a redukce síry

CC BY SA

Půdní organismy – trofické dělení

- saprofágové či saprotrofové / detri(ti)vorové / dekompozitoři, reducenti
  - zahrnují mikrobivory (fungivory + bakteriovory)
  - zahrnují nekrofágy (mrchožrouty - carrion feeders, scavangers)
- fytofágové / herbivorové (kořínky nebo řasy)
- zoofágové / karnivorové / predátoři - dravci
- **producenti** - jsou to rostliny – fixují uhlík z atmosférického CO_2 během fotosyntézy
- **konzumenti** – živí se rostlinami a jinými organismy
- **dekomponenti, reducenti** – využívají uhlík z organického materiálu (oxidační reakce)

CC BY SA

Půdní organismy – dle výskytu

Skupiny podle preferované půdní vrstvy:

- Euedafon - stále žijící v půdě, geobionti
  - žijící ve větší hloubce
- Hemiedafon - vyskytuje se občas v půdě
  - v nejsvrchnější vrstvě minerální půdy a v opadové vrstvě
- Protoedafon - v půdě žijí jen určitá vývojová stádia, geofilové
- Pseudoedafon - vyskytuje se v půdě občasně: úkryt, hibernace, získávání potravy
- Tychoedafon - náhodný výskyt v půdě
- Epigeon - žije na půdním povrchu (přímo, oproti hypergeonu, který žije na vegetaci

CC BY SA

Dělení půdní fauny dle velikosti

- **makrofauna** (> 1 000 μm) – zahrnuje větší obratlovce, kteří žijí nebo vrtají v půdě (např. králíci, krtci)
- **mesofauna** (200 – 1 000 μm) – organismy obyčejně viditelné pouhým okem – žížaly, mravenci, termiti, brouci…)
- **mikrofauna a mikroflóra** (< 200 μm) – živočichové, rostliny a houby, které pouhým okem nevidíme

CC BY SA

Ekologické funkce skupin

- **Půdní fauny**
  - Transport org. zbytků v půdním profilu
  - Fragmentace rostlinných zbytků a promíchávání
  - Zlepšování aerace půdy a vytváření biopórů
  - Zlepšování půdní struktury
  - Trávení složitějších organických látek střevními symbionty
  - Tvorba prostředí pro rozvoj mikroflóry
  - Požírání mikroorganismů – stimulace růstu a aktivity
- **Půdní mikroflóry**
  - Transformace organické hmoty
  - Recyklace živin, zpřístupňování rostlinám
  - Imobilizace živin v půdě
  - Zlepšování půdní struktury (hyfy a extracelulární metabolity)
  - Fixace vzdušného kyslíku

CC BY SA

Rozdělení mesofauny

a) **arthropodi (členovci)** – roztoči, chvostoskoci, brouci, hmyzí larvy, mravenci, stonožky.
   - Obvykle požírači detritu ve spodní části humusového horizontu.
   - Mnoho druhů brouků žije přímo v půdě – nejdůležitější jsou koprofágové, kteří požírají trus herbivorů a zvyšují rychlost promíchání organických zbytků s půdou.
   - Mravenci, termiti – rozkládají všechny formy humusu, těla a větve stromů a listí.
   - Stonožky – karnivoři
   - mnohonožky – živí se zbytky vegetace.

b) nematodi (červi, hlístice) – nesegmentovaní červi, nejmenší z půdní mesofauny (0,5-1 mm)
   - hojní v půdě a humusové vrstvě
   - požírají kořeny, rostlinné zbytky, bakterie a někdy i protozoa.

CC BY SA

Rozdělení mesofauny

c) annelidi (kroužkovci) – nejdůležitější jsou žížaly

- zkonzumují listový humus, rychleji než všichni ostatní bezobratlí dohromady
- Jejich množství – až 800 m^{-3}
- Živí se výhradně odumřelými organickými zbytky, jejich povrch má vyšší pH, vyšší množství výměnného Ca, fosfátů a minerálního dusíku než okolní půda
- Prostřednictvím žížal rychlé včlenění organického materiálu z povrchu do vrchních částí půdního profilu.
- V půdách, jejichž pH < 4,5 jsou žížaly jen výjimečně.
- Ve smíšených lesech a půdách pastvisek jsou žížaly nejhojnější, naopak nejméně jich je v půdách jehličnatých lesů.

d) měkkýši – nejsou tak významní, průměrně 200-300 $kg.ha^{-1}$. Nejvíce – slimáků a hlemýžďů – požírají rostliny, houby, zbytky exkrementů.

CC BY SA

Půdní mikroflóra (prokaryota)

- **Bakterie a archea** – délka cca 1 μm, šířka 0,2 μm. Žijí ve vodním filmu na povrchu půdních částic ve velkém množství (1-4 x 10^9 g^{-1})
  - heterotrofní – pro růst vyžadují komplexní organické sloučeniny
  - autotrofní – tvoří své složky z jednoduchých anorganických sloučenin za využití sluneční energie (fototrofní bakterie) nebo energie z chemických reakcí (chemoautotrofní bakterie)
  - chemoautotrofy - oxidují např. sloučeniny železa a síry, při spotřebě organické části železohumátů se mohou podílet na vzniku ortsteinu

Bakterie mohou být děleny také **podle své potřeby molekul kyslíku**:

- **aerobní bakterie** – vyžadují kyslík
- **podmíněně anaerobní bakterie** – normálně využívají kyslík, ale jsou schopny adaptace na anaerobní podmínky využitím NO_3^- a jiných anorganických sloučenin
- **výlučně anaerobní bakterie** – rostou pouze v anaerobním prostředí

CC BY SA

Půdní mikroflóra

- **aktinomycety** – tvoří kolonie podobné houbám.
  - Během vegetativního stadia tvoří jemný větvící se systém vláken (asi 1 μm v průměru)
  - během reprodukce se vlákna rozpadají na menší části a někdy tvoří husté kolonie.
  - Jsou aerobní a méně tolerantní k půdní kyselosti než houby, ale lépe rozkládají lignin a komplexní organické sloučeniny než houby a bakterie.
  - Jejich počet v půdách je stejný jako u hub, ale biomasa je menší
- **řasy** – jsou fotosyntetické, proto se vyskytují na povrchu půd.
  - Mohou však růst i bez slunečního záření, pokud jsou k dispozici rozpuštěné jednoduché organické sloučeniny.
  - Cyanobakterie (modrozelené řasy) – nejdůležitější (např. rod *Nostoc*) – přeměňují atmosférický dusík a začleňují jej do aminokyselin, čímž přispívají k významu dusíku v půdách.
  - Cyanobakterie preferují neutrální až alkalické půdy, zatímco zelené řasy jsou hojnější v kyselých půdách.
  - Množství řas může být až 3×10^6 g^{-1}.

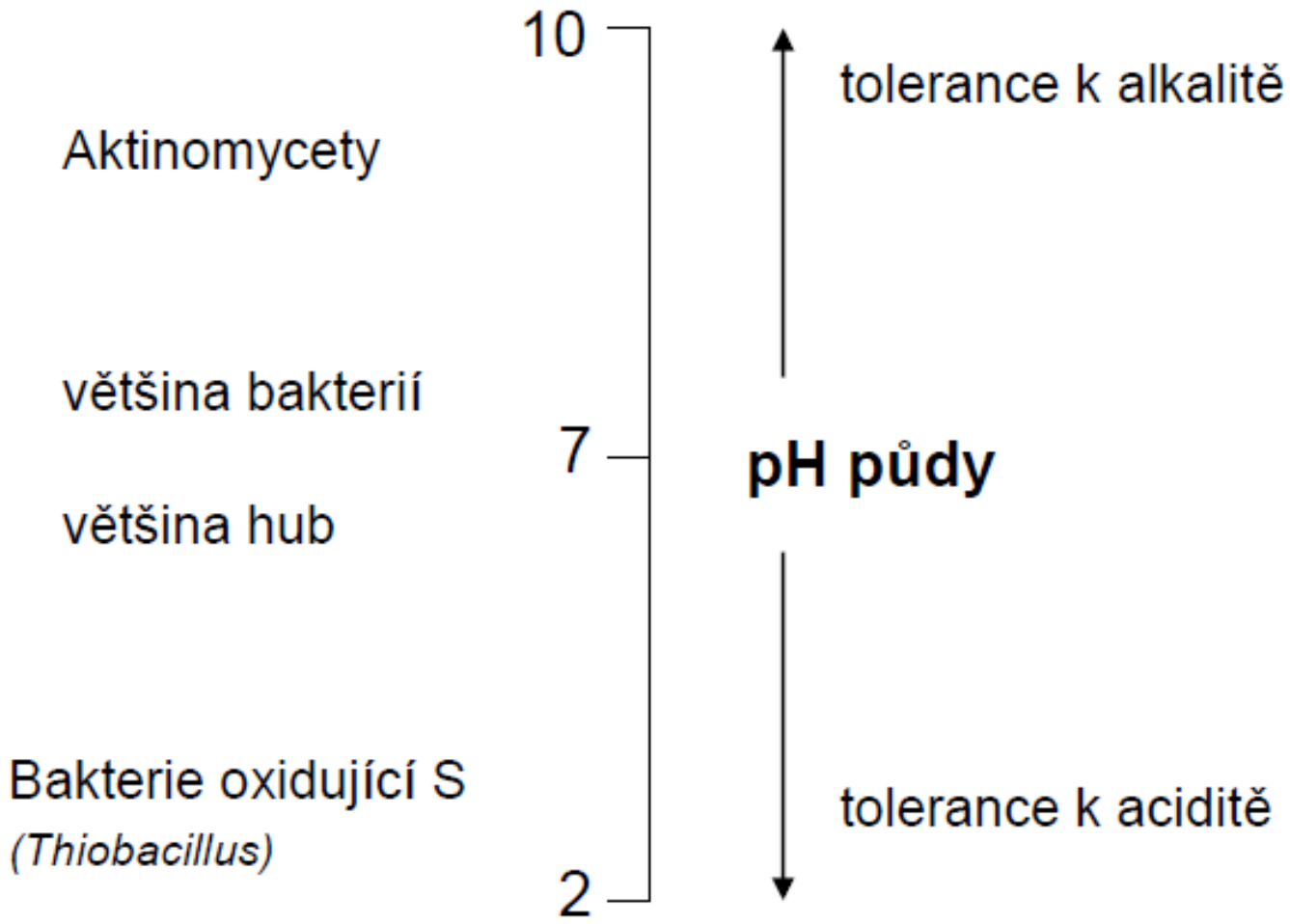
CC BY SA

Mikroflóra/mikrofauna

- **houby**
  - buď sídlí v půdách, kde se živí odumřelými organickými složkami, nebo se jedná o invadéry, jejichž spóry jsou umístěny v půdě, ale které klíčí a rostou pouze pokud je v blízkosti žijící tkáň hostitelské rostliny.
  - Houby produkují vláknité struktury (hyphae), jejichž průměr je okolo 1 μm a tvoří hustou síť (mycelium).
  - Hub je méně než bakterií (1-4 x 10^5 g^{-1}), ale jejich biomasa může dosáhnou ½ až 2/3 biomasy bakterií.
  - Houby lépe rostou v kyselých půdách (zvláště kde pH < 5,5) a jsou tolerantnější k variabilitě půdní vlhkosti než bakterie.
  - Všechny houby jsou heterotrofní a nejvíce jsou zastoupeny v humusové vrstvě a organicky bohatých povrchových horizontech půd.
  - Hrají důležitou roli ve vývoji půdní struktury.
- **protozoa** – nejmenší půdní živočichové (délka 5-40 μm).
  - Jedná se o jednobuněčné nebo nebuněčné organismy žijící ve vodních povlacích.
  - Všechna protozoa se živí mikroorganismy – bakterie, řasy, nematodi.
  - Kontrolují množství bakterií a hub v půdě.

CC BY SA

Nároky mikroorganismů na pH



Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9.

CC BY SA

Třídění edafonu dle fyziologických skupin

Koloběh dusíku:

- amonifikační
- nitrifikační
- denitrifikační
- diasotrofní (fixační)

Koloběh uhlíku:

- celulolytické
- amylolytické
- pektinolytické

Koloběh síry:

- sulfurikační
- desulfurikační

CC BY SA

Ekologická stechiometrie

- organismy potřebují energii (oxidace organických látek na jednodušší) a tvořit biomasu (živiny v poměru prvkového složení těla)

$(C + N + P)_{potrava} = C_{energie} + (C + N + P)_{syntéza}$

- lze určit limitující prvek pro život
  - dle zastoupení prvků ve vztahu k uhlíku
  - každý organismus odlišný poměr prvků – homeostatické (téměř neměnný pro daný druh)

využitelnost C = vytvořená biomasa/(respirace + vyt. biomasa)

kdy uhlík pro respiraci a biomasu = celk. příjem C

- může být až 60 %
- když využitelnost N = 1, pak C:N pro biosyntézu = využitelnost C * (C:N)potrava
  - když C:N biosyntéza < C:N organismu = N je v přebytku a vylučuje se
  - C:N biosyntéza > C:N organismu = nedostatek N, přestává se vyvíjet/množit
  - dlouhodobý nedostatek N může vést až vymizení populace či jeho náhradě za adaptabilnější organismus
  - potravou je rostlinná biomasa – různé poměry živin

CC BY SA

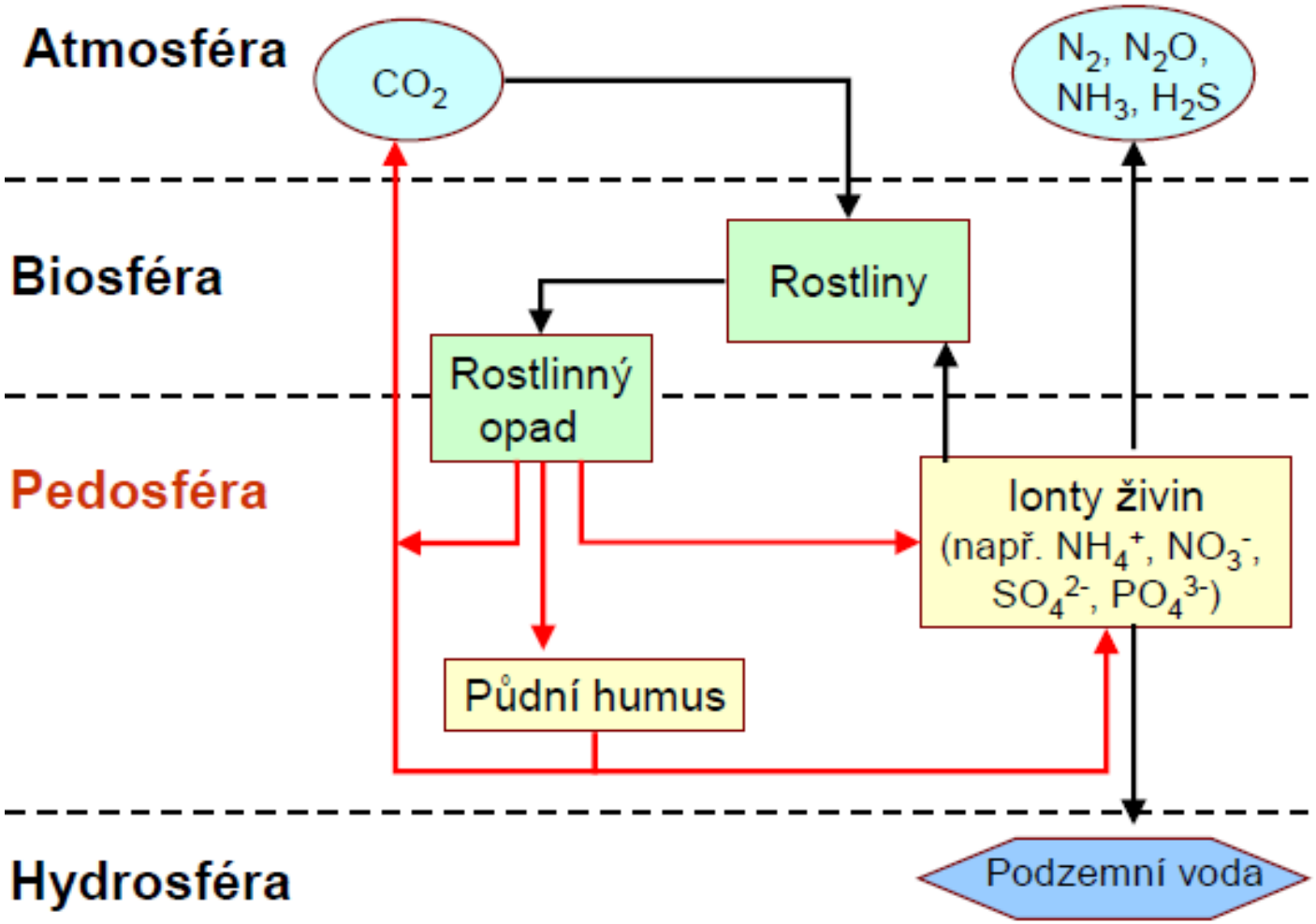
Ekologická stechiometrie

organická hmota/organismus	C	N	P
půdní organická hmota	1	0,16 – 0,039	0,16 – 0,0054
listy	1	0,04	0,025 – 0,001
kořeny	1	0,02	0,001 – 0,0001
dřevo	1	0,007 – 0,004	0,0005 – 0,00007
rhizodeponie	1	0,2 – 0,013	0,025 – 0,001
půdní mikrobiální biomasa	1	0,12	0,002
bakterie	1	0,16	0,011
houby	1	0,12	0,009
býložravý hmyz	1	0,15	0,009

ŠANTRŮČKOVÁ H., et al., Ekologie půdy, 2018. JČU České Budějovice, ISBN 978-80-7394-695-1

CC BY SA

Význam rozkladných procesů v koloběhu



Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9.

CC BY SA

Rychlost rozkladu

- dny – kořenové vlášení
- roky – silné kořeny
- desetiletí – dřevo

Roční míra rozkladu:

- borovice: horské podnebí – 2 %
- borovice: mírné klima – 25 %
- javor: mírné klima – 50 %
- tropický deštný prales – 400 %

- Povrchový rozklad – cca 5x pomalejší než podpovrchový.

CC BY SA

Půdní enzymy

- zajišťují tok látek mezi abiotickou složkou a biotou
- na jejich aktivitě jsou závislé všechny biochemické transformace v půdě
- nezbytné pro mobilizaci živin a štěpení biopolymerů

- mohou působit uvnitř i vně buněk – ureázy, glykosidázy
- nebo pouze extracelulárně – celulázy, proteázy, lignolytické enzymy
- intracelulární – dehydrogenáza

- izoenzymy – směs enzymů produkovaných jedním či více organismy katalyzujícími stejnou reakci
- enzymatická aktivita – součet aktivit izoenzymů, nemusí korelovat s biologickou aktivitou (někdy se míjí účinkem kvůli heterogenitě a dynamice půd)
- enzymy (bílkoviny) jsou také rozkládány proteolytickými enzymy – mohou být stabilizovány vazbou na HK apod.
- abiontická látka – produkovaná biotou, ale oddělena (prostorově nebo časově)
  - v půdním roztoku
  - setrvává v dormantních či odumřelých buňkách, buněčných zbytcích
  - v exkrementech
  - na jílových minerálech, SOM či taninech

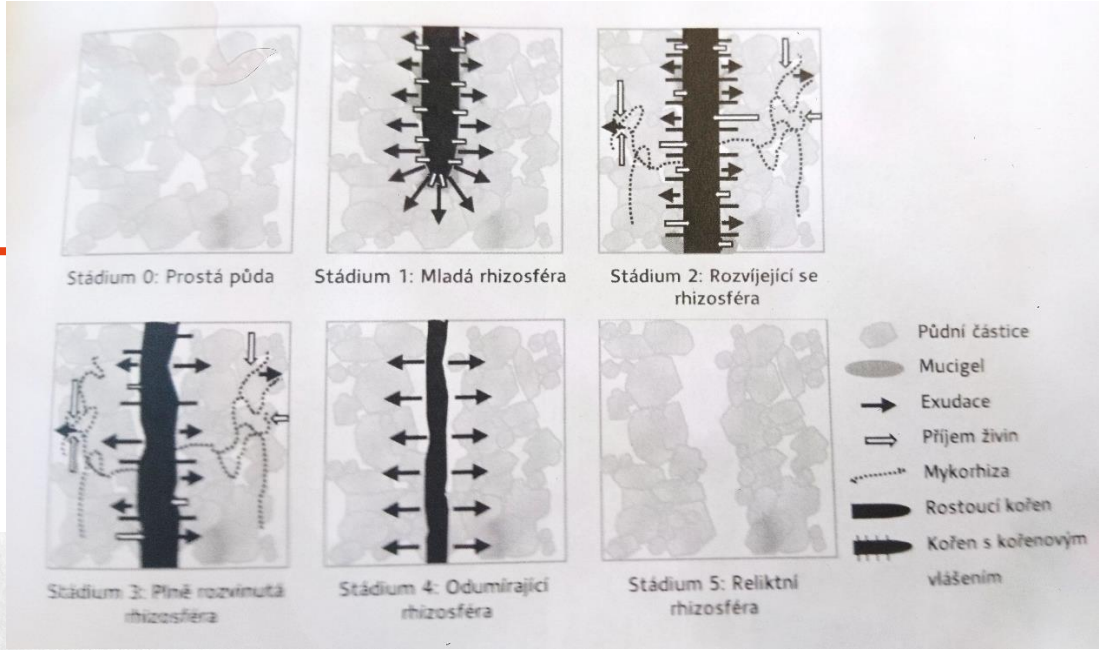
CC BY SA

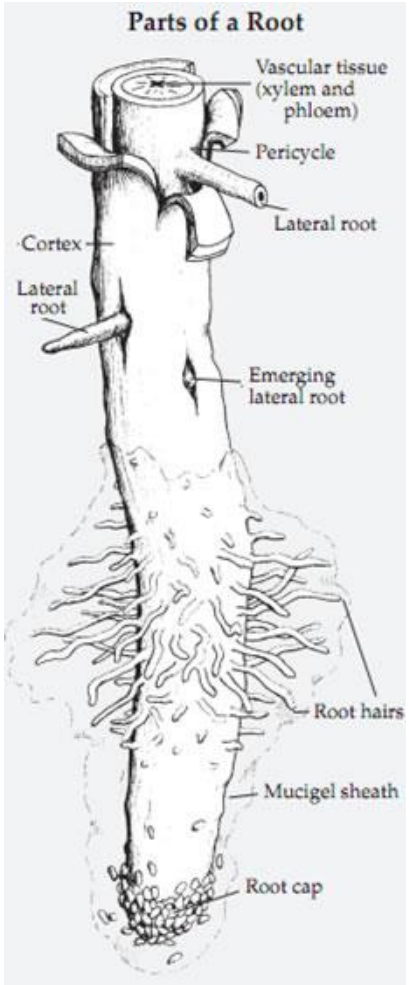
Rhizosféra

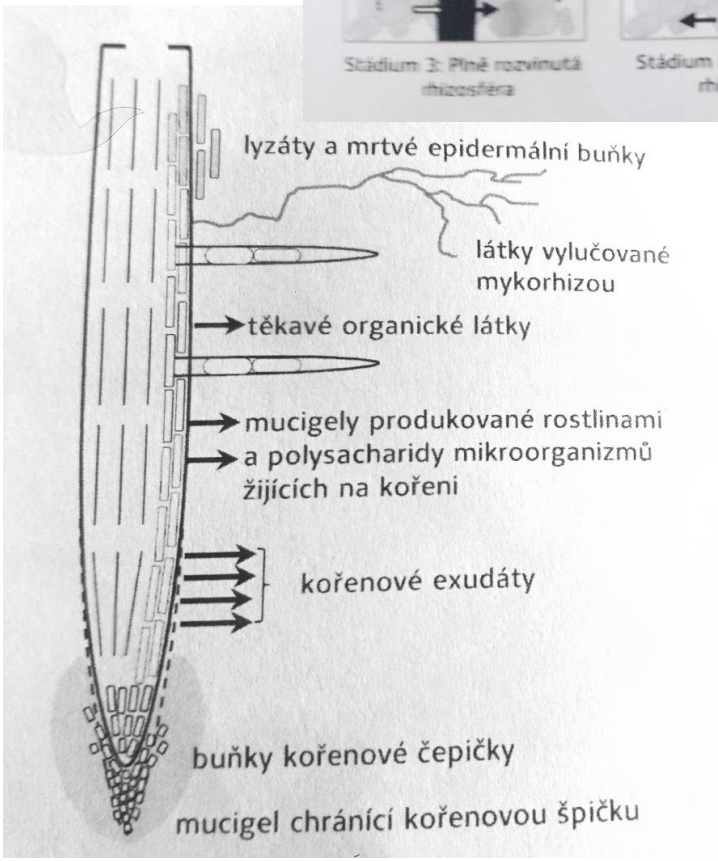
- oblast půdy ovlivňovaná kořeny rostlin
  - do vzdálenosti 1 – 5 mm okolo kořenů
  - kořeny rostlin tvoří největší složku živé organické hmoty v půdě
  - kořeny spotřebovávají kyslík, tvoří CO2, odčerpávají vodu a živiny z půdy, a vylučují anorganické a organické látky = rhizodepozice
  - rhizodepozice – jednoduché organické kyseliny, cukry, aminokyseliny, enzymy, vitamíny, hormony, siderofory, fenolické látky, až po komplexní nerozpustné sloučeniny (polysacharidy) a celé buňky – ovlivňují fyzikálně chemické vlastnosti okolí, zpřístupňují živiny, stimulují/inhibují mikrobiální růst, brání se proti patogenům
- dynamickým prostředím, kde se setkávají rostliny, mikroorganismy, voda a nutrienty a vzájemně spolu interagují.
- liší se od prostředí půdy díky aktivitě kořenů rostlin a jejich vlivu na organismy v půdě - rozdílné chem. složení, bohatší na rozložitelné látky, nižší pH a Eh.
- tvoří 5 až 25% objemu půdy
- je mnohem více oživená – o 1-2 řády více mikroorganismů i vyšších trofických úrovní na ně vázaných – dostávají více živin, a zpřístupňují je (symbióza) extracelulárními enzymy
- stimulace rozkladu organické hmoty – priming efekt = hnací síla transformací organických látek v půdě

CC BY SA

Rhizosféra







ŠANTRŮČKOVÁ H., et al., Ekologie půdy, 2018. JČU České Budějovice, ISBN 978-80-7394-695-1

Ivanov, M.; Melichar, R.: Pedogeologie (Studijní materiály předmětu PřF:G8141). Masarykova univerzita v Brně: Přírodovědecká fakulta, 2007, Dostupné online: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2007/G8141/um/.

CC BY SA

Biofilm

- společenstvo mikroorganismů, vázané k určitému povrchu a obklopené polysacharidy, které buňky v biofilmu vylučují. Obecně totiž platí, že povrchy v přírodě vykazují větší koncentraci živin než jejich okolí
- díky statickému náboji je umožněno prokaryotním buňkách snadněji adherovat na povrch
- polysacharidové pouzdro kolem biofilmu pak společně s proteiny, nukleovými kyselinami a lipidy vytváří kolem shluklých buněk obalovou vrstvu, nazývanou matrix, která biofilmu poskytuje mechanickou stabilitu, zprostředkovává jeho adhezi k povrchu a vytváří polymerickou prostorovou síť, která jednotlivé prokaryotní buňky ukotvuje

Bakterie rostoucí v biofilmu musí bít schopny:

- růst pomalu,
- odolávat stresu z hladovění,
- regulují metabolismus podle signálů okolních buněk.

Výhody:

- jsou odolnější proti environmentálnímu stresu nebo působení antibiotik možná kooperace různých skupin mikroorganismů

CC BY SA

Bakterie v podzemní vodě

Přítomnost bakterií v podzemních vodách je pro člověka významná:

- pro bioremediace, tedy procesy, při kterém je metabolická aktivita bakterií využita k rozkladu nebezpečných polutantů,
- z hlediska znečištění zdrojů pitné vody potenciálně patogenními bakteriemi.

- Gram-negativní bakterie jako jsou Pseudomonas, Azotobacter, Neisseria, Maraxella a Acinetobacter) jsou nejčastěji nalezené v podzemních vodách.
- Gram-pozitivní bakterie nejsou příliš hojné v podzemních vodách.

CC BY SA

Patogenní bakterie v podzemní vodě

Escherichia coli	gastroenteritida, hemolyticko-uremický syndrom
Salmonella spp.	enterokolitida, endokarditida, zánět mozkových blan, perikarditida, reaktivní artritida, zápal plic
Shigella spp.	gastroenteritida, úplavice, reaktivní artritida
Campylobacter jejuni	gastroenteritida, Guillainův-Barrého syndrom
Yersinia spp.	průjem, reaktivní artritida
Vibrio cholerae	cholera
Legionella spp.	legionářská nemoc
Pseudomonas aeruginosa	zápal plic, infekce močových cest, bakteriémie
Mycobacterium spp.	choroby plic, choroby kůže a měkkých tkání

CC BY SA

Mikroorganismy v podzemní vodě

Viry

- Odhaduje se že 65 % nemocí z vody je způsobeno enteroviry (norovirus). Adsorpce virů na povrch částic může prodloužit dobu jejich přežití v podzemních vodách. Výzkumy ukazují, že viry z odpadních vod se mohou v podzemních vodách horizontálně šířit stovky metrů a vertikálně do cca 67 metrů.

Eukarya

- Podzemní voda obsahuje velké množství eukaryot, které lze nejčastěji najít poblíž vadózní (nesaturované) zóny.

Archaea

- Archea v podzemních vodách byly nalezeny až v hloubkách několik tisíc metrů. Amoniak oxidující a methanogenní archea jsou hlavními skupinami nalezenými v podzemních vodách.

CC BY SA

Biodegradace

= Biologické odbourávání organických látek.

- Biodegradaci provádějí mikroorganismy vzhledem k jejich bohatšímu metabolismu ve srovnání s vyššími organismy.
- Biodegradace se týká přírodních látek a látek antropogenního původu zejména perzistentní polutanty.
- Mezi nejzávažnější persistentní polutanty patří pesticidy (např. DDT nebo HCH), průmyslové chemikálie (např. uhlovodíky nebo polychlorované bifenyly), nežádoucí vedlejší produkty chemických výrob (např. dibenzo-p-dioxiny nebo polycyklické aromatické uhlovodíky).
- Proces, při kterém jsou využity mikroorganismy (ale často i makroorganismy, zejména rostliny) pro očistu znečištěné oblastí, se nazývá bioremediace.

CC BY SA

Přirozená atenuace

= proces "přirozeného snižování kontaminace" (přirozená atenuace - MNA) je definován jako souhrn dějů přirozeně se vyskytujících v životním prostředí, které bez lidského zásahu vedou k omezení množství, toxicity, mobility, objemu nebo koncentrace kontaminantů.

- Nejvýznamnějšími z těchto dějů jsou degradace, disperze, ředění, sorpce, těkání, abiotická a chemická transformace a chemická nebo biochemická stabilizace kontaminantů.
- **Biodegradace představuje 95 % a více eliminace polutantů.**
- Přirozené snižování kontaminace je nejčastěji používáno v souvislosti s čištěním kontaminovaných zemin a podzemní vody, zejména na lokalitách s výskytem ropných produktů nebo polyaromatických uhlovodíků a dokonce i chlorovaných uhlovodíků nebo těžkých kovů.

CC BY SA

Zdroje

- Ivanov, M.; Melichar, R.: Pedogeologie (Studijní materiály předmětu PřF:G8141). Masarykova univerzita v Brně: Přírodovědecká fakulta, 2007, Dostupné online: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2007/G8141/um/.
- Schlaghamerský, J.: Pedobiologie (Studijní materiály předmětu PřF:Bi8001). Masarykova univerzita v Brně: Přírodovědecká fakulta, 2017, Dostupné online: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2017/Bi8001/um/.
- Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9
- REJŠEK, K., VÁCHA, R., Nauka o půdě, 2019, Agriprint, Olomouc, ISBN 978-80-87091-82-1
- ŠANTRŮČKOVÁ H., et al., Ekologie půdy, 2018. JČU České Budějovice, ISBN 978-80-7394-695-1

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Chemie geosféry
B240008

Geochemie prvků

Autor: Jiří Kroužek
Rok: 2022

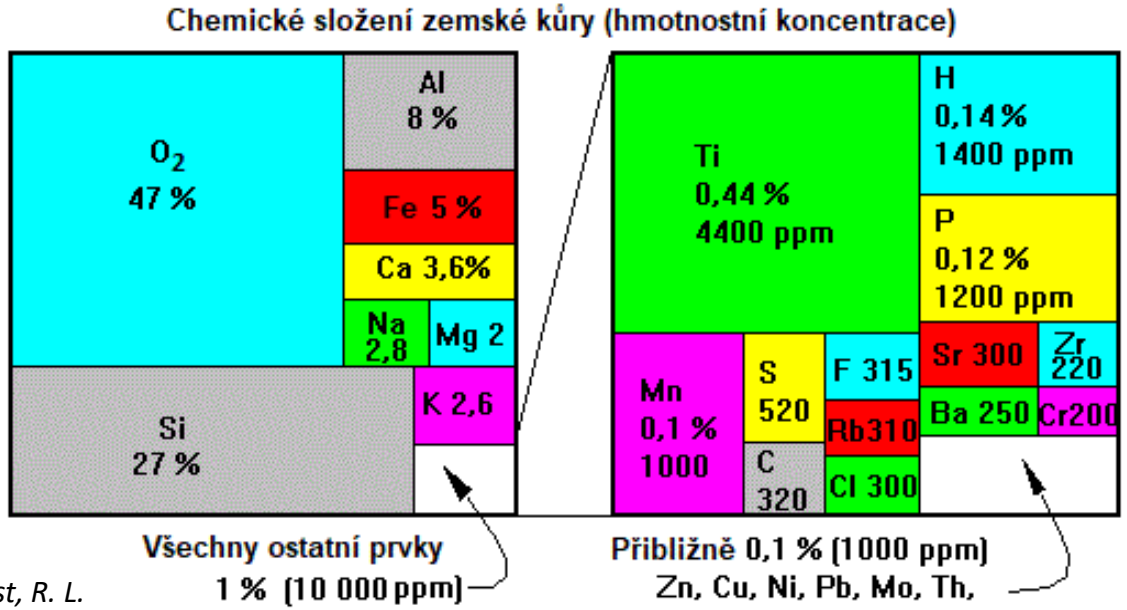
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

(Bio)Geochemické cykly – geochemie prvků

- biogeochemické cykly – cesta pohybu chemických látek (prvků) všemi složkami Země (tj. biosféry, litosféry (pedosféry), atmosféry a hydrosféry), jedná se o krátkodobé cykly
  - Biogeochemie = věda zabývající se studiem prvků (látek) a jejich toků (cyklů) v prostředích obývaných živými organismy a procesů ovlivňovaných živými organismy
- geochemické cykly – cesta pohybu prvků na povrchu a v kůře Země, zahrnuje geologické a chemické faktory, v geologickém světě zahrnuje i podpovrchové a vulkanické pohyby, nejedná se o krátkodobé změny
- **<u>C,N,P,K,S,Na,Ca,Mg (Fe,Mn,Cl)</u>**



CC BY SA

zdroj: *Composition of continental crust, R. L. Rudnick, University of Maryland*

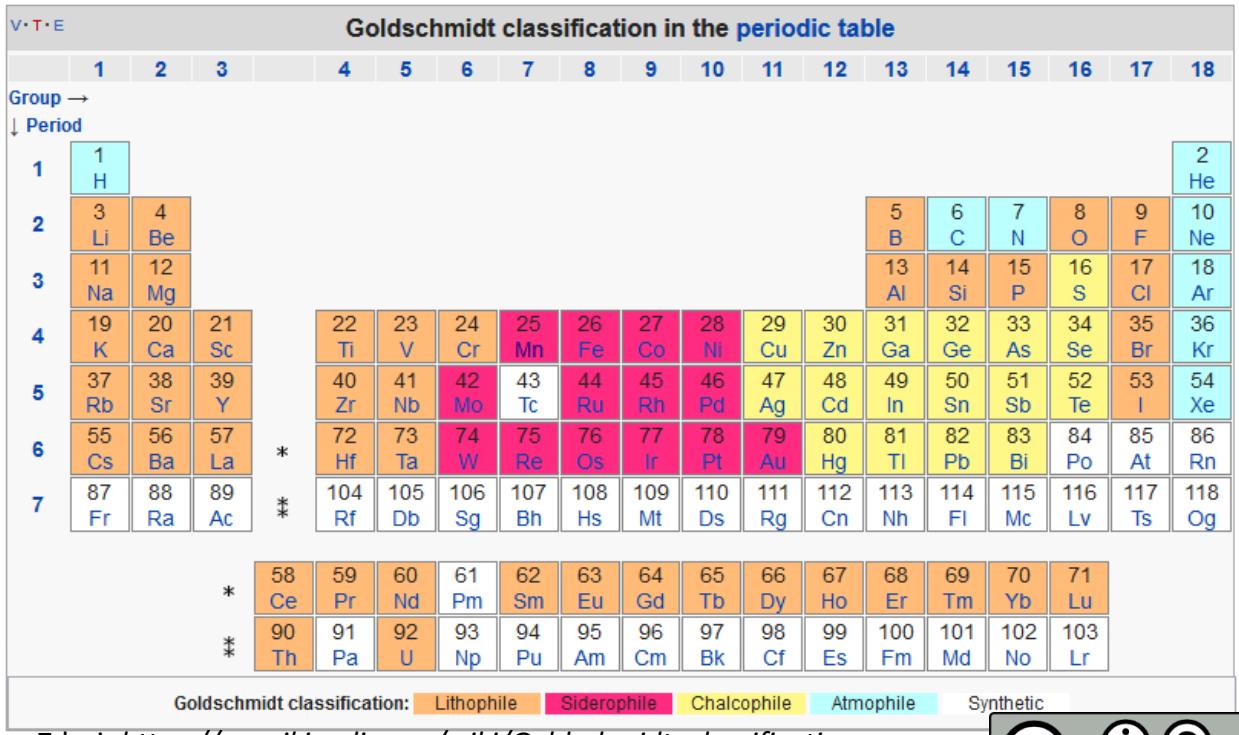
(Bio)geochemické cykly

- Chemické reakce zajišťují transfer prvků v různé formě a míře
- Různá afinita prvků k různým rezervoárům
- Koloběh určován anorganickými (minerální reakce v sedimentární oblasti, hydrotermální procesy) či biologickými procesy

Goldschmidtova klasifikace chemických prvků:

- Litofilní
- Siderofilní
- Chalkofilní
- Atmofilní
- Syntetické

Různá sféra kumulace, vazba na O/S, fyzikální vlastnosti, výskyt atd.



Zdroj: *https://en.wikipedia.org/wiki/Goldschmidt_classification*

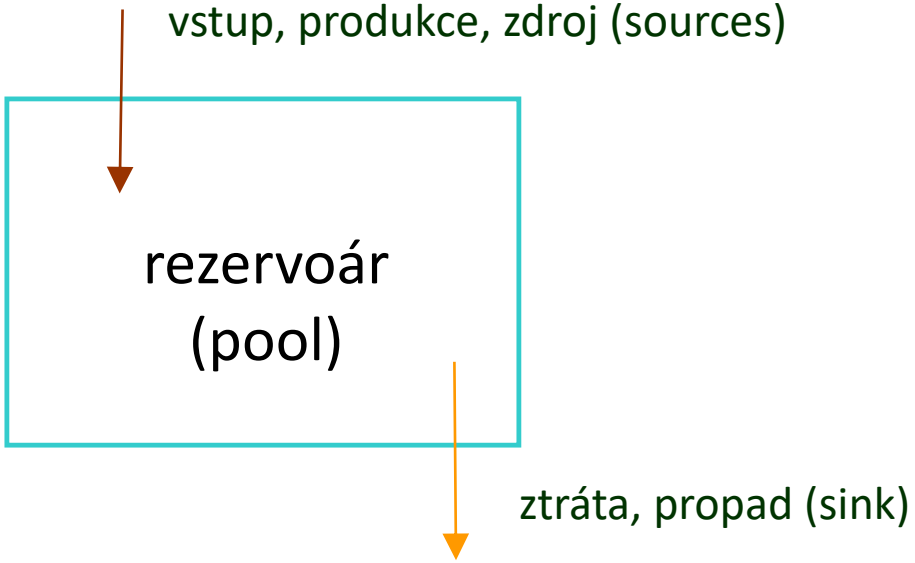
CC BY SA

Biogeochemické cykly - terminologie

- Uzavřený systém Země – ignoruje se příspěvek mimozemských výměn
- Rezervoár – liší se dle účelu studia (problematiky)
  - Obecně obsahuje určité množství materiálu ohraničitelné různými chemickými, fyzikálními či biologickými charakteristikami
  - Různé měřítko – globální, lokální (ekosystém, povodí, region atp.)
  - Otevřené systémy – umožňují výměnu hmoty
- Toky – rychlost výměny hmoty
  - Přímo měřitelné nebo nepřímo zjistitelné ze změn obsahu v rezervoárech
  - Procesy - geochemické (oxidace, rozpouštění), biochemické (respirace, fotosyntéza aj.), fyzikální (vypařování, kondenzace, proudy atd.)
- Doba zdržení prvku – průměrná doba setrvání v rezervoáru
- Ustálený stav – častý předpoklad – tok na vstupu a výstupu z rezervoáru je stejný, většinou platné pouze omezenou dobu

CC BY SA

Biogeochemické cykly - terminologie



doba zdržení
(residence time)

látkové toky
(fluxes)

litosféra – hlavní rezervoár většiny prvků s dlouhou dobou zdržení

hydrosféra (oceány) – významný rezervoár některých prvků (Na, Cl, S)

atmosféra – nevýznamný rezervoár většiny prvků, s výjimkou N

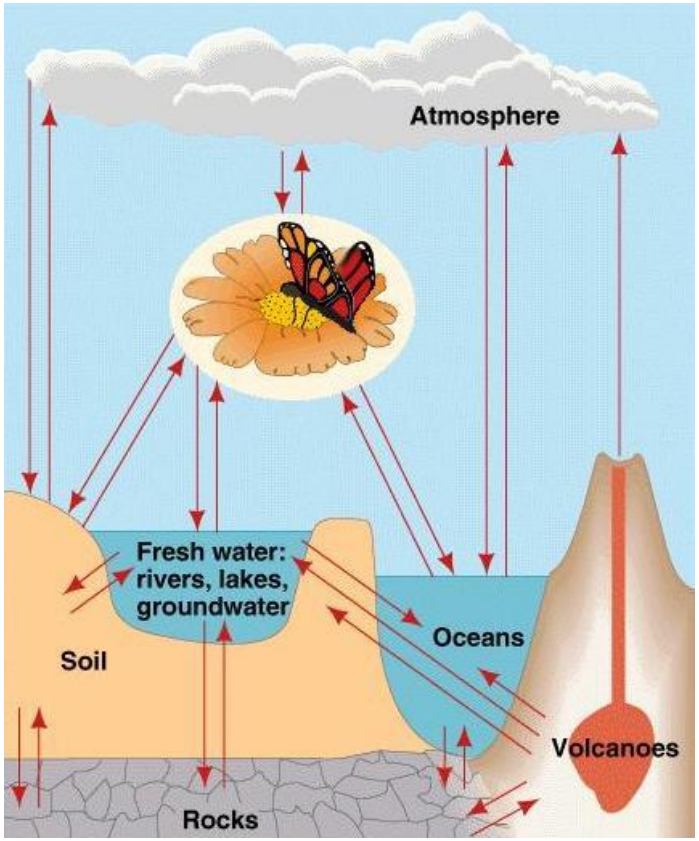
biosféra – malý rezervoár, ale s rychlým obratem

CC BY SA

Biogeo- versus geo-chemické cykly

Geochemický cyklus (horninový)

- toky mezi rezervoáry z hlubokých vrstev země na povrch a naopak
- procesy – vulkanismus, zvětrávání, metamorfóza, sedimentace, pohyby tektonických desek



Zdroj: *https://en.wikipedia.org/wiki/Biogeochemical_cycle*



Zdroj: *https://en.wikipedia.org/wiki/Geochemical_cycle*

CC BY SA

Zdroje prvků v půdě

- Přirozené primární
  - Nerosty, horniny, ložiska
- Přirozené sekundární
  - Produkty přírodních pochodů
  - Prachové bouře, sopečná činnost, atmosférická depozice
  - Atmosférické srážky, záplavy a jiné hydrologické procesy
- Antropogenní
  - Meliorační suroviny, hnojiva
  - Pesticidy, popílky, kaly, závlahy
  - Atmosférická depozice

CC BY SA

Procesy ovlivňující obsahy prvků v půdě

- Geologické a biologické koloběhy látek
- Uvolňování z vazeb (zvětrávání)
- Vyluhování
- Migrace prostředím
- Akumulace
- Biologické procesy
- Sekvestrace

CC BY SA

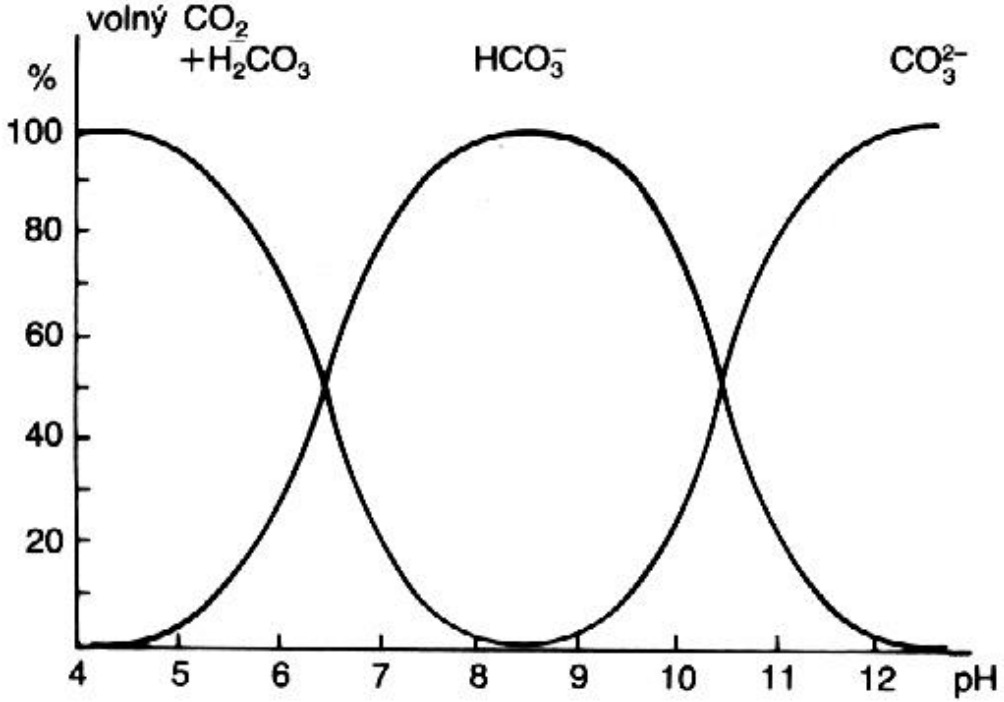
Geochemie uhlíku

- Nejdůležitější cyklus ze všech prvků z mnoha důvodů
  - život na Zemi, cykly ostatních prvků, hydrologický cyklus atd.
- Význam uhlíku
  - výskyt, reaktivita a rozpustnost uhlíkatých látek ve všech složkách ŽP
  - Zejména ve vodě – ovlivňuje pH, rozpustnost ostatních prvků
  - Cyklus C má dopad na klima, mořské zdroje, energetické zdroje
  - CO_2 se rozpouští ve vodě
    - slabá kyselina – pH deště 5,6
  - Chemické zvětrávání povrchu Země
    - rozpouštění iontů
  - Pufrace prostředí
    - dle obsahu uhličitanů
  - Produkce minerální (pevné) formy v půdě
  - Účastní se hodně REDOX procesů
    - Anoxické či suboxické (methan, OH) podmínky vs oxické (CO_2)

CC BY SA

Hydro(geo)chemie uhlíku

„Uhličitanová“ rovnováha:



http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3179&typ=html

$$H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^- \qquad K_W = [H^+][OH^-] = 10^{-14.0}$$

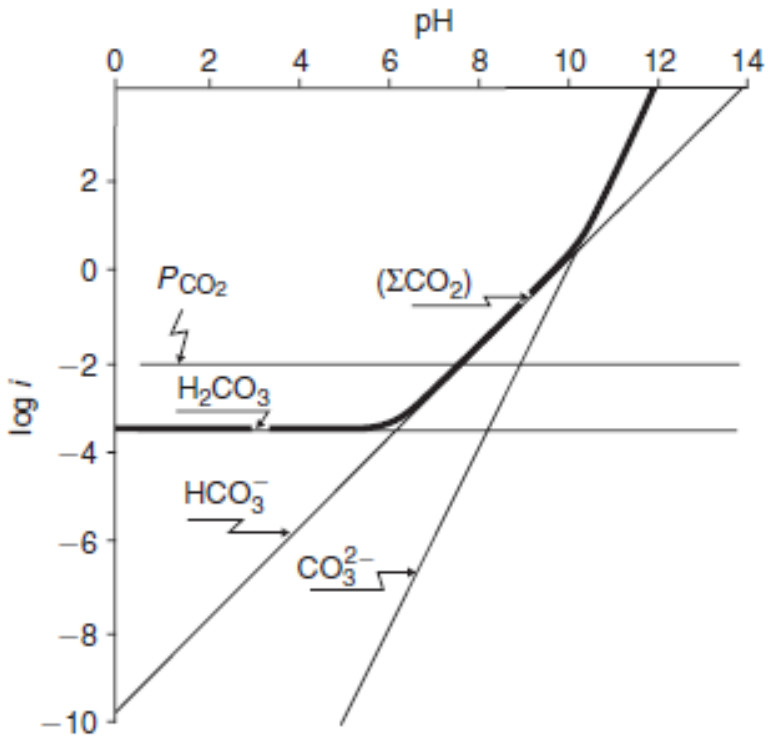
$$CO_{2(g)} + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3^* \qquad K_H = [H_2CO_3^*] / [P_{CO_2}] = 10^{-1.5}$$

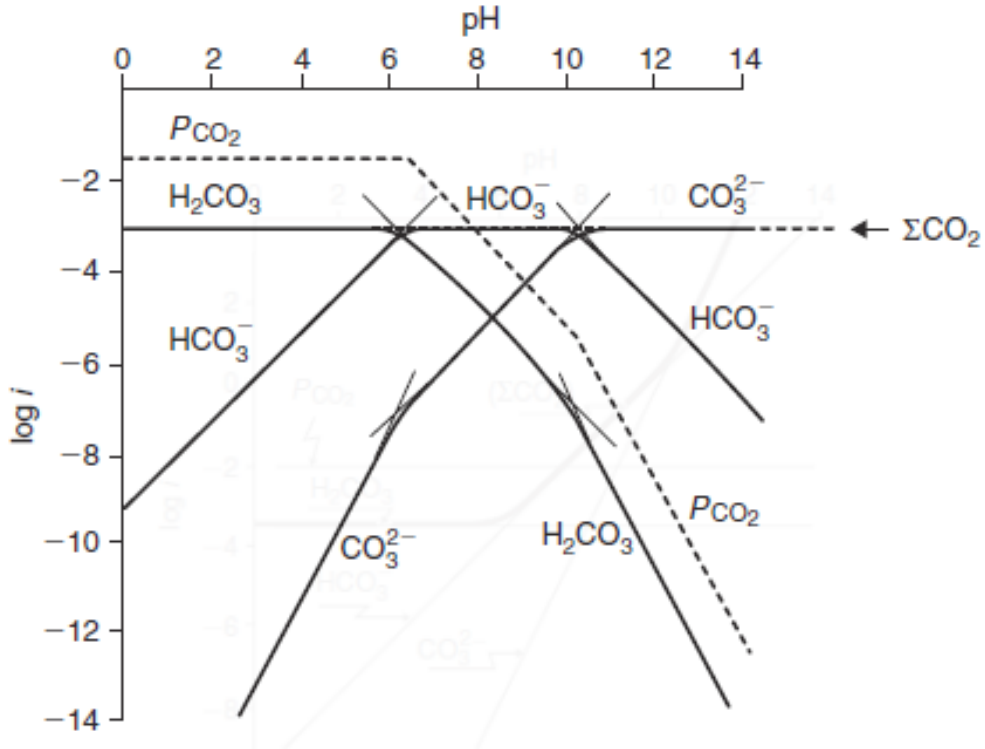
$$H_2CO_3^* \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \qquad K_1 = [H^+][HCO_3^-] / [H_2CO_3^*] = 10^{-6.3}$$

$$HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-} \qquad K_2 = [H^+][CO_3^{2-}] / [HCO_3^-] = 10^{-10.3}$$

cc BY SA

Hydro(geo)chemie uhlíku

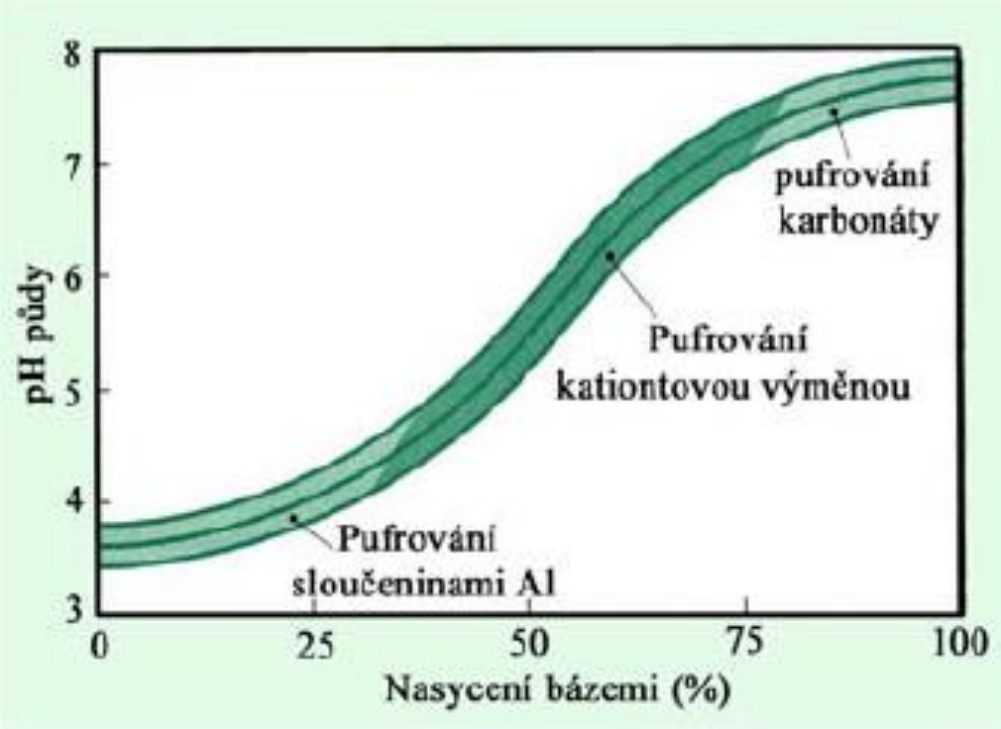




Appelo, C.A.J, Postma, D.: Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2005, A.A. Balkema Publishers, 2nd Edition, ISBN: 04-1536-421-3

CC BY SA

Hydro(geo)chemie uhlíku



Rozpouštění kalcitu:

$$CaCO_3 \rightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-}$$

Zvětrávání kalcitu – krasový jev:

$$CO_{2(g)} + H_2O + CaCO_3 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

Biologický rozklad OC a kořenová respirace:

$$CH_2O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$$

Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9

cc BY SA

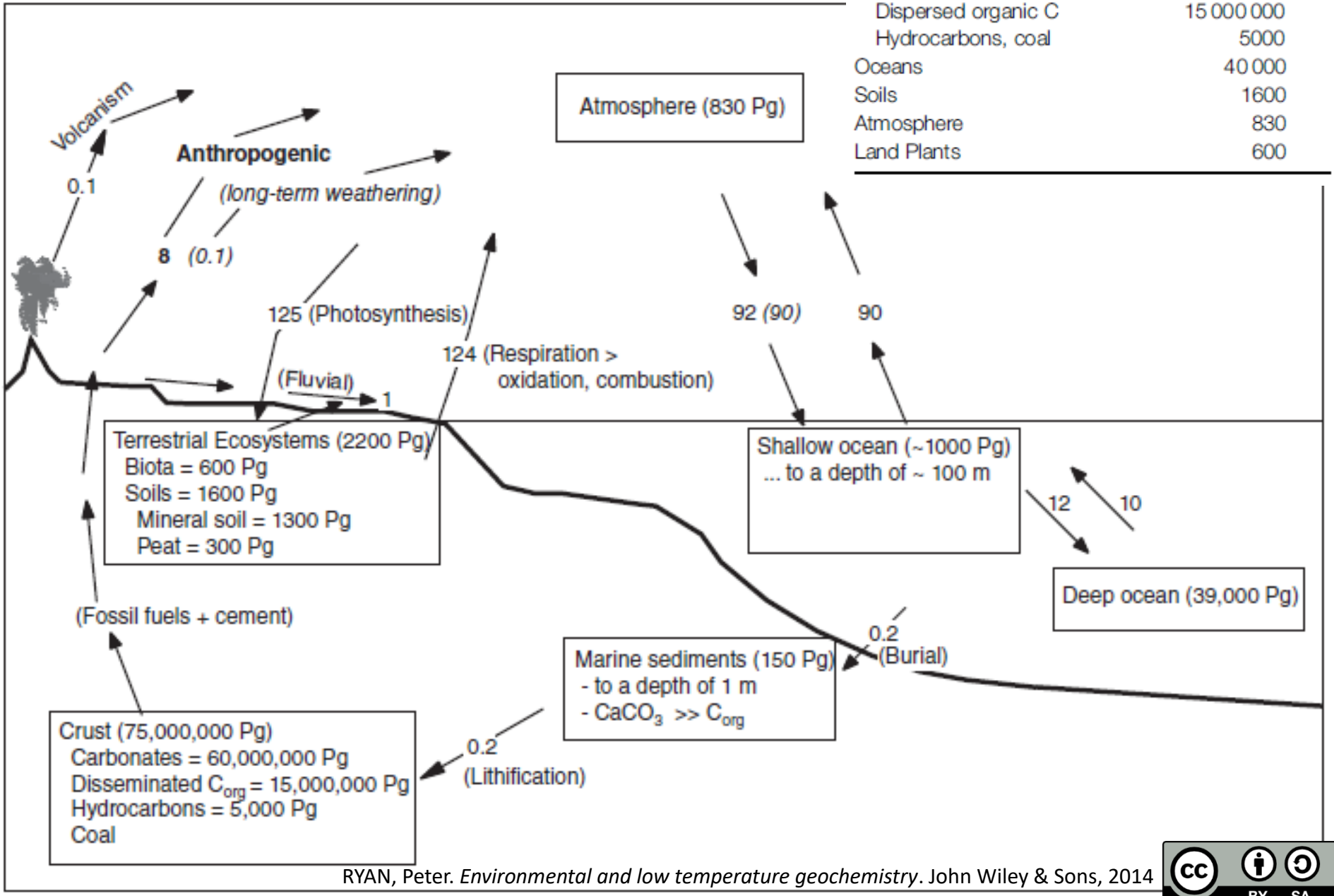
Zdroje uhlíku

- Přirozené zdroje
  - organismy (organická hmota, CO_2), mateční horniny (uhličitany), atmosféra
- Formy výskytu
  - CO_2 (méně methan, CO)
    - dýchání organismů, atmosféra, půdní vzduch, rozpuštěný v půdním roztoku
    - fotosyntéza, okyselování půd
  - Organická hmota
  - Uhličitany
    - Zejména kalcit, dolomit + aragonit, siderit, magnezit
    - Zdroje – primární z mateční horniny, sekundární – srážení, vápnění, depozice
    - Význam – pufrace, sorpce, živiny Ca a Mg, půdotvorné procesy, geologické procesy
    - Bohaté půdy – rendziny, černosoly, vertisoly, šedozemě, hnědozemě

CC BY SA

Geochemický cyklus uhlíku

Reservoir	Amount (x 10^{15} g C)
Crust	75 000 000
Carbonate rocks	60 000 000
Dispersed organic C	15 000 000
Hydrocarbons, coal	5000
Oceans	40 000
Soils	1600
Atmosphere	830
Land Plants	600



RYAN, Peter. *Environmental and low temperature geochemistry*. John Wiley & Sons, 2014

CC BY SA

Fixace uhlíku do zemské kůry

Hlavní mechanismus – zvětrávání a fotosyntéza

- Uhličitanové horniny
  - z atmosféry zvětrávání silikátových minerálů H_2CO_3
  - Fluviální (řiční) transport Ca^{2+} a HCO_3^- do moří
  - Buď alkalizace prostředí nebo mořská fauna může mediovat vznik uhličitanu
  - Sedimentace, kompakce a cementace
  - Rozpuštění – anorganický uhlík (DIC) (vs orga. DOC)

$$CaSiO_3 + 2H_2CO_3 + H_2O \rightarrow Ca^{+2} + 2HCO_3^- + H_4SiO_{4(aq)}$$

- Organická hmota
  - Fixace fotosyntézou – fytoplankton
  - v oxických podmínkách reverzní reakce po odumření (dobrá cirkulace, provzdušnění) – rozklad mikroby nebo metabolismus zooplanktonu
  - Pokud sedimentují ke dnu mimo světlo – anoxický rozklad (anaeroby) na uhlovodíky – nejdříve humíny, pak viskozní kerogen (méně N,O,H – rozklad), část C na methan
  - Při rozkladu povrchových rostlin v anoxických podmínkách mokřadů dochází k postupnému vzniku uhlí – nutná kompakce a zvýšení teploty až na více než 200°C

$$106CO_2 + 16NO_3^- + PO_4^{-3} + 122H_2O + 19H^+ + E \rightarrow C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P + 138O_2$$

- Procesy fixace do sedimentů trvají desítky milion až miliardu let, fotosyntéza je rychlá
- Spalování uhlí a ropy a výroba cementu (vypálení $CaCO_3$ ze sedimentárních hornin při 900°C na CaO a CO_2) hlavní reverzní procesy – emise řádově překračují toky fixace uhlíku
- Důležitou fixací je také rozpouštění CO_2 v oceánech

CC BY SA

Uhlík v půdě

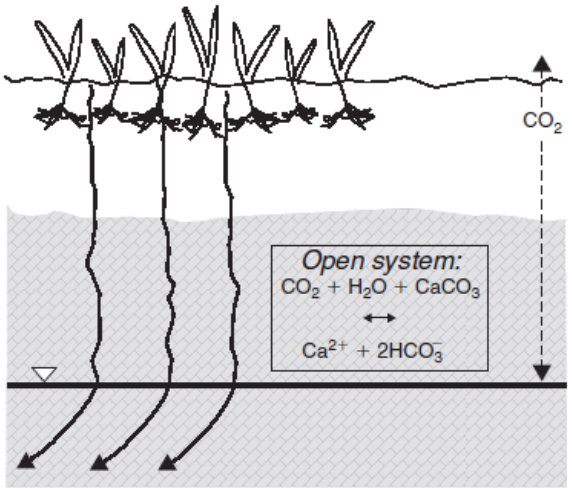
Koncentrace CO_2 v půdním vzduchu je o 1-2 řády vyšší než v atmosféře (jednotky procent)

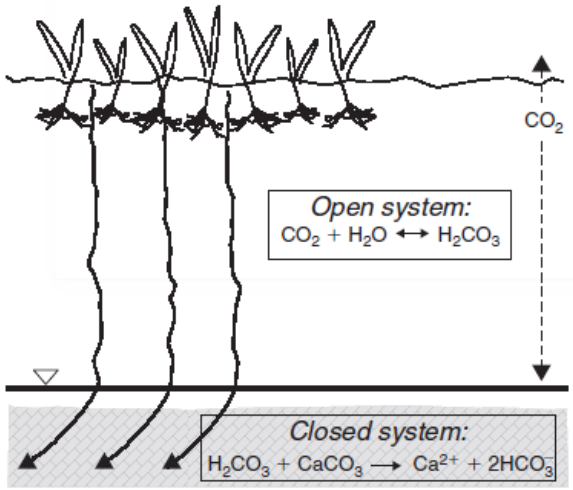
- Zejména produkce z rozkladu organiky a respirace kořenů
- Mírně narůstá s hloubkou - úniky ze svrchních vrstev do atmosféry (až 77 Gt C/rok)
- Sezónní variabilita dle bioaktivity - zejména u povrchu, v létě roste koncentrace (roste produkce) a v zimě klesá – závislost na teplotě
- Bioaktivita a tedy produkce CO_2 je závislá na dalších faktorech (voda, půda atp.) – pokles produkce při suchu, ale difúze do atmosféry
- Opačný propad z půdní respirace do podzemní vody pouze 0,2 Gt C/rok, podobně jako odtok povrchovými vodami do oceánu

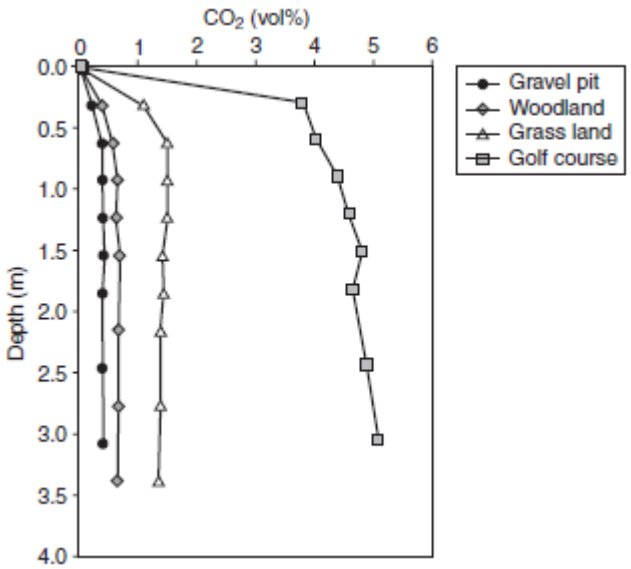
Naopak při vyšší koncentraci CO_2 ve vodě významně narůstá rozpustnost kalcitu – krasový jev, dedolomitizace (dolomit méně rozpustný)

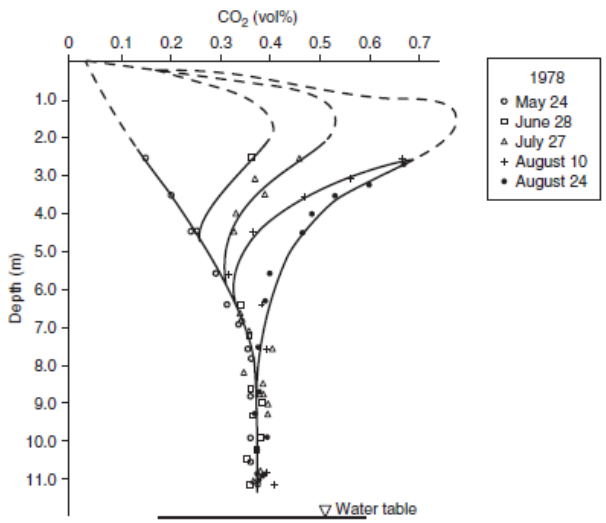
CC BY SA

Uhlík v půdě









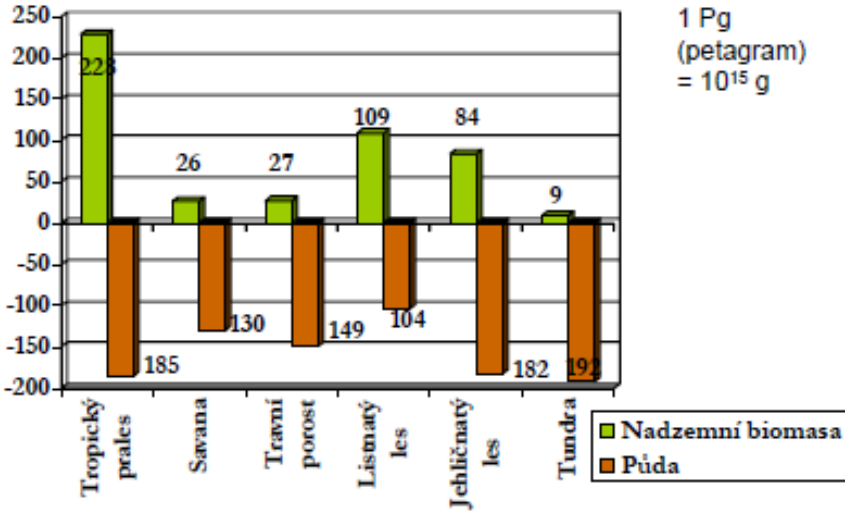
Seasonal fluctuations of soil CO_2 pressures in an unsaturated sand (Reardon et al., 1979).

CC BY SA

Appelo, C.A.J, Postma, D.: Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2005, A.A. Balkema Publishers, 2nd Edition, ISBN: 04-1536-421-3

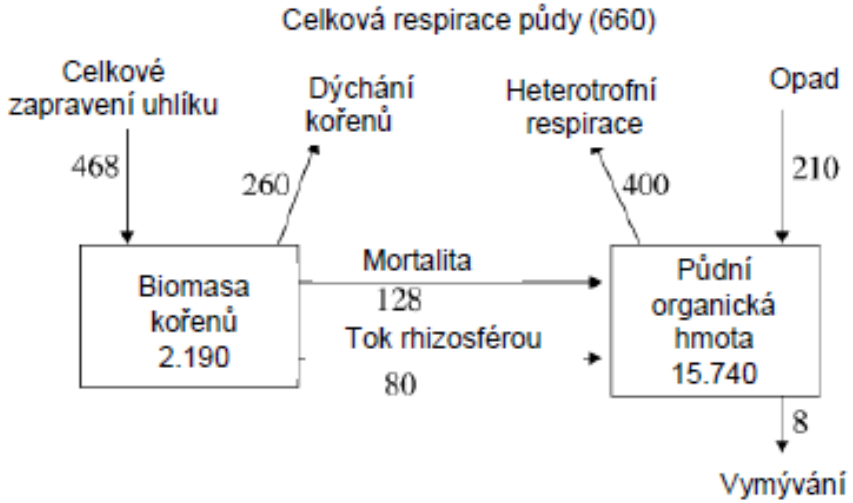
Uhlík v organické hmotě

Obsahy C v různých ekosystémech

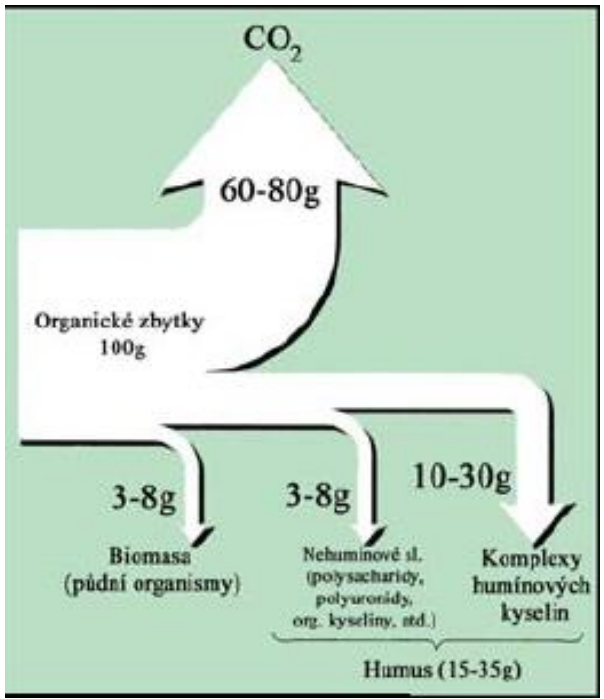


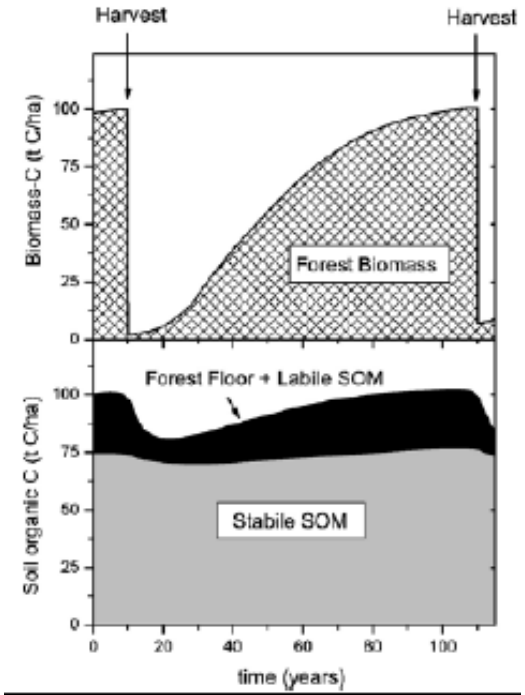
1 Pg (petagram) = 10^{15} g

Obsahy (g.m^{-2}) a toky (g.m^{-2}.rok^{-1}) C v lesní půdě (*Fahey et al.*, 2005)



Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9





- **Čistý sink středně starého smrkového lesa: ca. 200 g/m^2 C za rok (2 tuny/ha)**
- Nejvíce C se uloží v půdě, nikoliv ve dřevě!
- Mladé lesy po těžbě jsou ca. 20 let zdrojem CO_2 – mineralizace půdy
- Staré lesy jsou v rovnováze (nejsou ani sinkem, ani zdrojem)

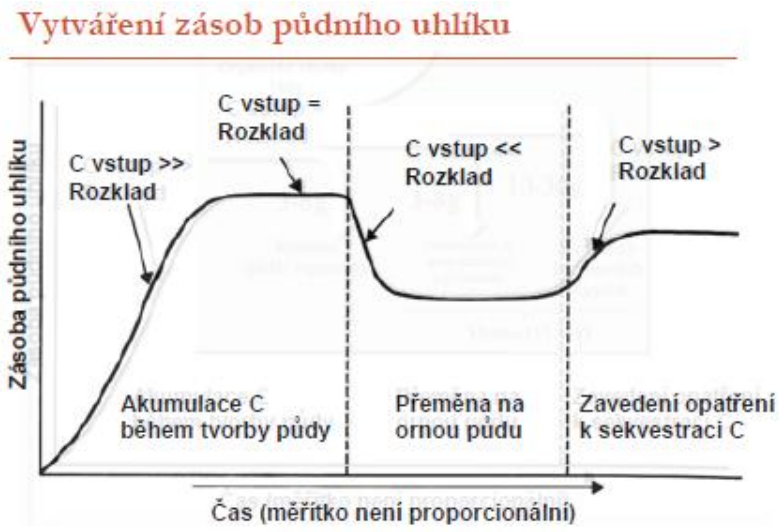
CC BY SA

Sekvestrace uhlíku

- Činnost lidí k fixaci CO_2
  - Fotosyntézou do ekosystému – zejména mořské řasy hnojené železem
  - Pozemní zalesňování
  - Geochemicky
    - Minerální karbonace
    - Injektáž CO_2 do uhličitanových hornin v hloubce

$$Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + 2H_2O + 3CO_2 \rightarrow 3MgCO_3 + 2SiO_2 \cdot H_2O_{(am)}$$

  - Pokročilé CC technologie – carbon capture – až recyklace C
- Sekvestrace do půdy – úprava orby apod.
  - Omezení mineralizace, dodávka org.hmoty, omezení eroze
  - Pomalé, ztráty OH, drahé, společensky nezajímavé



Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9

CC BY SA

Geochemie dusíku

- Lidé ovlivnili koloběh nejvýznamněji u dusíku
  - Využití nereaktivního N_2 na čpavek, dusičnany a NOx
  - Vzdušný dusík využívá velmi malé množství mikrobů
  - Produkce hnojiv, spalování paliv, živočišný odpad
- Důsledky:
  - Eutrofizace ekosystémů – snížení biodiverzity
  - Kyselé deště
    - acidifikace povrchových vod a lesů
    - ztráty nutrientů z ekosystémů
  - Zvýšení koncentrace N_2O (skleníkový plyn)
  - Produkce NOx a fotochemický smog
- Význam:
  - hlavní složka zemské atmosféry
  - důležitý biogenní prvek
  - limitující prvek ve většině terestrických ekosystémů - (Liebigův zákon minima)

CC BY SA

Formy dusíku

Species	Name	Oxidation State
NH_3	Ammonia	N^{-3}
NH_4^+	Ammonium ion	N^{-3}
$(NH_2)_2CO$	Urea	N^{-3}
N_2H_4	Hydrazine[a]	N^{-2}
NH_2OH	Hydroxylamine[a]	N^{-1}
N_2	Molecular nitrogen (N_2 gas)	N^0
N_2O	Nitrous oxide	N^{+1}
NO	Nitric oxide	N^{+2}
HNO_2	Nitrous acid	N^{+3}
NO_2^-	Nitrite anion	N^{+3}
NO_2	Nitrogen dioxide	N^{+4}
HNO_3	Nitric acid	N^{+5}
NO_3^-	Nitrate ion	N^{+5}

- Anorganický N v půdě:
  - Dusičnanový
  - Dusitanový
  - Amoniakální
- Organický N v půdě
  - Bílkoviny, peptidy, aminokyseliny
  - Nukleové kyseliny, chitin, aminosacharidy
  - Huminové látky
  - ostatní

RYAN, Peter. *Environmental and low temperature geochemistry*. John Wiley & Sons, 2014

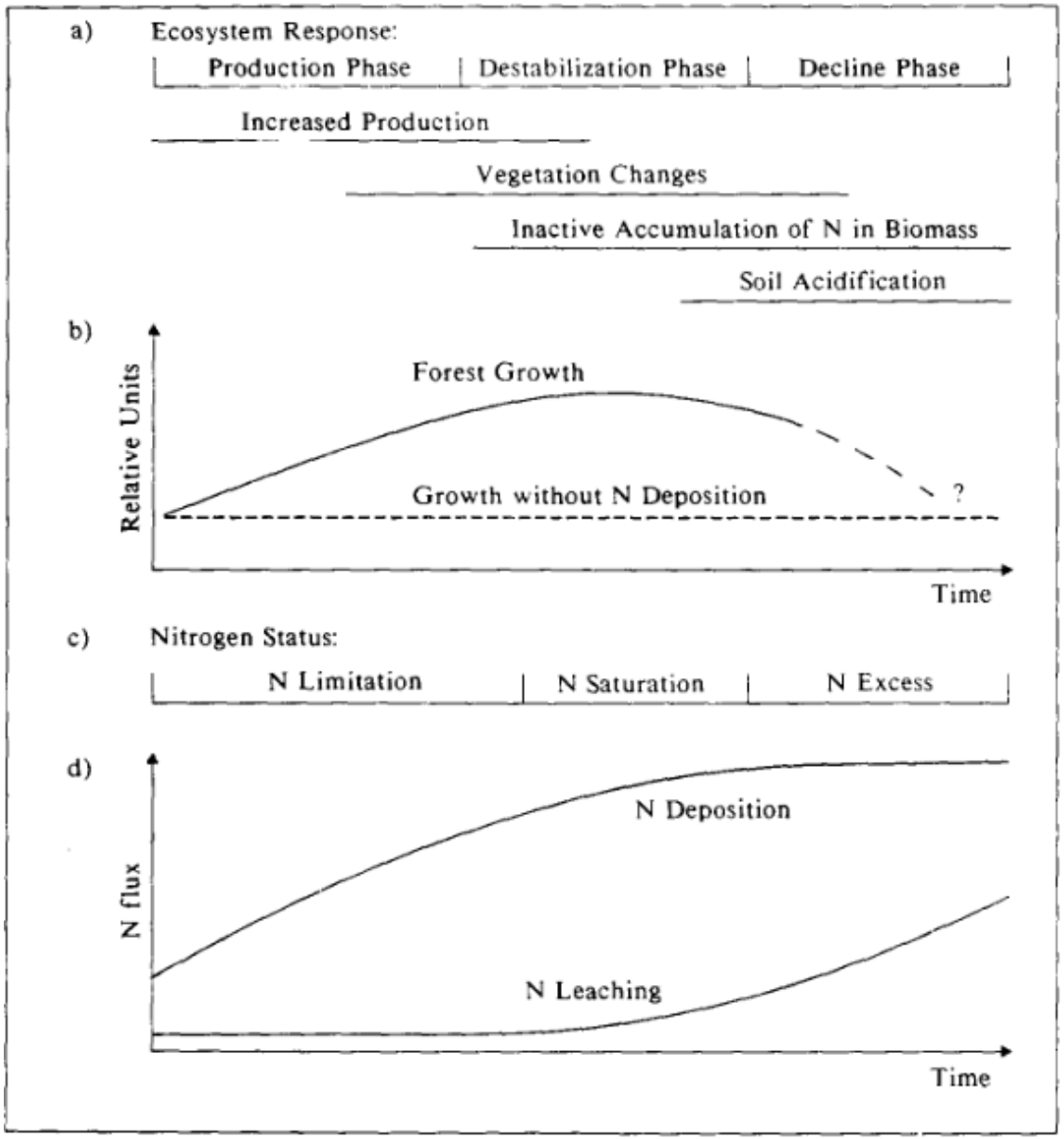
CC BY SA

Biogeochemie N

- všechny organismy potřebují N (asimilace – biosyntéza aminokyselin)
- ve tkáních v redukovaném stavu -> preference příjmu NH_4^+, ale většinou preference směsi s NO_3^- oproti jednotlivým formám
- rostliny přijímají i organický N (nízkomolekulární) – přímo nebo mykorhizou
- NH_4^+ většinou fixován v půdě (jíly, organická hmota) – abioticky adsorpcí dle pH a KVK atd., okyseluje půdu
- NO_3^- většinou v půdním roztoku, mobilní, pouze při nižším pH adsorpce na koloidy, spíše zvyšuje pH vylučováním OH^-
- vzájemná vazba pH a příjmu rostlin

CC BY SA

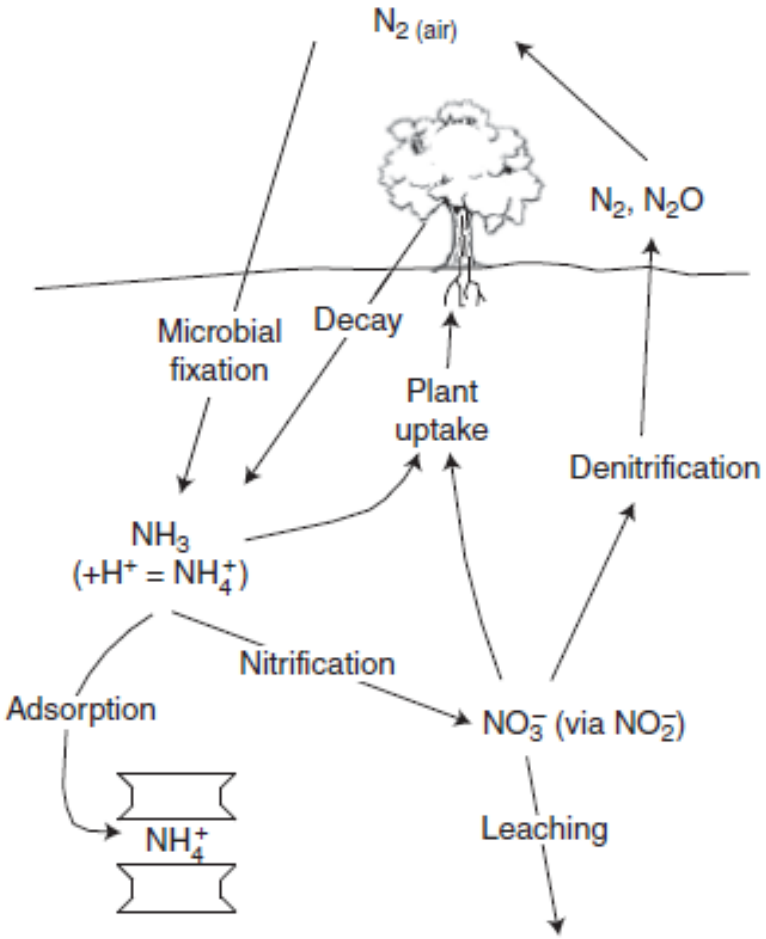
Rovnováha dusíku v půdě



GUNDERSEN, P., Nitrogen deposition and the forest nitrogen cycle: role of denitrification, Forest Ecology and Management, Volume 44, Issue 1, 1991, pp 15-28

CC BY SA

Biogeochemická transformace dusíku



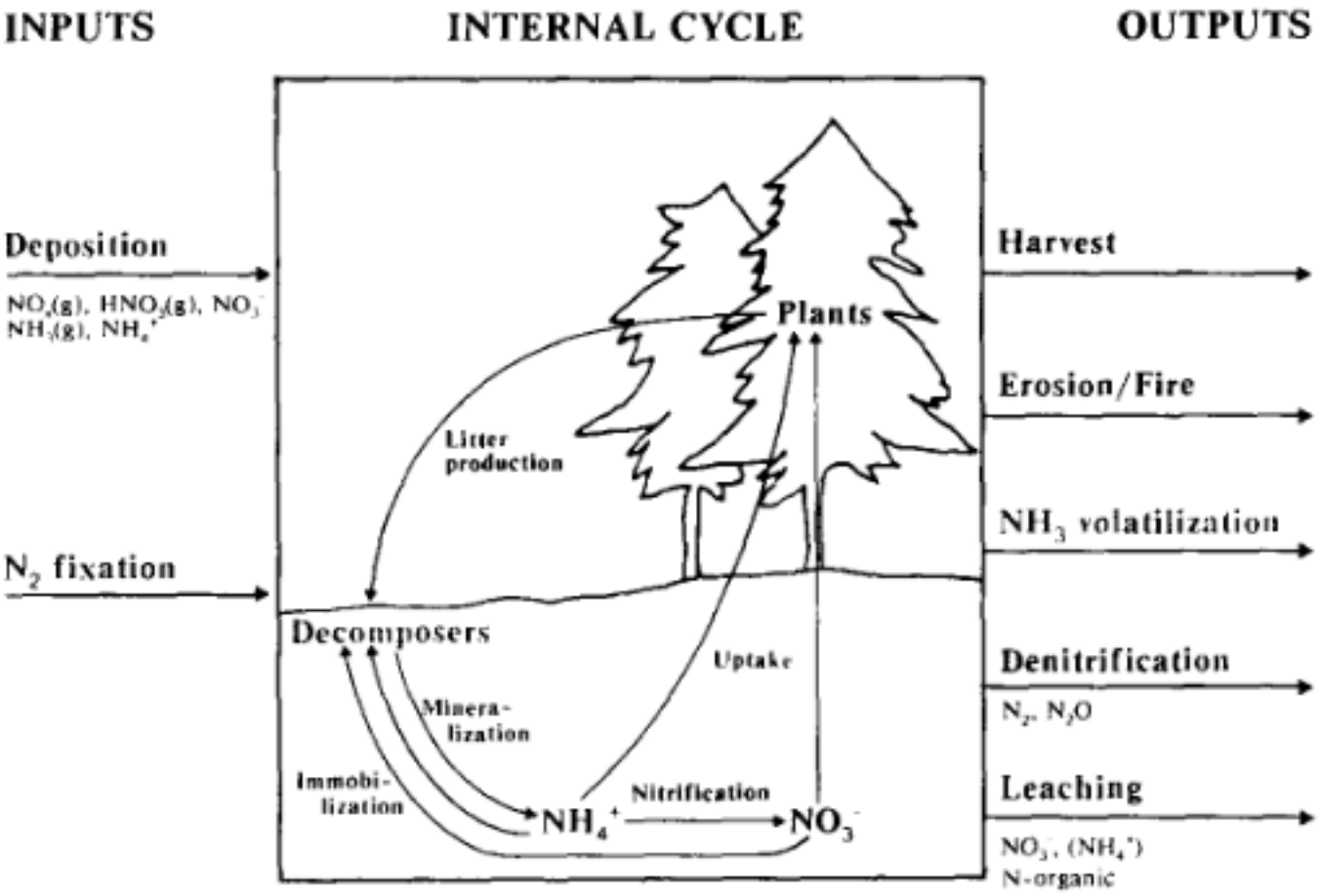
- Fixace N_2 do rostlin $N_2 + 8H^+ + 8e^- + 16ATP = 2NH_3 + H_2 + 16ADP + 16P_i$
- Rozpuštění amoniaku $NH_3 + H_2O = NH_4^+ + OH^-$
  - dostupné rostlinám
  - adsorpce
  - transport
- Nitrifikace $NH_4^+ + 1.5O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$
  - Oxidace na NO_2^- (*Nitrosomonas*)
  - Oxidace na NO_3^- (*Nitrobacter*) $NO_2^- + 0.5O_2 \rightarrow NO_3^-$
- Denitrifikace - nežádoucí
  - na N_2 a N_2O (*Pseudomonas*)
- Asimilace do rostlin

  $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow (NOH) \rightarrow NH_2OH \rightarrow NH_4^+ \rightarrow$ glutamát, glutamin aj.
- Rozklad rostlin
  - Mineralizace – am $R\text{-}NH_2 + 2H_2O \rightarrow NH_4^+ + R\text{-}OH + OH^-$
- Těkání amoniaku (alkalické pH, teplo, sucho)
- NOx při spalování

RYAN, Peter. *Environmental and low temperature geochemistry*. John Wiley & Sons, 2014

cc BY SA

Bilance dusíku v půdě



GUNDERSEN, P., Nitrogen deposition and the forest nitrogen cycle: role of denitrification, Forest Ecology and Management, Volume 44, Issue 1, 1991, pp 15-28

CC BY SA

Zdroje dusíku v půdě

- Atmosféra – plynný
  - Fixace, blesky
- Suchá a mokrá depozice ze vzduchu (NOx)
- Hnojiva
  - Organická (hnůj, kejda, močůvka)
  - Průmyslová – např. močovina aj.
- sedimentární horniny
  - sorpce NH_4^+ v jílech a organické hmotě při povrchu
    - až 20 mg/kg
  - hlouběji v rámci fosilních paliv – uhlí např. 0,1-1% N
  - minerály málo významné

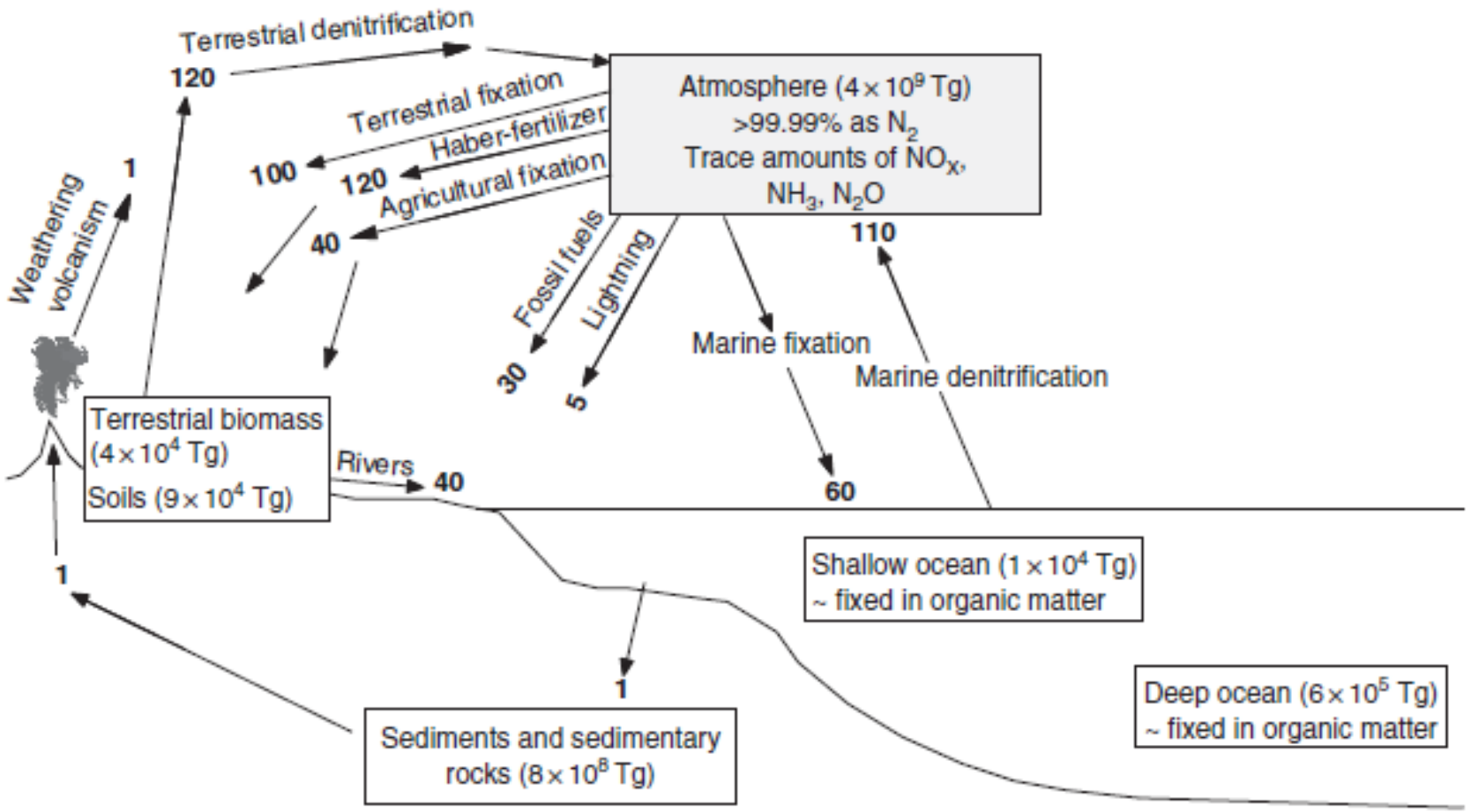
CC BY SA

Ztráty dusíku v půdě

- Vytěkání – amoniak, dusík, oxid dusný a dusnatý
- Spotřeba rostlinami
- eroze, smyv
- vyluhování/vymývání NO_3^- při nadbytku N
  - vliv poměru C/N – nižší vede k většímu vyluhování
  - hnojení
    - nadměrné, nevhodné
    - rozpustná hnojiva
  - nízká sorpční kapacita půdy
  - vysoká propustnost půd (lehké písčité)
  - mikrobiální aktivita
  - vysoké srážky
  - důsledkem je snížení produkce, ztráta živin, eutrofizace vod, emise

CC BY SA

Globální cyklus dusíku



RYAN, Peter. *Environmental and low temperature geochemistry*. John Wiley & Sons, 2014

CC BY SA

Geochemie fosforu

- biogenní prvek běžný v půdě
- málo rozpustné soli
- minerály velmi odolné vůči alteraci
- chelatace s organickými kyselinami
- adsorpce na Fe hydroxidy
- není redox aktivní (pouze ox.stav V)
- skutečně limitujícím prvkem ve vodách –> eutrofizace

CC BY SA

Geochemie fosforu

- Formy výskytu
  - Minerální fosfáty – apatit – téměř ve všech horninách a sedimentech 0,1 – 1%, fosfority (marinní sedimentární h.) až 20%
  - Silikáty – substituce aniontů
  - Organické látky (inositolfosfáty, fosfolipidy, NK, fosforyl.cukr)
- Zdroje fosforu
  - Zvětrávání minerálů
  - Rozklad organismů
  - Hnojiva – anorganická, organická
- Ztráty
  - vyluhování do rozpustné formy
  - povrchový a podpovrchový smyv
  - eroze (P v částicích)

CC BY SA

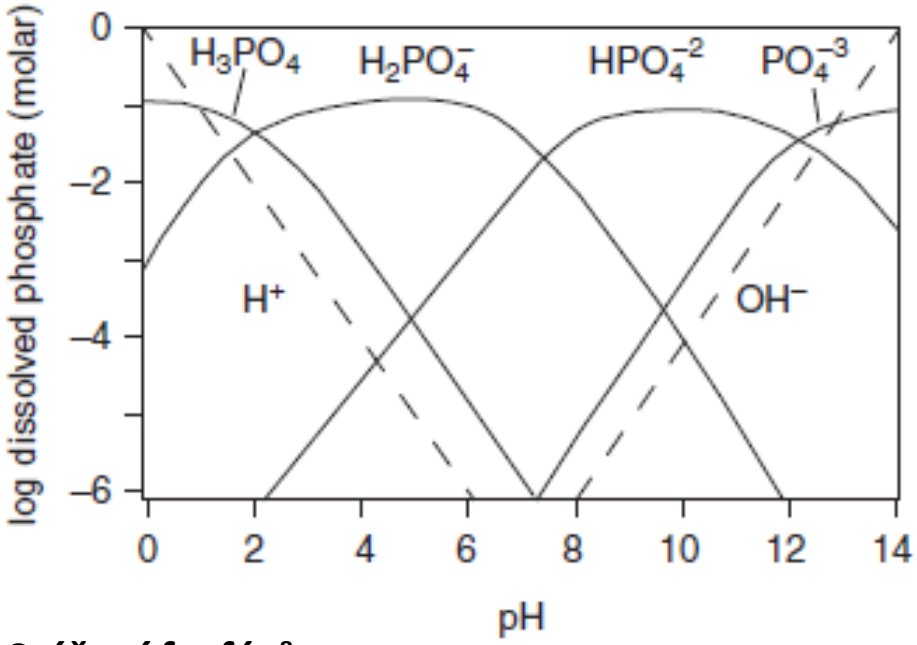
Geochemie fosforu

- Transformace
  - Zvětrávání
  - Mineralizace
  - Sorpce, desorpce
  - Rozpouštění, srážení
  - Imobilizace v organické hmotě, fixace do rostlin
  - Eroze, vyplavení, smyv

CC BY SA

Geochemie fosforu

Hydrochemická fosfátová rovnováha:



Srážení fosfátů:

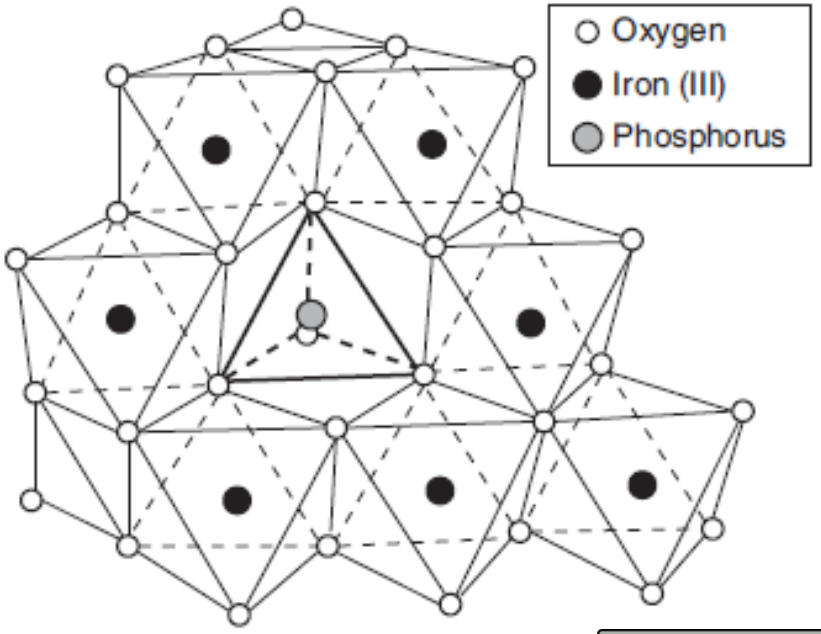
$$H_2PO_4^{-2} + Fe^{+3} + 2H_2O \rightarrow FePO_4 \cdot 2H_2O + 2H^+$$

$$2HPO_4^{-2} + 3Ca^{+2} + 2H_2O \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O + 2H^+$$

Zvětrávání hydroxyapatitu:

$$Ca_5(PO_4)_3OH + 4H_2CO_3 \rightarrow 5Ca^{+2} + 3HPO_4^{-2} + 4HCO_3^- + H_2O$$

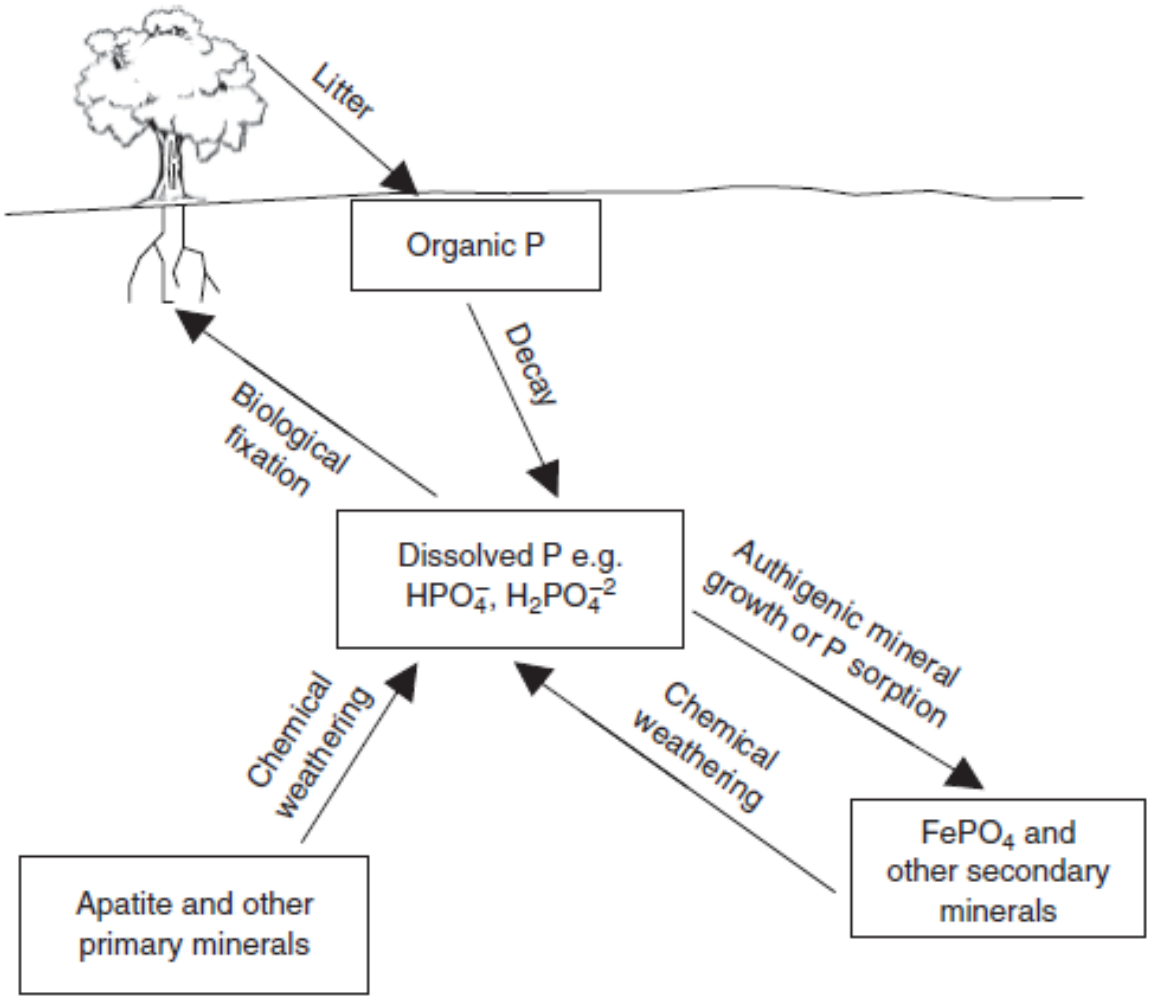
Inkorporace do struktury ferrihydritu:



RYAN, Peter. *Environmental and low temperature geochemistry*. John Wiley & Sons, 2014

CC BY SA

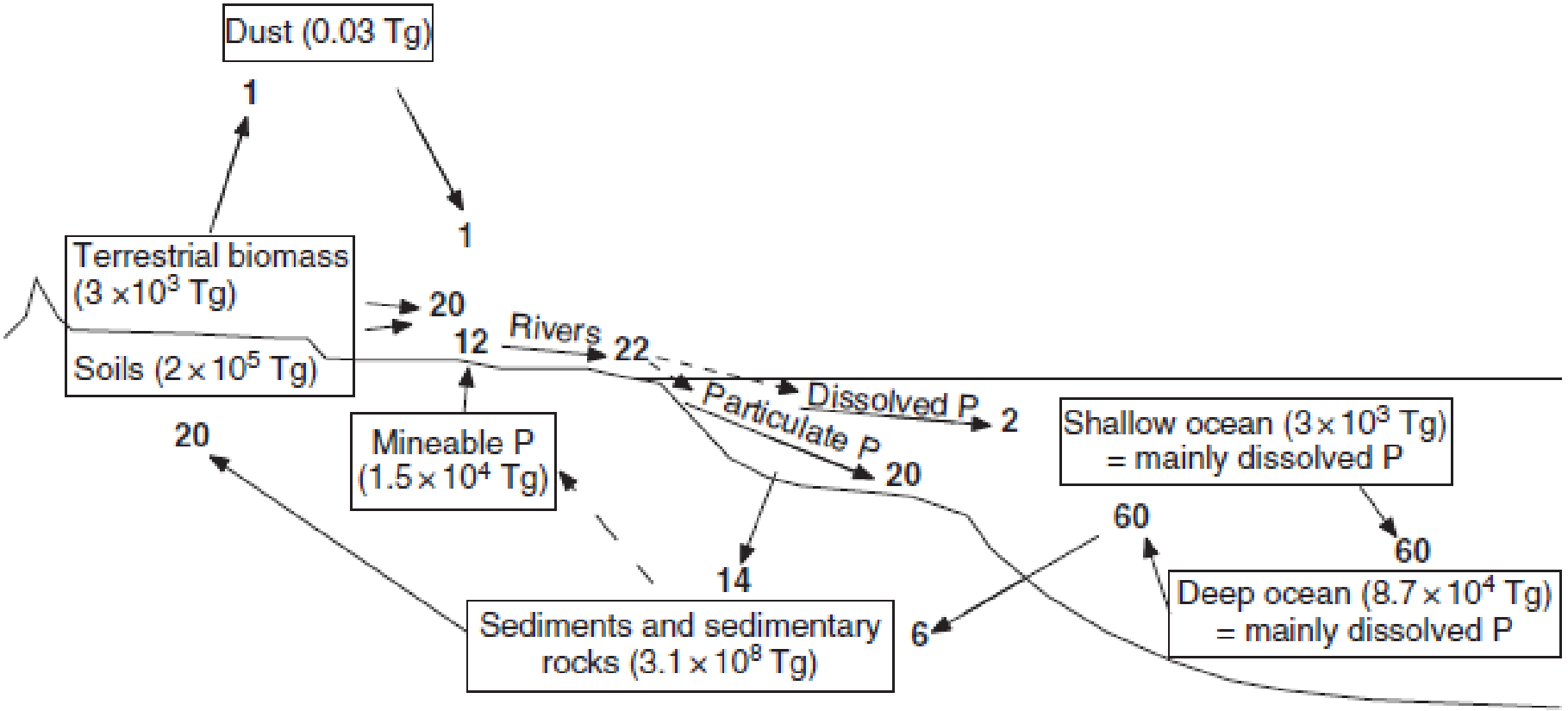
Cyklus fosforu



RYAN, Peter. *Environmental and low temperature geochemistry*. John Wiley & Sons, 2014

CC BY SA

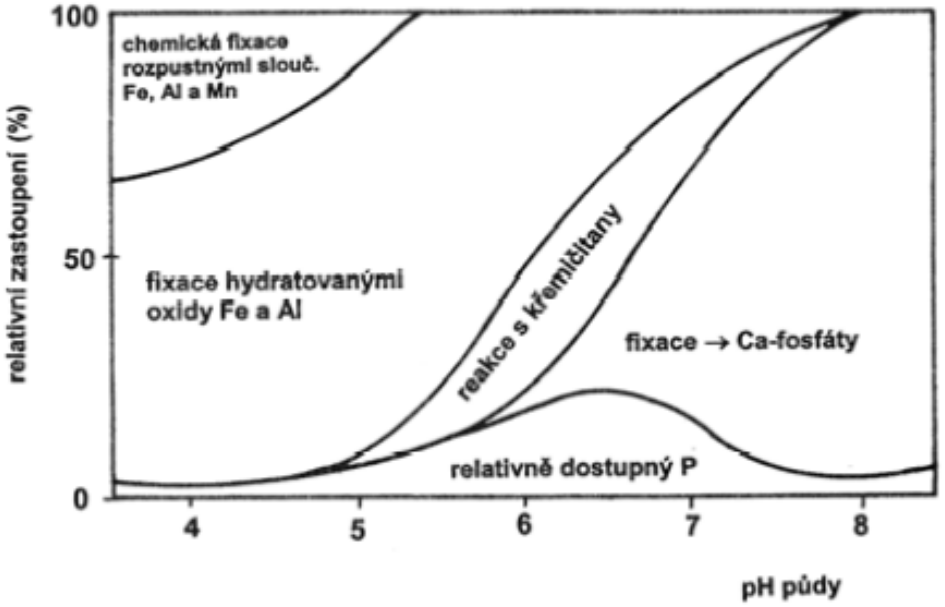
Globální cyklus fosforu



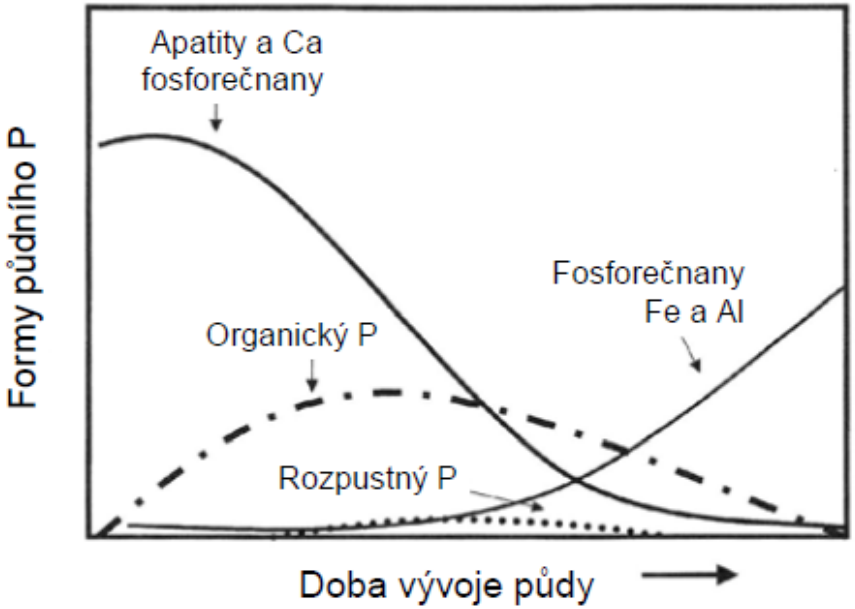
RYAN, Peter. *Environmental and low temperature geochemistry*. John Wiley & Sons, 2014

cc BY SA

Poutání P v půdě v závislosti na pH

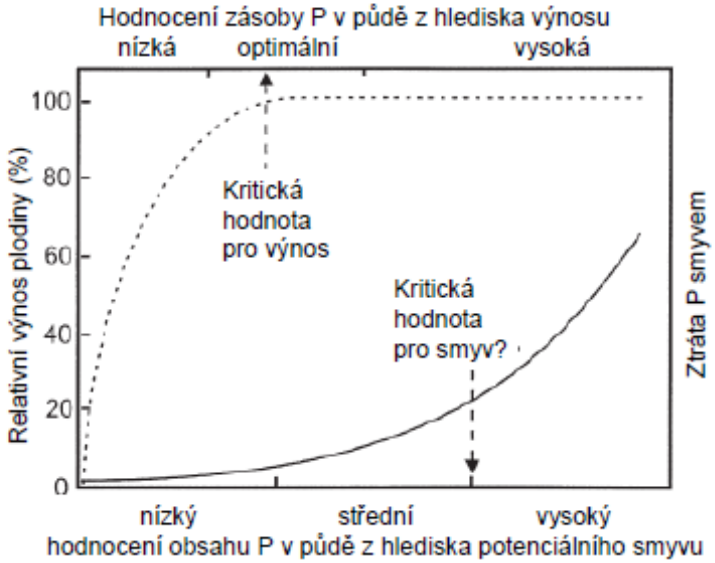


Formy P v půdě podle stáří půdy



Využitelnost a smyv P v půdě

(dle McDowella et al., 2002)



Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9

CC BY SA

Geochemie síry

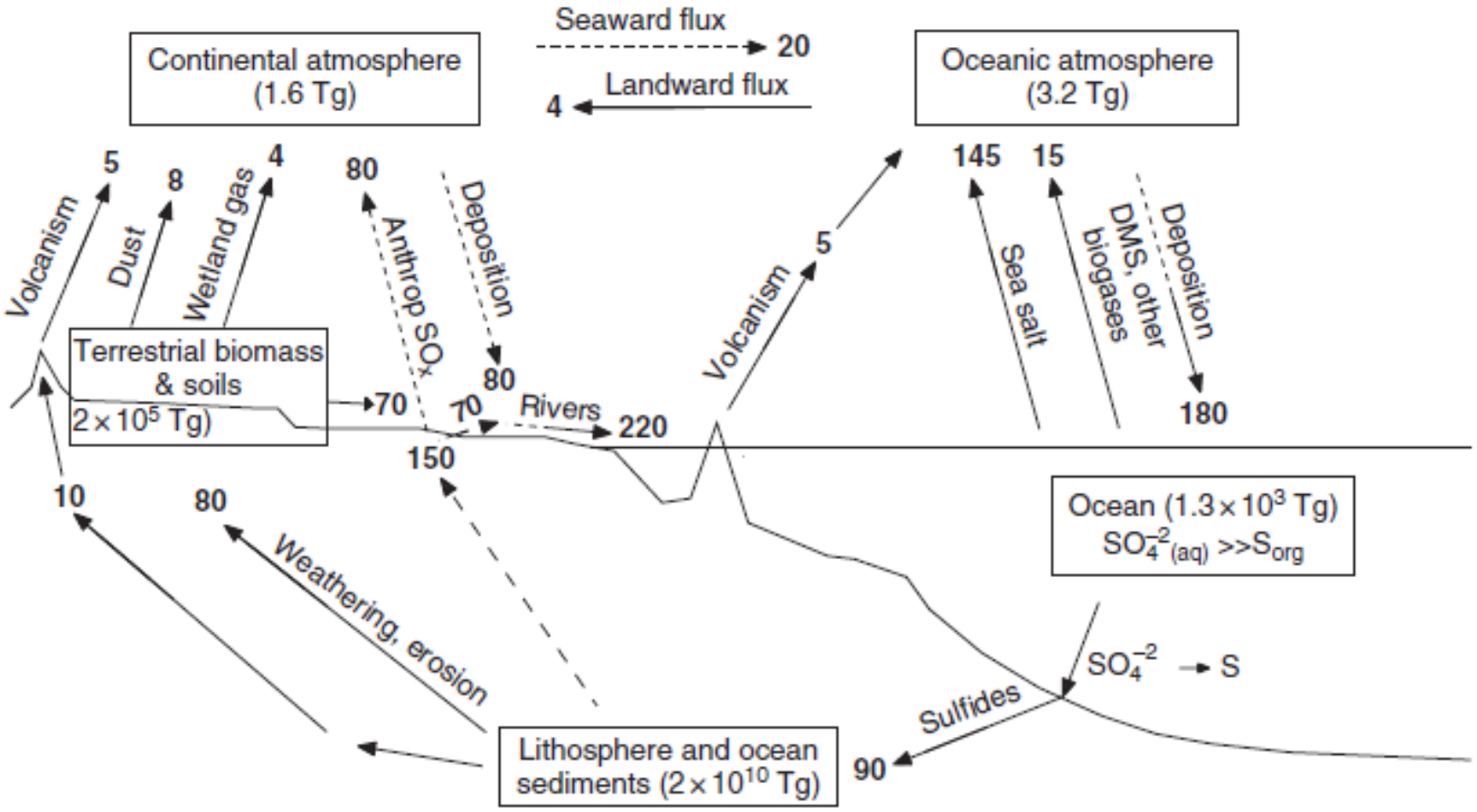
- Formy výskytu
  - Sírany – rozpuštěné, vysrážené, adsorbované - sádrovec
  - SO_2, H_2S
  - Sulfidy (rudy, pyrit) a elementární síra – anoxických podmínkách
  - Organické látky – vazby C-S-H, C-N-S, C-O-S
    - S-aminokyseliny (cystein, serin, methionin)
    - Polysacharidy, lipidy
    - dominantní v půdách
- Zdroje síry
  - Zvětrávání mateční horniny
  - Suchá a mokrá depozice
  - Hnojiva
  - Rostlinné zbytky
- Přeměny
  - Adsorpce – desorpce
    - Na oxidy Fe a Al, jílové minerály, organické komplexy
  - REDOX – anorganické S mikroorganismy

    $H_2S + 2O_2 \leftrightarrow H_2SO_4 \leftrightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$

    $2S + 3O_2 + 2H_2O \leftrightarrow 2H_2SO_4 \leftrightarrow 4H^+ + 2SO_4^{2-}$
  - Mineralizace organické S
  - Srážení, těkání, rostlinná asimilace, vyplavování

CC BY SA

Cyklus síry



RYAN, Peter. *Environmental and low temperature geochemistry*. John Wiley & Sons, 2014

CC BY SA

Geochemie vápníku

- Formy výskytu
  - Plagioklas, pyroxeny
  - Kalcit, dolomit, sádrovec, anhydrit
  - fosfáty
  - Výměnný v Ca iont v roztoku
- Zdroje vápníku
  - Zvětrávání mateční horniny
  - Atmosférická depozice
  - Hnojiva, vápnění
  - Rostlinné zbytky
- Přeměny
  - Adsorpce – desorpce
    - Na jíl. minerály (zejména 2:1), OH
  - Příjem rostlinami
  - zvětrávání
  - Vyluhování, eroze, smyv
- Vlastnosti
  - Hlavní výměnný kationt
  - Pufrace
  - Kompetice s Al v kyselých půdách

CC BY SA

Geochemie hořčíku

- Formy výskytu
  - olivíny, pyroxeny, amfiboly, slídy
  - jílové minerály
  - uhličitany
  - výměnný Mg iont v roztoku
  - méně organické sloučeniny
- Zdroje hořčíku – jako Ca
- Přeměny
  - Výměnná sorpce
  - Příjem rostlinami
  - Vyluhování
  - Vliv ostatních iontů
- Vlastnosti
  - podobné Ca - výměnný kationt, pufrace
  - mobilní - vyluhování
  - Živina
- Obsah v půdě
  - Poměr k Ca, K
  - Obsah v půdním roztoku
  - Podíl na KVK
  - Poměr Ca, Mg, K vs Al
  - Poměr Ca,Mg,K,Na vs Al

CC BY SA

Geochemie draslíku a sodíku

- Formy výskytu K
  - živce, slídy
  - Halogenidy, sírany
  - Jílové minerály
  - Výměnný K iont v půdním roztoku
  - K v sorpčním komplexu
- Zdroje draslíku
  - Zvětrávání mateční horniny
  - Suchá a mokrá depozice
  - Hnojiva
  - Rostlinné zbytky
- Přeměny
  - Adsorpce – desorpce
  - Příjem rostlinami a organismy, rozklad
  - zvětrávání
  - Vyluhování, eroze, smyv
- Formy výskytu Na
  - živce, slídy
  - Halogenidy, sírany
- Vlastnosti
  - Na+ je větší než K+
  - Vyšší mobilita (vyluhování)
- Význam
  - Rozpad půdní struktury

CC BY SA

Geochemie železa

- Formy výskytu
  - oxidy – hematit, maghemit, magnetit, ferihydrit
  - Oxohydroxidy – goethit, lepidokrokit
  - Sulfidy – pyrit aj.
  - Ostatní – ilmenit, jarosit
- Vlastnosti
  - REDOX Fe^{2+} a Fe^{3+}
  - Různá rozpustnost
  - Mobilita v redukčních p.
  - Barevná změna
  - Afinita ke komplexaci
- Přeměny
  - Zvětrávání (hnědnutí)
  - Redukce – při oglejení a glejovém procesu
  - REDOX – chemický i biologický proces
  - Rozpouštění, srážení
  - Příjem rostlinami a mikroby
  - Mineralizace
  - Vymývání – při ilimerizaci a podzolizaci

CC BY SA

Geochemie manganu

- Formy výskytu
  - V horninách Ionty Mn^{2+}, Mn^{3+} a Mn^{4+} (málo rozpustný)
  - V půdním orzotku hexa aqua iont
  - oxidy – pyroluzit, vernadit
  - hydroxidy – goethit, lepidokrokit
  - uhličitany
  - Noduly, konkrece
- Vlastnosti
  - Podobné železu
  - Nižší pH - rozpustnější
  - Váže jiné kovy
  - Oxidy mohou řídit oxidaci As, Cr, V, Se, Hg, Pu
- Přeměny
  - REDOX – chemický i biologický proces
  - Redukce – zvýšení mobilit, snížení KVK, Mn^{2+} soutěží o sorpci

CC BY SA

Literatura

- Borůvka, L.: Pedogeochemie. ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie, 2005. 246 s., ISBN 80-213-1309-9.
- Appelo, C.A.J, Postma, D.: Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2005, A.A. Balkema Publishers, 2nd Edition, ISBN: 04-1536-421-3
- RYAN, Peter. Environmental and low temperature geochemistry, 2014, John Wiley & Sons, ISBN 978-1-118-86735-8
- GUNDERSEN, P., Nitrogen deposition and the forest nitrogen cycle: role of denitrification, Forest Ecology and Management, Volume 44, Issue 1, 1991, pp 15-28

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Chemie geosféry
B240008

Základy hydrogeologie

Autor: Radek Škarohlíd
Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

Úvodní definice

- **Podpovrchová voda** - veškerá voda nacházející se pod zemským povrchem.
- **Podzemní voda** – voda, která je obsažena v nasycené zóně horninového prostředí.
- **Hydrologie** – věda, která se zabývá studiem všech terestrických vod.
- **Geologie** - je věda o Zemi, která zkoumá její složení, stavbu a historický vývoj.

CC BY SA

Světová vodní bilance

Parametr	Plocha (km^2)*10^6	Objem (km^3)*10^6	Objem (%)	Ekvivalentní výška (m)	Doba zdržení
Oceány a moře	361	1370	94	2500	~4000 let
Jezera a nádrže	1.55	0.13	< 0.01	0.25	~10 let
Bažiny	< 0.1	< 0.01	< 0.01	0.007	1-10 let
Vodní toky	< 0.1	< 0.01	< 0.01	0.003	~2 týdny
Půdní voda	130	0.07	< 0.01	0.13	2 týdny - 1rok
Podzemní voda	130	60	4	120	2 týdny - 10000 let
Ledovce	17.8	30	2	60	10-1000 let
Atmosferická voda	504	0.01	< 0.01	0.025	~10 dní
Biosférická voda	< 0.1	< 0.01	< 0.01	0.001	~1 týden

VALENTOVÁ, J. 2001. *Hydraulika podzemní vody*, České vysoké učení technické.

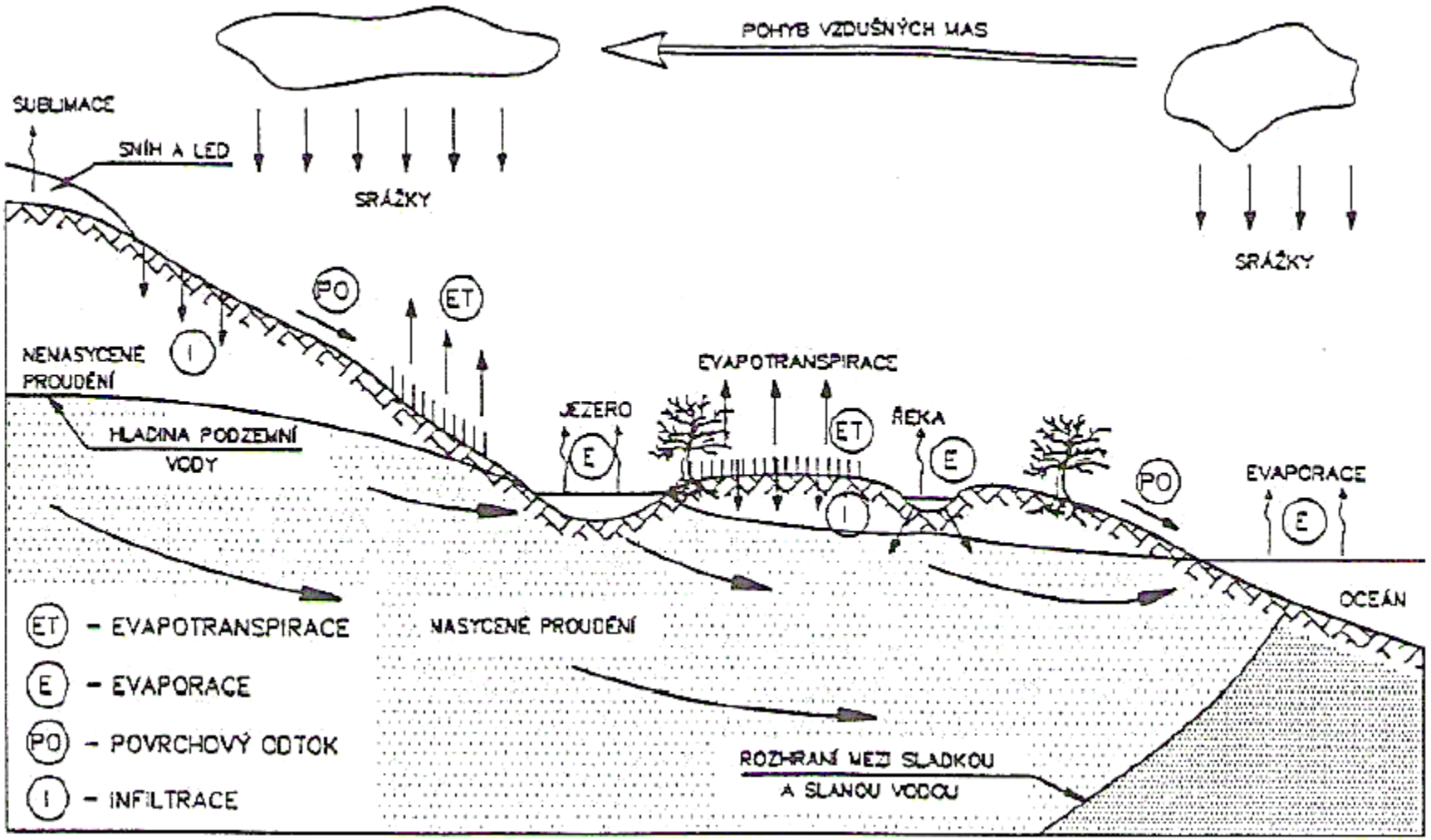
CC BY SA

Hydrogeologie

- *definice*: vědní obor zkoumající zákonitosti pohybu podpovrchových vod včetně souvisejících transportních jevů (energie, rozpuštěné látky atd.) a dále také mechanické, chemické a tepelné interakce podpovrchových vod s porézní matricí (horninou)
- vědní obor na pomezí ***hydrologie, geologie, chemie, matematiky, fyziky***
- řešena problematika např.:
  - kontroly a řízení zásob podzemních vod,
  - znečištění podzemních vod a transportu kontaminace (kontaminační hydrogeologie),
  - tepelných čerpadel, důlních vod atd.

CC BY SA

Hydrologický cyklus (I) – interakce podzemních vod s okolím



VALENTOVÁ, J. 2001. *Hydraulika podzemní vody*, České vysoké učení technické.

CC BY SA

Hydrologický cyklus (II) – pojmy

- **hydrologický cyklus** popisuje oběh terestrických vod a jejich vzájemné vztahy
- **povrchový odtok** (PO): část vody ze **srážek** (P) odtékající do povrchových toků
- **infiltrace** (I): proces vsakování části vody ze srážek do půdy → voda se stává součástí podpovrchového proudění
- **evaporace** (E): výpar vody z vodních ploch a půdního povrchu
- **evapotranspirace** (ET): evaporace + **transpirace** rostlinami (výdej vody především z povrchu listů)

CC BY SA

Hydrologický cyklus (III) - hydrologická bilance

$$\boldsymbol{Vstup - Výstup = Změna\ v\ zásobách}$$

- potřeba definovat hranice systému → často povodí
- za předpokladu, že změna zásob = 0, je hydrologická rovnice:

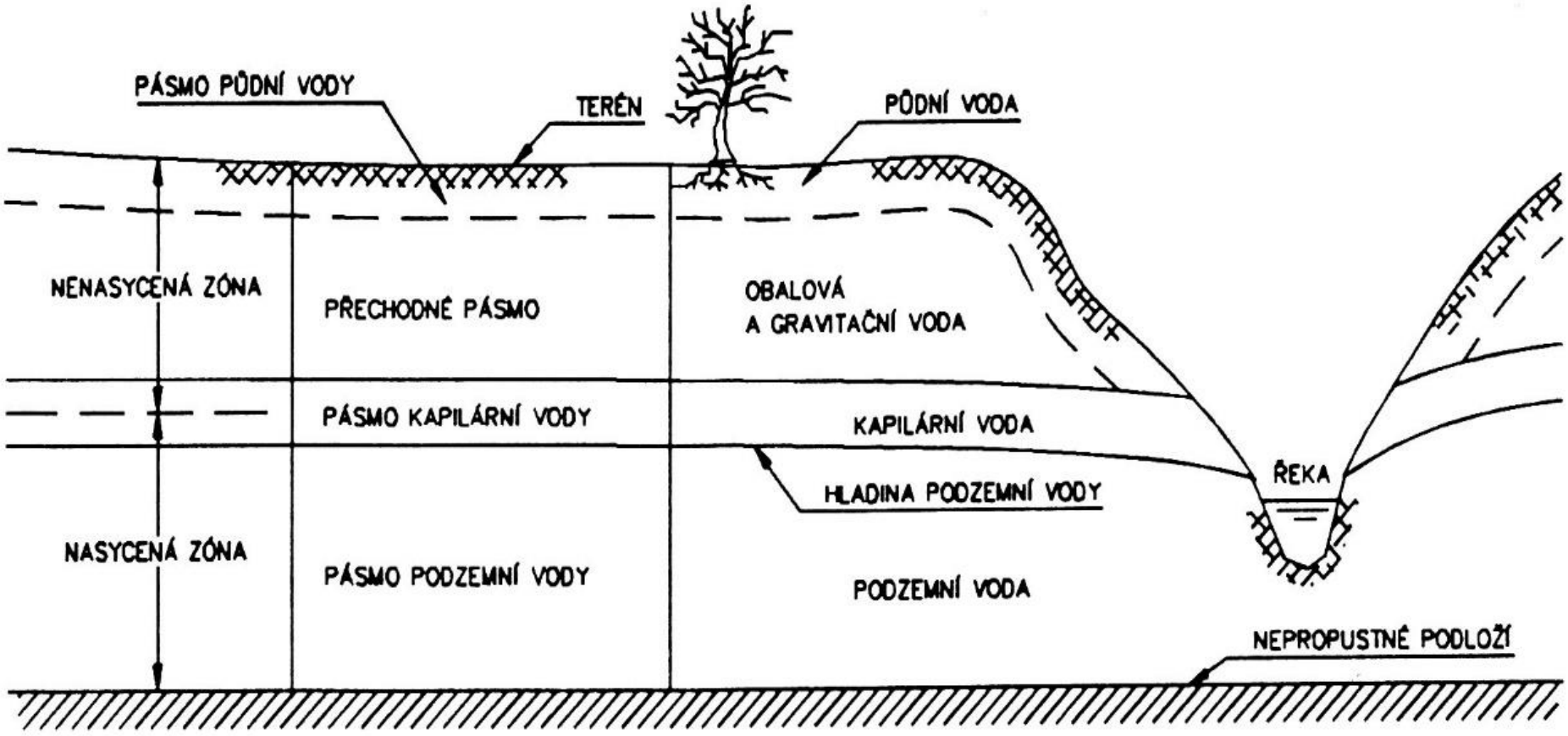
$$P = ET + PO + I$$

- v praxi obtížně určitelné parametry dopočítáváme:

$$I = P - ET - PO$$

CC BY SA

Rozdělení vody ve vertikálním profilu (I)



VALENTOVÁ, J. 2001. Hydraulika podzemní vody, České vysoké učení technické.

CC BY SA

Rozdělení vody ve vertikálním profilu (II)

- nenasycená zóna (≈nesaturovaná; ≈vadózní, ≈zóna aerace - provzdušnění)
  - objem pórů vyplněn kapalnou i plynnou fází
  - dělena na subpásma:
    - pásmo půdní vody – do hloubky kořenové zóny
    - přechodné pásmo
    - pásmo kapilární třásně
- nasycená zóna (≈ saturovaná; ≈ zvodnělá)
  - póry vyplněny zcela vodou
  - na hladině je tlak roven 1 atm

CC BY SA

Pórovitost zvodněných formací (I)

- podíl objemu pórů vzorku horniny (V_p) ku celkovému objemu vzorku horniny (V_T)

$$n = V_p / V_T$$

- určitá část objemu pórů se neúčastní proudění podzemní vody (slepé uličky, kapilárně vázaná voda), proto definujeme efektivní pórovitost (n_{ef})

$$n_{ef} = V_{p\_ef} / V_T$$

CC BY SA

Pórovitost vybraných materiálů

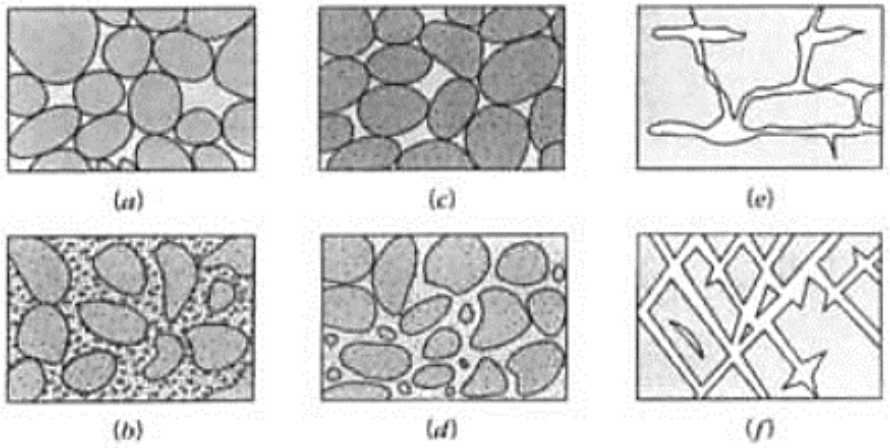
Materiál	Pórovitost (%)
štěrk hrubý	24-36
štěrk jemný	25-38
písek hrubý	31-46
písek jemný	26-53
prach	34-61
jíl	34-60
pískovec	5-30
prachovec	21-41
vápenec, dolomit	0-20
krasový vápenec	5-50
rozpukané krystalinikum	0-10
nerozpukané krystalinikum	0-5
zvětralá žula	34-57
zvětralé gabro	42-45

Císlerová, M. and T. Vogel (1998). Transportní procesy, České vysoké učení technické.

CC BY SA

Propustnost horninového prostředí (I)

- schopnost horniny propouštět tekutinu vlivem hydraulického gradientu
- typy propustnosti dle způsobu hydraulické komunikace tekutin v horninovém prostředí
- průlinová propustnost (a-d) x puklinová propustnost (e,f)



DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. 1998. *Physical and chemical hydrogeology*, Wiley.

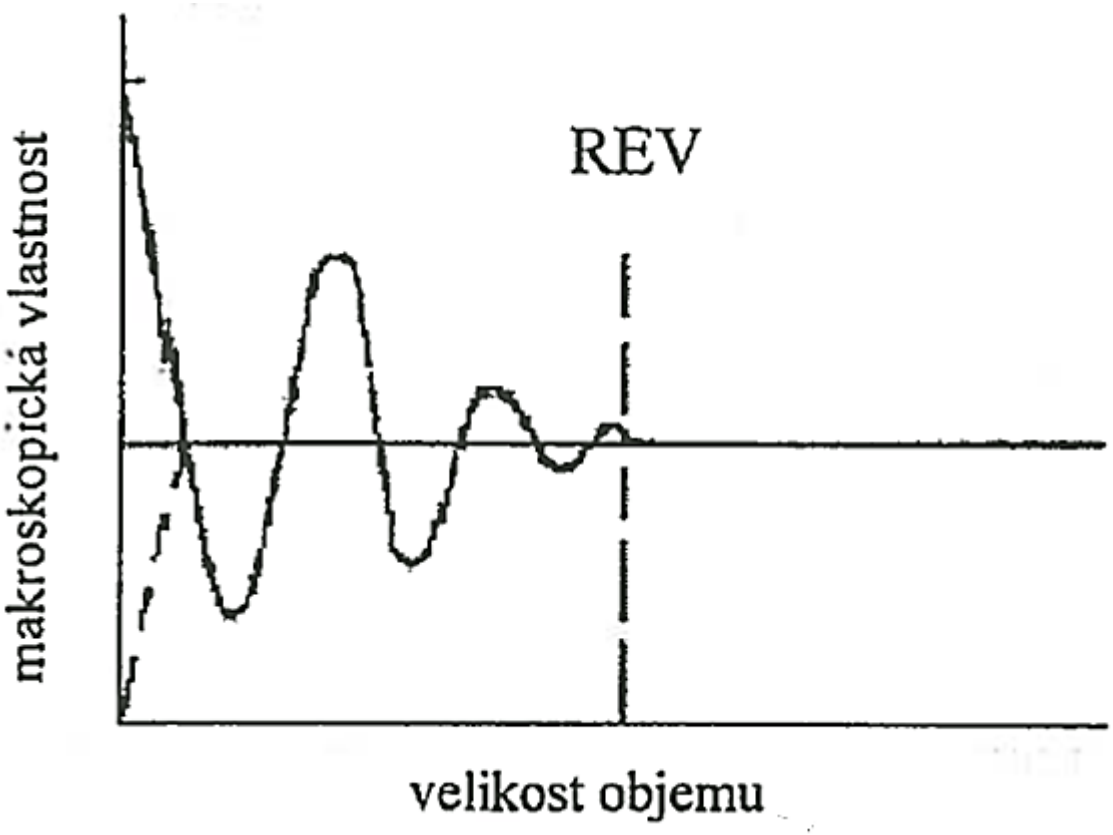
CC BY SA

Propustnost horninového prostředí (II)

- **Propustnost průlinová** je propustnost horniny daná existencí vzájemně komunikujících průlin, jimiž tekutina proudí účinkem hydraulického gradientu.
- **Propustnost puklinová** je schopnost horniny propouštět tekutiny puklinami účinkem hydraulického gradientu.
- **Propustnost kombinovaná** je propustnost horniny daná kombinací více druhů hydraulických komunikací, např. kombinací průlinové a puklinové propustnosti.
- Kvantitativně je propustnost vyjádřena hodnotou **hydraulické konduktivity** nebo **koeficientem propustnosti.**

CC BY SA

Reprezentativní elementární objem - REV (I)



Císlerová, M. and T. Vogel (1998). Transportní procesy, České vysoké učení technické.

- Objem, v kterém jsou definovány průměrné makroskopické veličiny horninového prostředí.

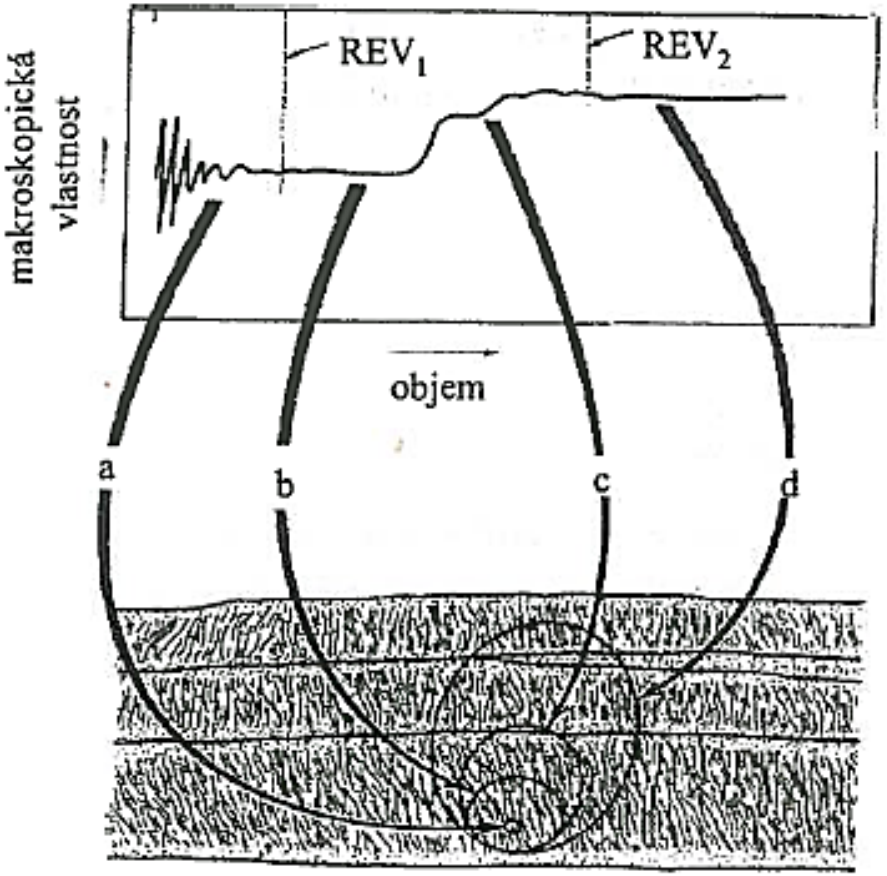
CC BY SA

Reprezentativní elementární objem – REV (II)

- Proudění podzemní vody probíhá ve složité komplexní soustavě pórů/puklin, fyzikální popis na mikroskopické úrovni pórů/puklin je tedy velmi komplikovaný, tudíž se přechází pomocí průměrování jednotlivých hydraulických veličin přes REV na makroskopickou úroveň a předpokládáme, že veškeré fáze vyskytující se v horninovém prostředí koexistují ve středu REV– tento přístup nazýváme přístupem **kontinuálním**.

CC BY SA

Reprezentativní elementární objem – REV (III)



a - vliv individuálních pórů
b - uvnitř jedné vrstvy
c - vliv rozhraní mezi vrstvami
d - soubor vrstev

DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. 1998. *Physical and chemical hydrogeology*, Wiley.

CC BY SA

Bernoulliho rovnice

- Zanedbáme-li tření, pak pro ustálené proudění nestlačitelné kapaliny platí, že součet měrné kinetické energie, měrné potenciální energie a měrné tlakové energie této kapaliny je na proudnici konstantní.

$$E_{celk\_m} = \frac{v^2}{2} + g.z + \frac{p}{\rho} = konst.$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$

$\mathrm{kinE_m}$ $\mathrm{potE_m}$ $\mathrm{tlakE_m}$

$$[E_{celk\_m}] = \mathrm{J.kg^{-1}}$$

- Reálné kapaliny jsou však stlačitelné a při jejich proudění dochází ke ztrátám energie třením.

CC BY SA

Hydraulická výška (I)

- Proudění podzemních vod je často velmi pomalé, tudíž člen měrné kinetické energie může být zanedbán.

$$E_{celk\_m} = \frac{v^2}{2} + g.z + \frac{p}{\rho} = g.z + \frac{p}{\rho}$$

- Vydělením gravitačním zrychlením získáme vztah pro **hydraulickou výšku $\boldsymbol{H}$**, $[H] = \mathrm{m}$.

$$H = z + \frac{p}{\rho.g} = z + h_p$$

- K pohybu podzemní vody v porézním prostředí dojde tehdy, jsou-li ve dvou bodech odlišné hodnoty H. Voda teče z míst s větší H (vyšší hodnota E) do míst s nižší H (nižší hodnota E)
- p je rovno hydrostatickému tlaku $p = h_p.\ \rho.\ g$
- h_p nazýváme tlakovou výškou, z poté výškou geodetickou

CC BY SA

Hydraulická výška (II)

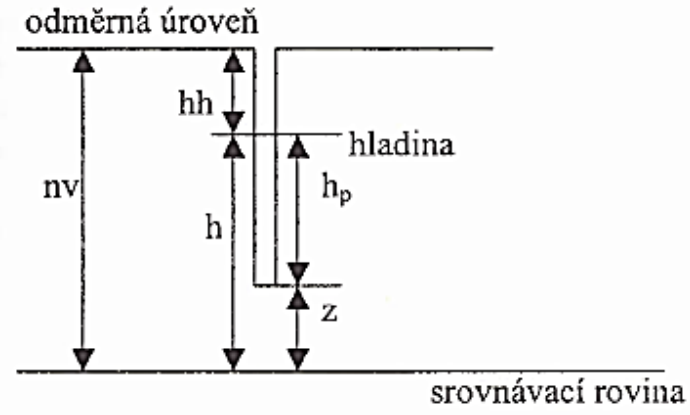
$$\frac{1}{2}mv^2 + mgz + pV = E_{total} \qquad [E_{total}] = \mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}} = \mathrm{N \cdot m} = \mathrm{J}$$

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z + p = E_{total,V} \qquad [E_{total,V}] = \frac{\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}}}{\mathrm{m^3}} = \frac{\mathrm{N \cdot m}}{\mathrm{m^3}} = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m^3}}$$

$$\frac{v^2}{2g} + z + \frac{p}{\rho g} = E_{total,h} \qquad [E_{total,h}] = \frac{\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}}}{\mathrm{kg \cdot m^{-3} \cdot m^3 \cdot m \cdot s^{-2}}} = \mathrm{m}$$

5 $m \cdot d^{-1}$ = 5,8·10^{-5} $m \cdot s^{-1}$

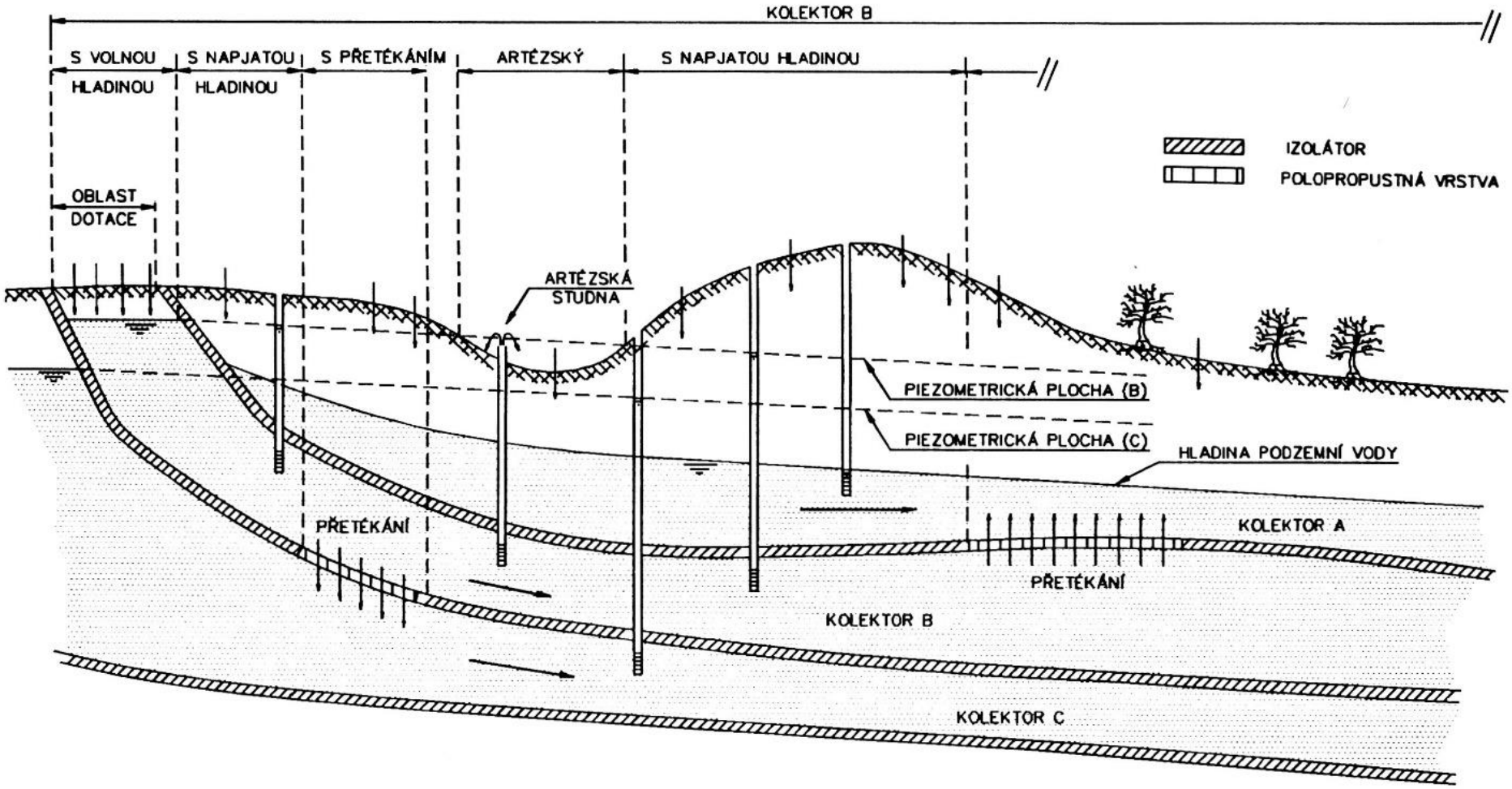
$$h = H = z + \frac{p}{\rho g} = z + h_p$$



VALENTOVÁ, J. 2001. Hydraulika podzemní vody, České vysoké učení technické.

cc BY SA

Klasifikace zvodní (I)



VALENTOVÁ, J. 2001. Hydraulika podzemní vody, České vysoké učení technické.

CC BY SA

Klasifikace zvodní (II) - pojmy

- Z hlediska hydrogeologické funkce hornin rozlišujeme:
  - **kolektor** - horninové prostředí s relativně významně větší propustností oproti svému okolí → vede vodu,
  - **izolátor** - horninové prostředí s relativně významně menší propustností vůči svému okolí → nevede vodu,
  - **poloizolátor (polopropustná vrstva)** – izolátor, přes který protéká nezanedbatelné množství podzemní vody.
- Vodní útvar tvořící podzemní vodu nazýváme **zvodeň**.
- Kolektor může obecně obsahovat i jiné kapaliny než vodu → např. ropu.

CC BY SA

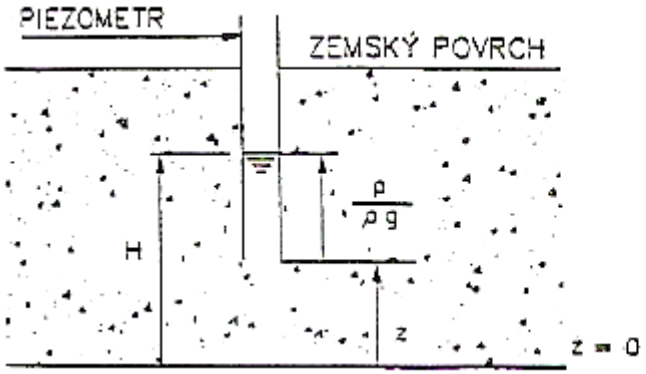
Klasifikace zvodní (III) - pojmy

- **Kolektor/zvodeň s napjatou hladinou**
  - omezen seshora i zdola izolátorem
  - na horní hranici je tlak vyšší než je tlak atmosférický
- **Kolektor/zvodeň s volnou hladinou**
  - shora ohraničena volnou hladinou podzemní vody
  - může být dotován přímo z povrchu
  - na hladině je atmosférický tlak
- **Kolektor/zvodeň s přetékáním**
  - dochází k hydraulické komunikaci se sousedním kolektorem

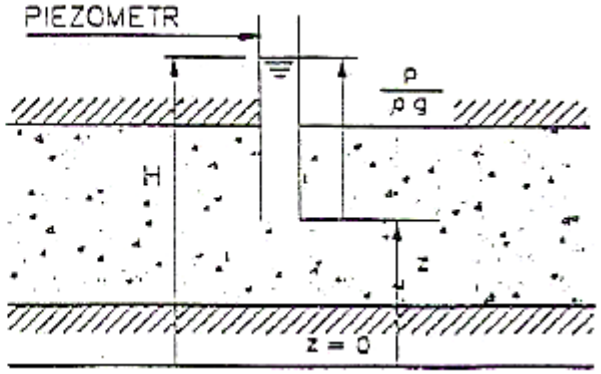
CC BY SA

Určování hydraulické výšky - piezometr

kolektor s volnou hladinou



kolektor s napjatou hladinou



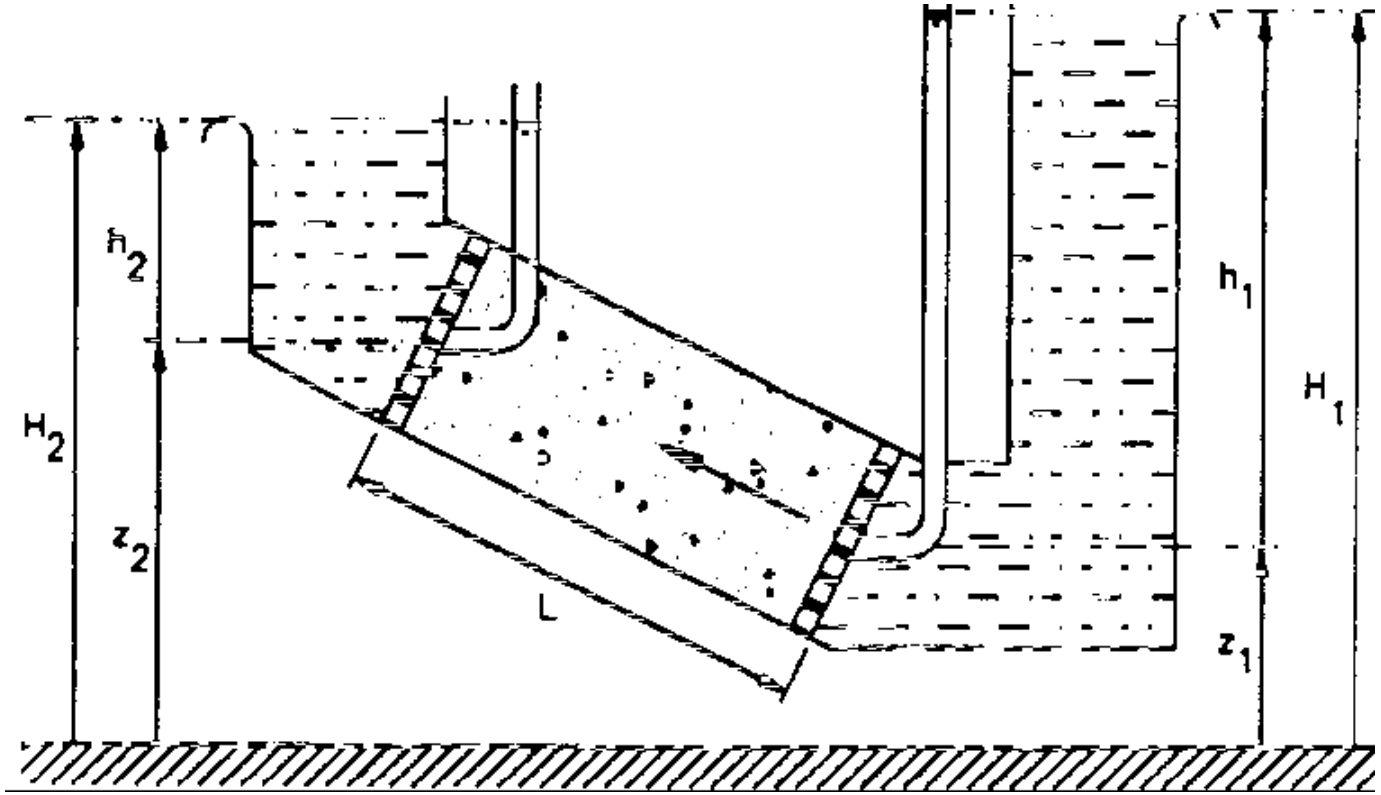
VALENTOVÁ, J. 2001. Hydraulika podzemní vody, České vysoké učení technické.

- **Hydraulická výška H** je měřena pomocí **piezometru.**
- **Piezometr** je vrt s krátkým úsekem perforace (decimetry), který je zaveden do místa porézního prostředí, pro které chceme znát hodnotu H.
- Hladina podzemní voda je měřena hladinoměrem s akustickou signalizací vůči geodeticky určenému odměrnému bodu.
- Jako nulová úroveň je v praxi volena hladina moře.
- Síť piezometrů umožňuje určit hydraulický gradient na lokalitě a určit směr proudění podzemní vody.



CC BY SA

Darcyho zákon (I)



VALENTOVÁ, J. 2001. Hydraulika podzemní vody, České vysoké učení technické.

integrální tvar: $$Q = \frac{K \cdot A \cdot (H_1 - H_2)}{L}$$

CC BY SA

Darcyho zákon (II)

- formulován Henrim Darcym v roce 1856 na základě experimentů s kolonami naplněnými pískem
- Hlavní závěry:
  - Objemový průtok Q, $[Q] = \mathrm{m}^3.\mathrm{s}^{-1}$, je přímo úměrný rozdílu hydraulických výšek $(H_1 - H_2)$ na vstupu a výstupu kolony, přímo úměrný průřezu kolony A a nepřímo úměrný délce kolony L.
  - Rozdíl $(H_1 - H_2)$ je ztráta hydraulické výšky při průtoku vody sloupcem zeminy.
  - Podíl $(H_1 - H_2)/L = \Delta H/\Delta l$ nazýváme **hydraulickým gradientem**.
  - Koeficient úměrnosti K, $[K] = \mathrm{m}.\mathrm{s}^{-1}$ je **hydraulická vodivost**, jejíž hodnota je závislá na vlastnostech jak porézní matrice, tak dané kapaliny a její kvantitativní hodnota udává, jak dobře je systém schopen propouštět daný typ kapaliny, zde vody.

CC BY SA

Darcyho zákon (III)

- Vydělením objemového průtoku Q průřezem kolony A a zavedením hydraulického gradientu v diferenciální formě $\lim_{\Delta l \to 0} \Delta H/\Delta l = dH/dl$ dostáváme vztah pro **hustotu toku** q, $[q] = m.\mathrm{s}^{-1}$:

$$q = \frac{Q}{A} = -K\,\frac{dH}{dl}$$

- Hustota toku je vzhledem k jednotkám také označována jakožto Darcyho rychlost či fiktivní rychlost.
- Znaménko mínus indikuje, že tok je ve směru snižující se hodnoty hydraulické výšky.
- Nejedná se však o reálnou rychlost kapaliny v pórech, kterou můžeme aproximovat **průměrnou pórovou rychlostí** v_p:

$$v_p = \frac{q}{n_{ef}}$$

CC BY SA

Darcyho zákon (IV)

- Hustota toku je obecně 3D vektorem $\vec{q} = \left(q_x, q_y, q_z\right)$, tudíž pro jednotlivé složky vektoru zobecněně platí:

$$q_x = -K\frac{\partial H}{\partial x} \qquad q_y = -K\frac{\partial H}{\partial y} \qquad q_z = -K\frac{\partial H}{\partial z}$$

$$\vec{q} = \left(-K\frac{\partial H}{\partial x}, -K\frac{\partial H}{\partial y}, -K\frac{\partial H}{\partial z}\right)$$

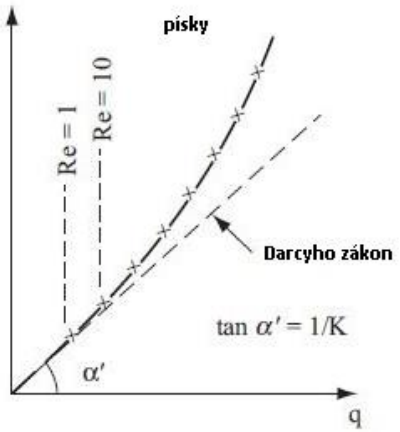
- Při zavedení diferenciálního operátoru nabla $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}\right)$ poté zapisujeme Darcyho zákon ve tvaru:

$$\vec{q} = -K\nabla H$$

CC BY SA

Darcyho zákon (V)

- Darcyho zákon je platný pouze pro laminární oblast proudění v porézním horninovém prostředí, což odpovídá hodnotám $Re \leq 1$.
- $Re = \frac{\rho v_p d}{\mu}$



BEAR, J. & CHENG, A. H.-D. 2010. *Modeling groundwater flow and contaminant transport,* Springer Science & Business Media.

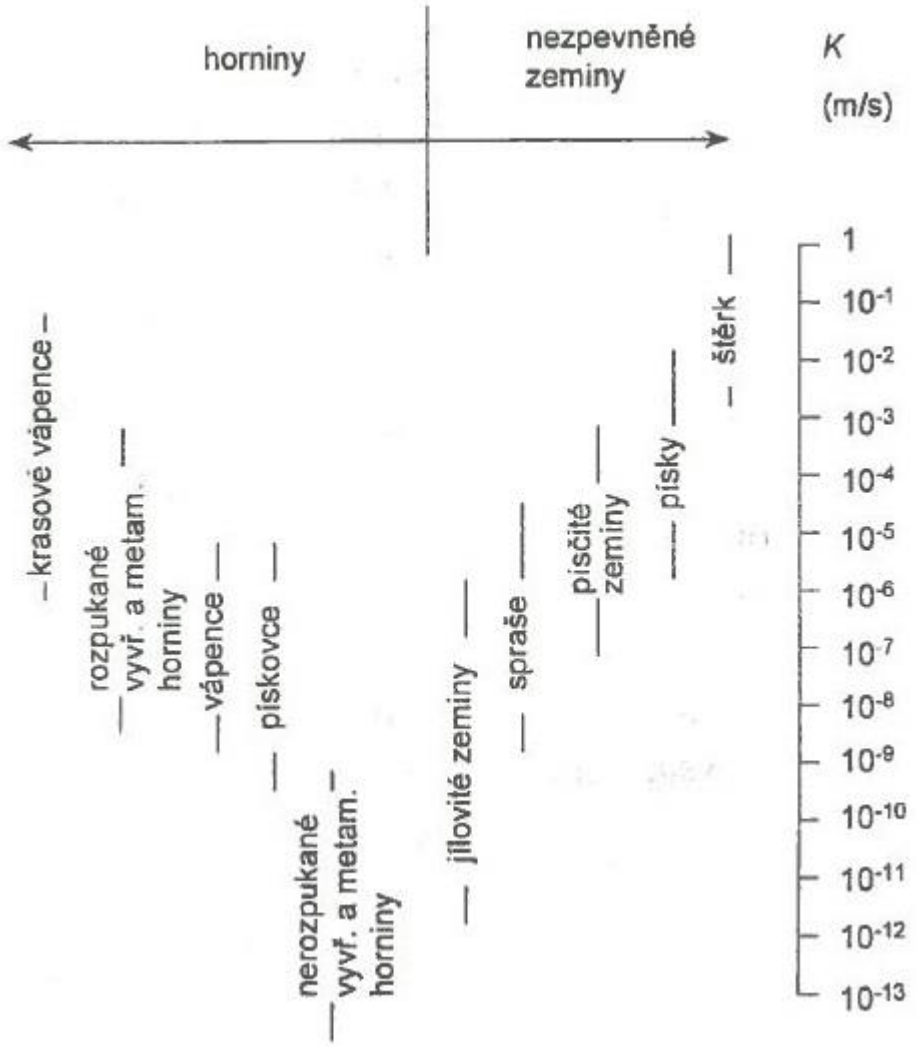
- d je průměr zrn, za který se dosazuje střední průměr d_{50}, μ je dynamická viskozita kapaliny a ρ je hustota vody.
- Darcyho zákon je validní pro ustálené proudění nestlačitelné kapaliny.

CC BY SA

Hydraulická konduktivita – typické hodnoty

Druh zeminy	Hydraulická vodivost K [m/s]
Jíl	$< 1.10^{-8}$
Písčitá hlína	$< 1.10^{-6}$
Hlinitý písek ulehlý	$(1 - 5).10^{-6}$
Písek s příměsí jílu	$(1 - 2).10^{-6}$
Hlinitý a jemný písek	$(1 - 5).10^{-5}$
Hrubozrnný písek	$(1 - 5).10^{-4}$
Štěrkopísek	$(2 - 10).10^{-4}$
Štěrk	$(1 - 5).10^{-3}$

VALENTOVÁ, J. 2001. *Hydraulika podzemní vody*, České vysoké učení technické.



CÍSLEROVÁ, M. & VOGEL, T. 1998. *Transportní procesy*, České vysoké učení technické.

CC BY SA

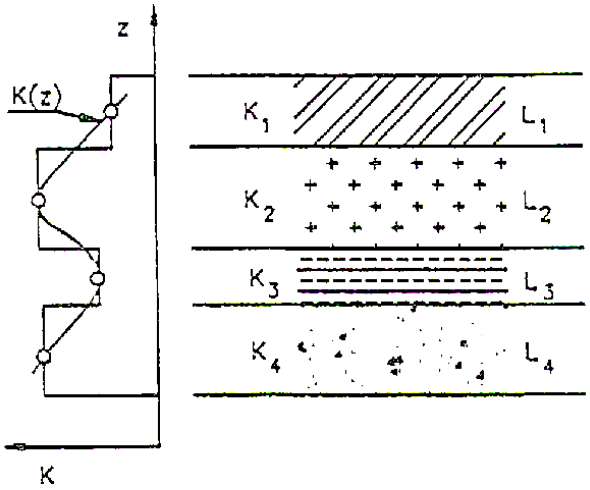
Hydraulická konduktivita – stanovení

- Laboratorně na vrtných jádrech použitím permeametrů:
  - zkoušky s konstantním spádem,
  - zkoušky s proměnlivým pádem.
- Výpočtem:
  - z empirických vztahů využívajících dat z granulometrie,
  - ze vztahů odvozených pro zjednodušené modely porézního prostředí.
- In-situ:
  - čerpací či stoupací zkoušky na vrtech,
  - stopovací zkoušky.

CC BY SA

Homogenita/heterogenita

- Porézní prostředí je **homogenní** vzhledem k dané veličině, např. hydraulické vodivosti, jestliže je tato veličina ve všech bodech stejná.
- Závisí-li veličina na poloze v porézním prostředí, je toto prostředí vzhledem k této veličině **heterogenní**.
- Heterogenita je velmi častá:
  - s postupnou změnou hydraulické vodivosti,
  - s náhlou změnou hydraulické vodivosti.



VALENTOVÁ, J. 2001. *Hydraulika podzemní vody*, České vysoké učení technické.

CC BY SA

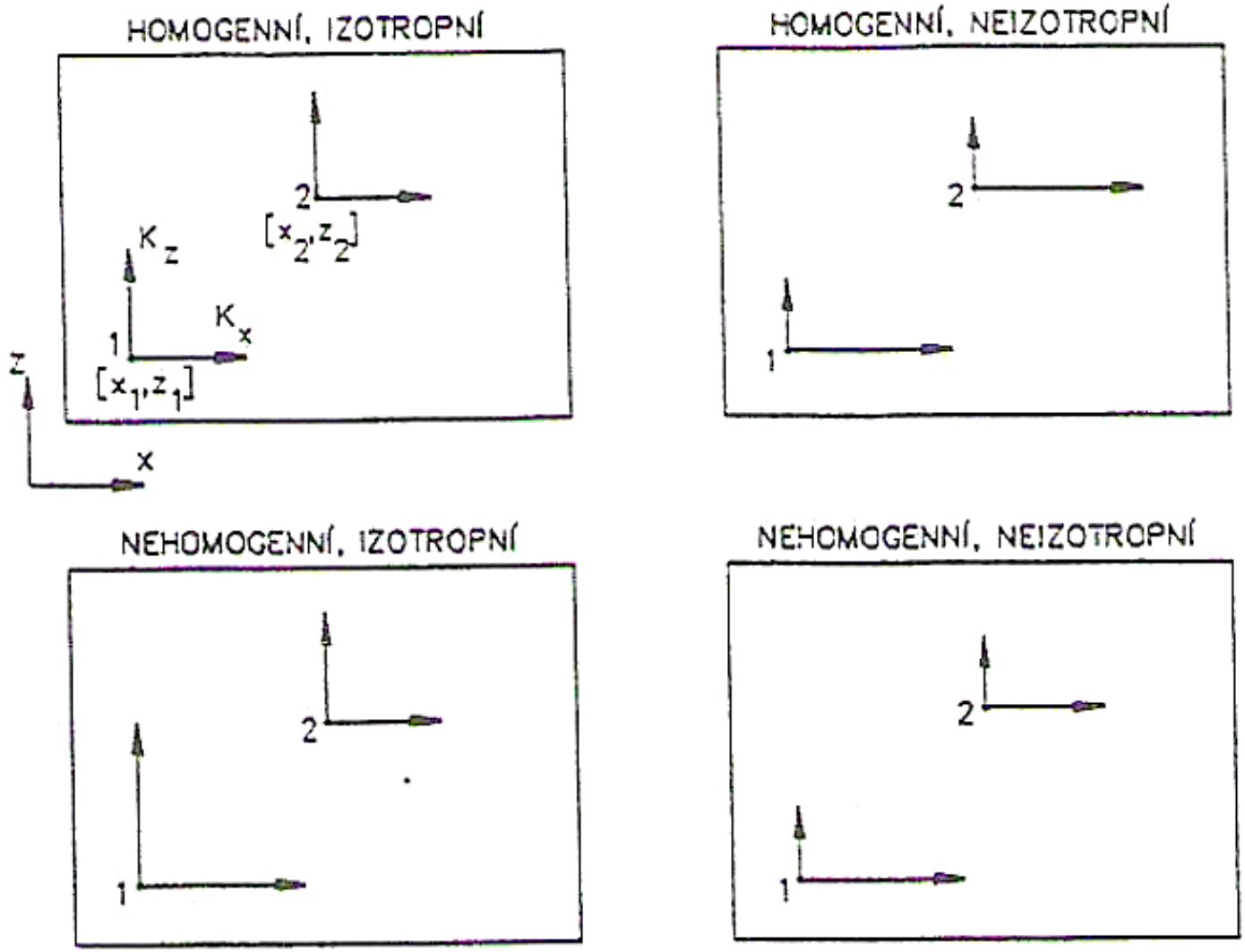
Izotropie/anizotropie

- Prostředí je **izotropní** vzhledem k veličině, je-li tato veličina v daném bodě nezávislá na směru v uvažovaném prostředí. V opačném případě se jedná o prostředí **anizotropní**.
- Příkladem anizotropního prostředí vzhledem k hydraulické vodivosti jsou sedimenty se zrny s delší osou uloženou horizontálně, tzn. porézní prostředí je propustnější v horizontálním směru, kde klade menší odpor, oproti směru vertikálnímu.
- V případě, že jsou hlavní směry anizotropie shodné se směry os kartézské soustavy, zapisujeme Darcyho zákon s hydraulickými vodivostmi pro jednotlivé směry.

$$\vec{q} = \left(-K_x \frac{\partial H}{\partial x}, -K_y \frac{\partial H}{\partial y}, -K_z \frac{\partial H}{\partial z} \right)$$

CC BY SA

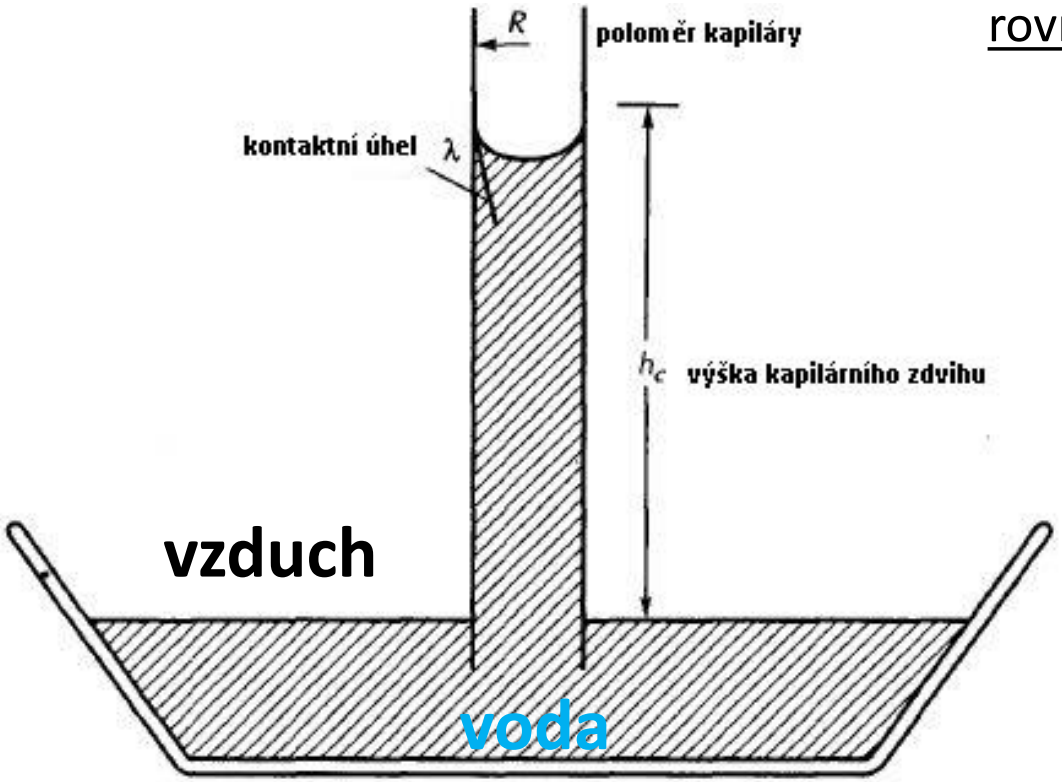
Kombinace homogenity a izotropie



VALENTOVÁ, J. 2001. *Hydraulika podzemní vody*, České vysoké učení technické.

CC BY SA

Proudění v nesaturované zóně kapilární tlak



$$h_c = -h_{p,w}$$

rovnováha adhezních a gravitačních sil

$$F_{up} = F_{down}$$

$$2\pi r \cdot \sigma\cos(\lambda) = h_c \rho g \cdot \pi r^2$$

$$h_c = \frac{2\sigma\cos(\lambda)}{\rho g r}$$

$$p_c = \frac{2\sigma\cos(\lambda)}{r}$$

CC BY SA

Proudění v nesaturované zóně - vlhkost

- **Objemová vlhkost** θ je objemový podíl vody ku objemu porézního prostředí:

$$\theta = \frac{V_w}{V}$$

- Potom je **stupeň nasycení** S, kde θ_s je nasycená vlhkost (vlhkost při plném nasycení pórů):

$$S = \frac{\theta}{\theta_s}$$

- **Efektivní vlhkost** θ_e je, při existenci reziduální vlhkosti θ_r (vlhkost, která se z různých důvodů nemůže účastnit proudění) :

$$\theta_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

CC BY SA

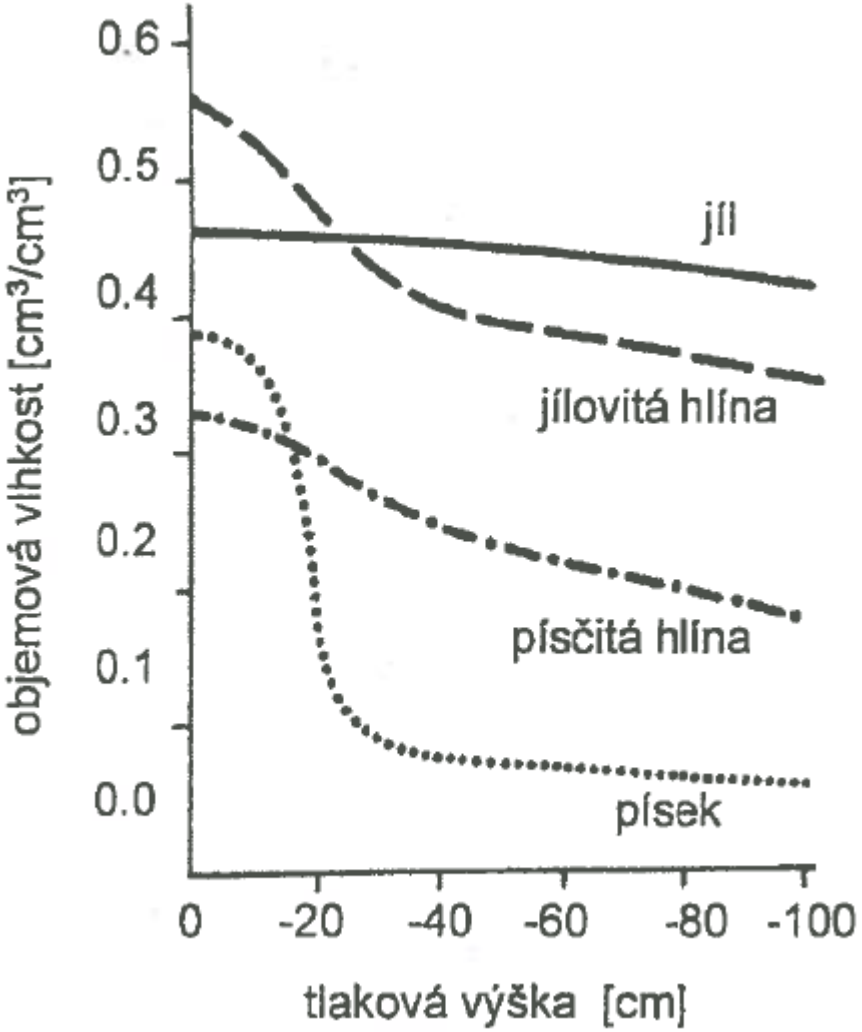
Proudění v nesaturované zóně – retenční křivka

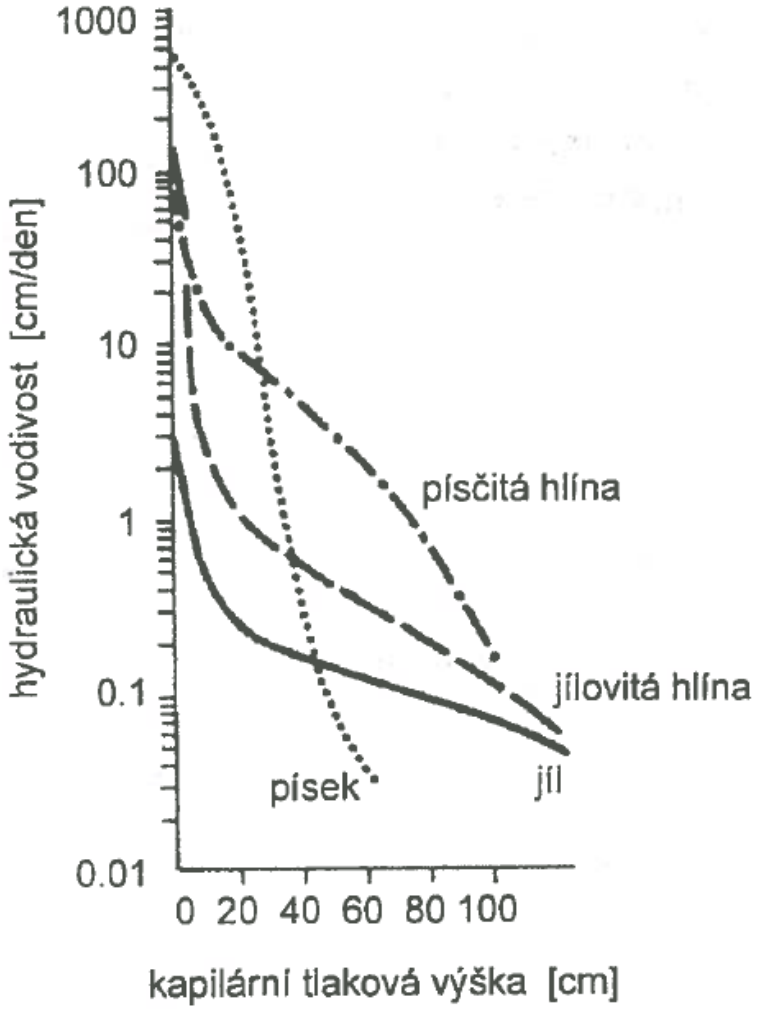
- Za předpokladu, že porézní prostředí modelově sestává pouze z kapilárních pórů a póry různých velikostí jsou dokonale propojeny, nazýváme rovnovážný funkční vztah mezi vlhkostí a kapilární tlakovou výškou, jakožto základní hydraulickou charakteristiku porézního prostředí, **retenční křivkou**.
- Funkční vztah vyjadřuje rovnice **van Genuchtena**, kde α, m a n jsou experimentálně odvozené parametry:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + \left(\alpha \left| h_p \right|^n\right)^m\right]}$$

CC BY SA

Proudění v nenasycené zóně - retenční křivka, křivka $K = K(\theta)$





CÍSLEROVÁ, M. & VOGEL, T. 1998. *Transportní procesy*, České vysoké učení technické.

CC BY SA

Proudění v nesaturované zóně – Darcy-buckinghamův zákon

- V nenasycené zóně je hydraulická vodivost funkcí vlhkosti, $K = K(\theta)$, a pro ustálenou vertikální hustotu toku nestlačitelné kapaliny platí **Darcy-Buckinghamův zákon**:

$$q_z = -K(\theta)\frac{dH}{dz} = -K(\theta)\frac{d\left(h_p + z\right)}{dz} = -K(\theta)\left(\frac{dh_p}{dz} + 1\right)$$

- Základní podmínkou řešení je znalost retenční křivky a křivky $K = K(\theta)$.

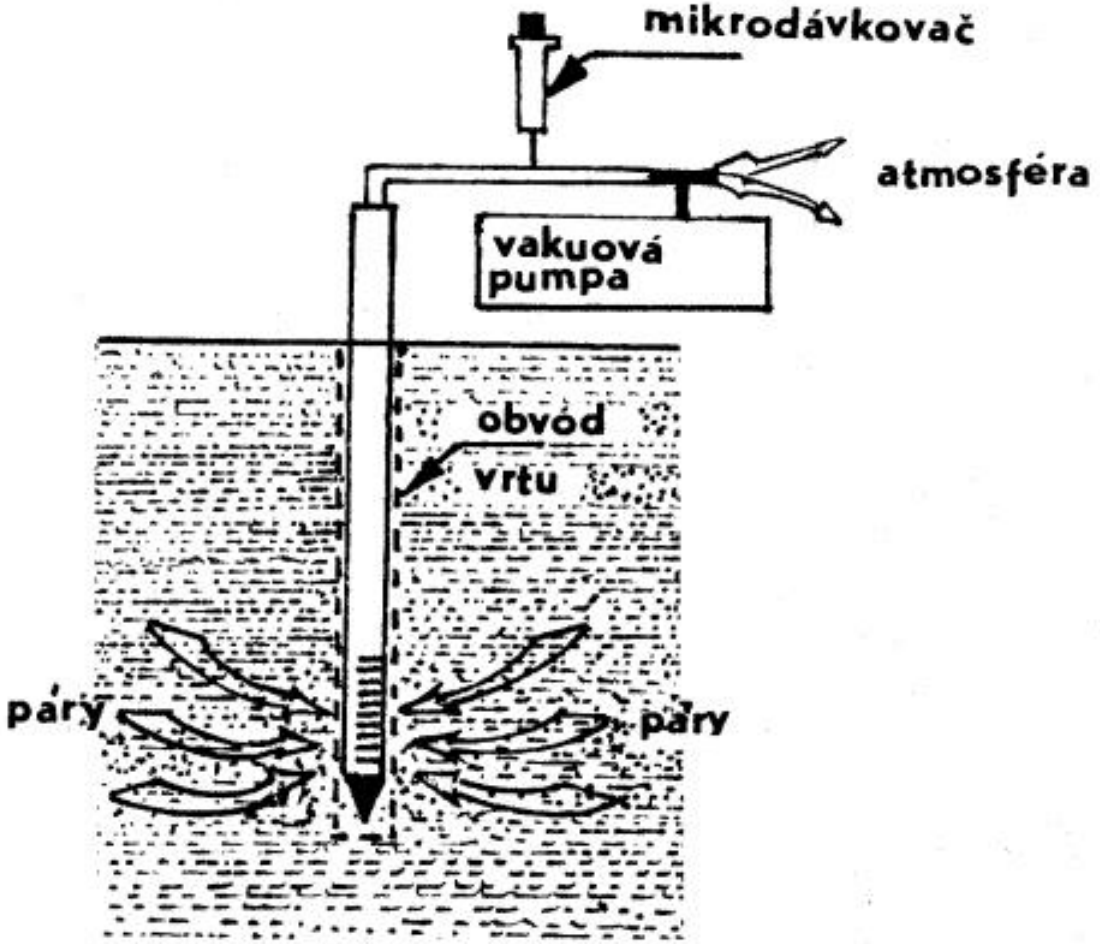
CC BY SA

Atmogeochemický průzkum (I)

- Jedná se o vzorkování plynné fáze nesaturované zóny za účelem následné analýzy složení této fáze.
- Poměr O_2, CO_2 a přítomnost dalších plynů, např. methanu, indikuje povahu respiračních procesů, v podmínkách ČR se často vyskytuje radon, který může být sledován.
- Častá aplikace atmogeochemické průzkumu je v rámci analýzy rizikovosti kontaminovaných lokalit těkavými organickými látkami (VOC) → úkolem je zjistit charakter a rozsah kontaminace nesaturované zóny.
- Používán především jako screeningová metoda, nikoliv pro kvantitativní stanovení obsahu kontaminace v horninovém prostředí.

CC BY SA

Atmogeochemický průzkum (II)



JANKŮ, J. & ČERMÁK, J. 2006. *Vzorkování odpadů,* Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

CC BY SA

Literatura

VALENTOVÁ, J. 2001. *Hydraulika podzemní vody*, České vysoké učení technické.

ŠRÁČEK, O. 2003. *Základy hydrogeologie,* Brno, Masarykova univerzita v Brně.

CÍSLEROVÁ, M. & VOGEL, T. 1998. *Transportní procesy*, ČVUT.

DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. 1998. *Physical and chemical hydrogeology*, Wiley.

BEAR, J. & CHENG, A. H.-D. 2010. *Modeling groundwater flow and contaminant transport,* Springer Science & Business Media.

FETTER, C. W. 2018. *Applied Hydrogeology: Fourth Edition*.

JANKŮ, J. & ČERMÁK, J. 2006. *Vzorkování odpadů,* Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Chemie geosféry
B240008

Ochrana půdy a fyzikální a chemická degradace půdy I

Autor: Radek Škarohlíd
Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

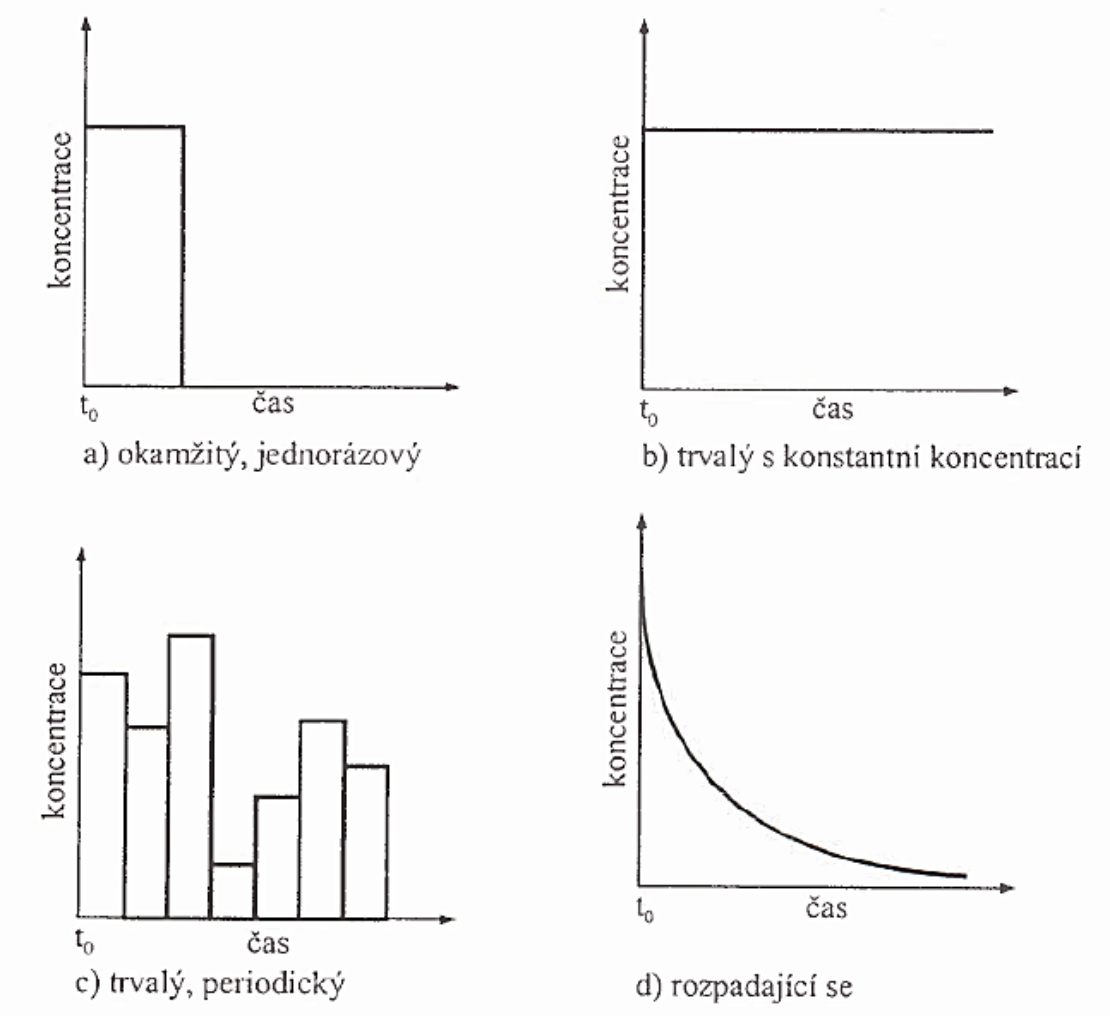
Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

Transport kontaminace

- Při transportních procesech dochází obecně k přenosu hmoty (kontaminace)
- Základní jevy uplatňující se při transportu kontaminace v horninovém prostředí jsou:
  - difuze,
  - advekce,
  - disperze,
  - adsorpce/retardace.
- Zdroj kontaminace – vstup látky do okolního horninového prostředí.
- Dělení zdrojů na základě geometrie zdroje:
  - bodové – skládky, volná fáze DNAPLs,
  - plošné – zemědělské znečištění, kyselé deště,
  - liniové – produktovody, zněčištění okolo transportních cest.
- Dělení zdrojů na základě časového průběhu vstupu:
  - jednorázové,
  - trvalé,
  - periodické,
  - rozpadající se.

CC BY SA

Transport kontaminace – časový průběh zdrojů kontaminace



DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. 1998. *Physical and chemical hydrogeology*, Wiley.
ŠRÁČEK, O. 2003. *Základy hydrogeologie,* Brno, Masarykova univerzita v Brně.

CC BY SA

Difuze

- Transport látek na základě koncentračního gradientu.
- V případě ustáleného stavu → koncentrační gradient neměnný v čase je difuzní tok J_D, $[J_D] = \mathrm{kg.m^{-2}.s^{-1}}$, popsán 1. Fickovým zákonem (1D případ).

$$J_D = -D_e \frac{dC}{dx}$$

- D_e,$[D_e] = \mathrm{m^2.s^{-1}}$, je difuzní koeficient pro porézní prostředí a dC/dx je koncentrační gradient.
- D_e lze odhadnout z difuzního koeficientu pro prostředí volné vodné fáze D_v následujícím vztahem:

$$D_e = D_v \frac{n}{\tau}$$

- n je pórovitost/porozita (typické hodnoty 0,01 – 0,4) a τ je tortuozita (typické hodnoty 1,3-2,0).
- Tortuozita je poté poměr délky reálné trajektorie difuze přes vzorek a přímé délky vzorku.

- Transport látek na základě koncentračního gradientu.
- V případě ustáleného stavu → koncentrační gradient neměnný v čase je difuzní tok J_D, $[J_D] = \mathrm{kg.m^{-2}.s^{-1}}$, popsán 1. Fickovým zákonem (1D případ).

$$J_D = -D_e \frac{dC}{dx}$$

- D_e,$[D_e] = \mathrm{m^2.s^{-1}}$, je difuzní koeficient pro porézní prostředí a dC/dx je koncentrační gradient.
- D_e lze odhadnout z difuzního koeficientu pro prostředí volné vodné fáze D_v následujícím vztahem:

$$D_e = D_v \frac{n}{\tau}$$

- n je pórovitost/porozita (typické hodnoty 0,01 – 0,4) a τ je tortuozita (typické hodnoty 1,3-2,0).
- Tortuozita je poté poměr délky reálné trajektorie difuze přes vzorek a přímé délky vzorku.

Difuze – difuzní koeficienty pro vybrané ionty

Kationt	$D_v[10^{-10}\ m^2.s^{-1}]$	Aniont	$D_v[10^{-10}\ m^2.s^{-1}]$
H^+	93.1	OH^-	52.7
Na^+	13.3	F^-	14.6
K^+	19.6	Cl^-	20.3
Rb^+	20.6	Br^-	20.1
Cs^+	20.7	HS^-	17.3
-		HCO_3^-	11.8
Mg^{2+}	7.05	-	-
Ca^{2+}	7.93	CO_3^{2-}	9.55
Sr^{2+}	7.94	SO_4^{2-}	10.7
Ba^{2+}	8.48		
Ra^{2+}	8.89		
Mn^{2+}	6.88		
Fe^{2+}	7.19		
Cr^{3+}	5.94		
Fe^{3+}	6.07		

DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. 1998. *Physical and chemical hydrogeology*, Wiley.
ŠRÁČEK, O. 2003. *Základy hydrogeologie,* Brno, Masarykova univerzita v Brně.

CC BY SA

Advekce

- Transport látek způsobený prouděním podzemní vody.
- Průměrná pórová rychlost (advekční rychlost) proudění podzemní vody

$$v_p = \frac{q}{n_{ef}}$$

- V případě ustáleného stavu → v_p neměnná v čase je advekční tok J_A, $[J_A] = \mathrm{kg.\,m^{-2}.\,s^{-1}}$, popsán (1D případ).

$$J_A = v_p n_{ef} C$$

CC BY SA

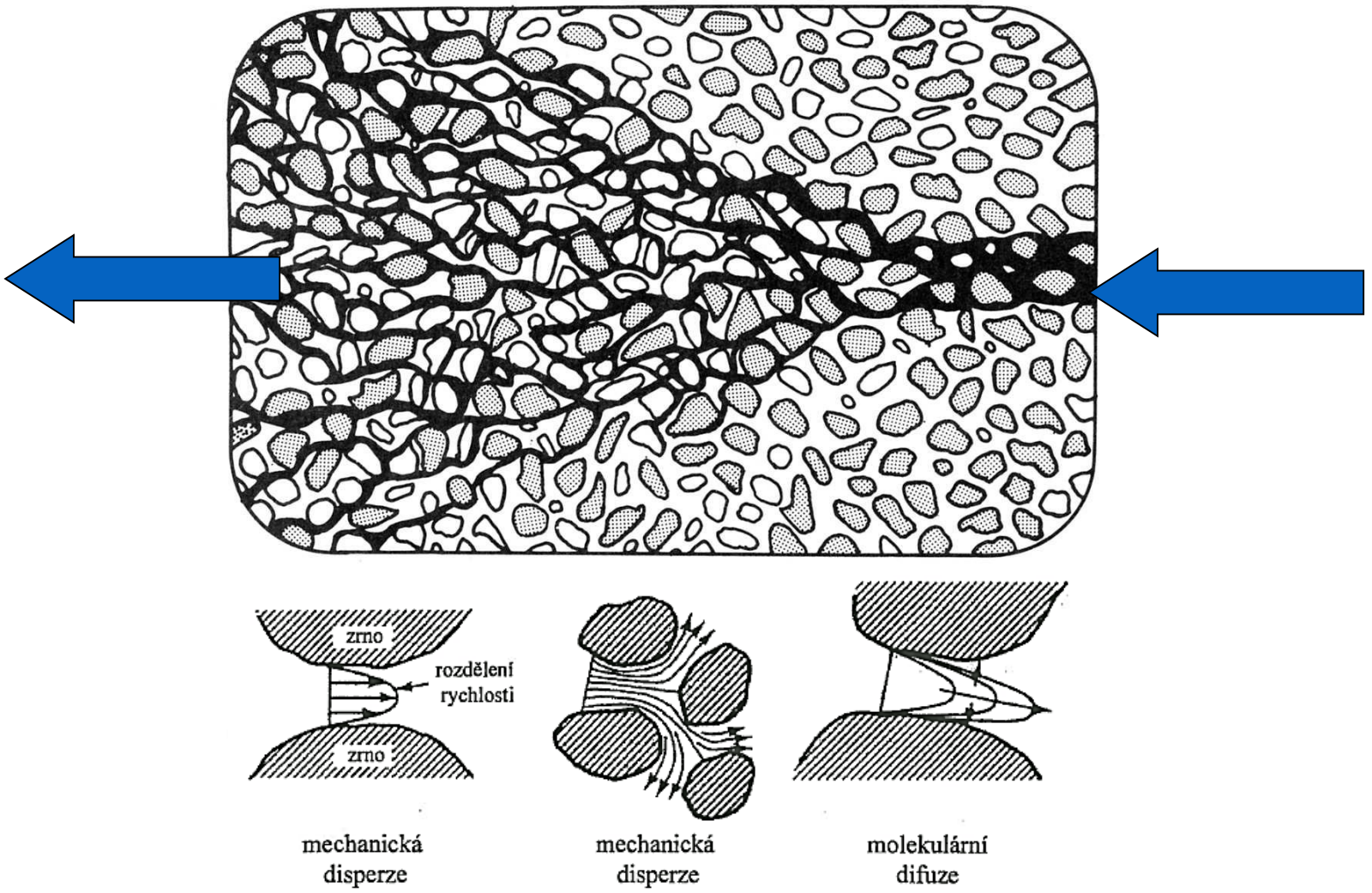
Disperze

- Šíření kontaminace na základě rozdílů v propustnosti (rychlosti proudění) v různých měřítcích:
  - póry,
  - makroskopické změny propustnosti,
  - měřítko kolektoru.
- Je fcí advekce – bez advekce se disperze neprojeví.
- Kvantitativně charakterizována disperzivitou [α] = m.
- Ve 3D se projevuje jako:
  - podélná disperzivita α_L – působí ve směru proudění,
  - příčná disperzivita α_T - působí v horizontálně kolmém směru vůči směru proudění,
  - vertikální disperzivita α_V – působí ve směru vertikálním kolmém na směr proudění.
- Platí $\alpha_L > \alpha_T > \alpha_V$
- Spolu s difuzí charakterizována koeficientem hydrodynamické disperze:

$$D_L = \alpha_L . v + D_e$$

CC BY SA

Disperze



Císlerová, M. and T. Vogel (1998). Transportní procesy, České vysoké učení technické.

CC BY SA

Adsorpce a retardace

- V praxi je adsorpce popisována lineární adsorpční izotermou K_d, S je adsorbované množství kontaminantu a C je rovnovážná koncentrace ve vodě.

$$K_D = KP = K_{SW} = \frac{C_s}{C_w}$$

- Adsorbovaný kontaminant je v porovnání s advekcí zpomalen → vyjádřeno koeficientem retardace R, kde v_v je rychlost proudění vody, v_k je rychlost transportu kontaminantu, n je porozita, ρ_b je sypná hustota zeminy.

$$R = \frac{v_v}{v_k} = 1 + \left(\frac{\rho_b}{n}\right) K_d$$

CC BY SA

Dekontaminační technologie - třídění

- podle **místa realizace**
- podle **dekontaminovaného media**
- podle **používané strategie**
- podle **účinnosti a míry používání**

CC BY SA

Dekontaminační technologie - třídění

- podle **místa realizace:**
  - in-situ,
  - ex-situ → (on-site, off-site).

- podle **dekontaminovaného media:**
  - pro zeminy, sedimenty, kaly (tuhé materiály),
  - pro podzemní vody, povrchové vody, průsaky,
  - vzdušné emise, odplyny.

CC BY SA

Dekontaminační technologie - třídění

- podle **používané strategie:**
  - destrukce nebo změna kontaminantu
    (termické, chemické, biologické),
  - extrakce nebo separace kontaminantu z/od environmentálního media - vyžaduje následné využití/zneškodnění kontaminantu,
    (desorpce vč. termické, praní, extrakce rozpouštědly, venting, separace nemísitelných kapalných fází, adsorpce, stripování, iontová výměna),
  - imobilizace kontaminantu
    (stabilizace, solidifikace, vitrifikace, „containment“ technologie),
  - pomocné technologie
    (bariery, hydraulické štěpení, pneumatické štěpení, torpedace).

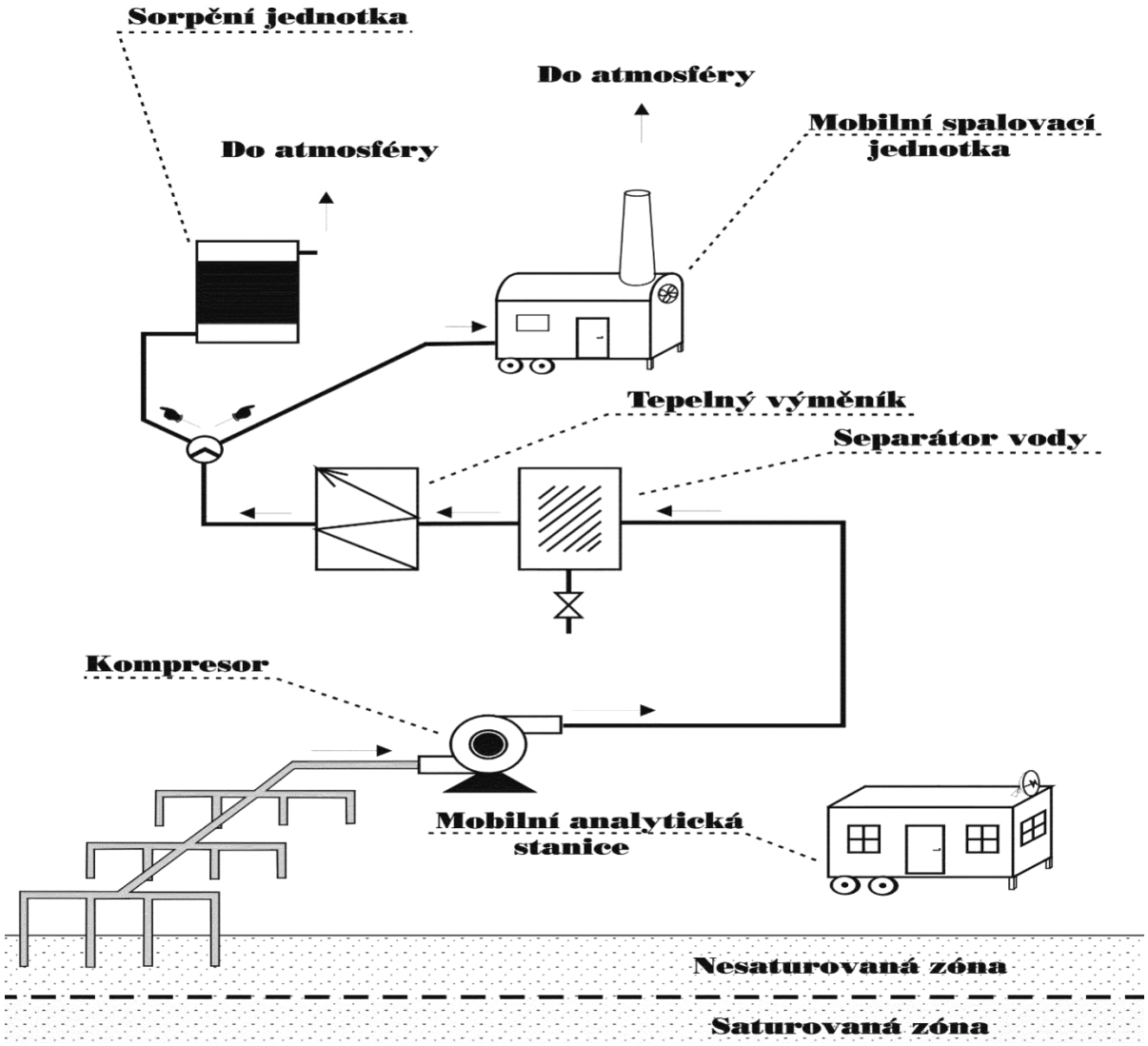
CC BY SA

Dekontaminační technologie - třídění

- podle **účinnosti a míry používání**:
  - ověřené a používané
  - ve fázi poloprovozního nebo provozního ověřování
  - vyvíjené

CC BY SA

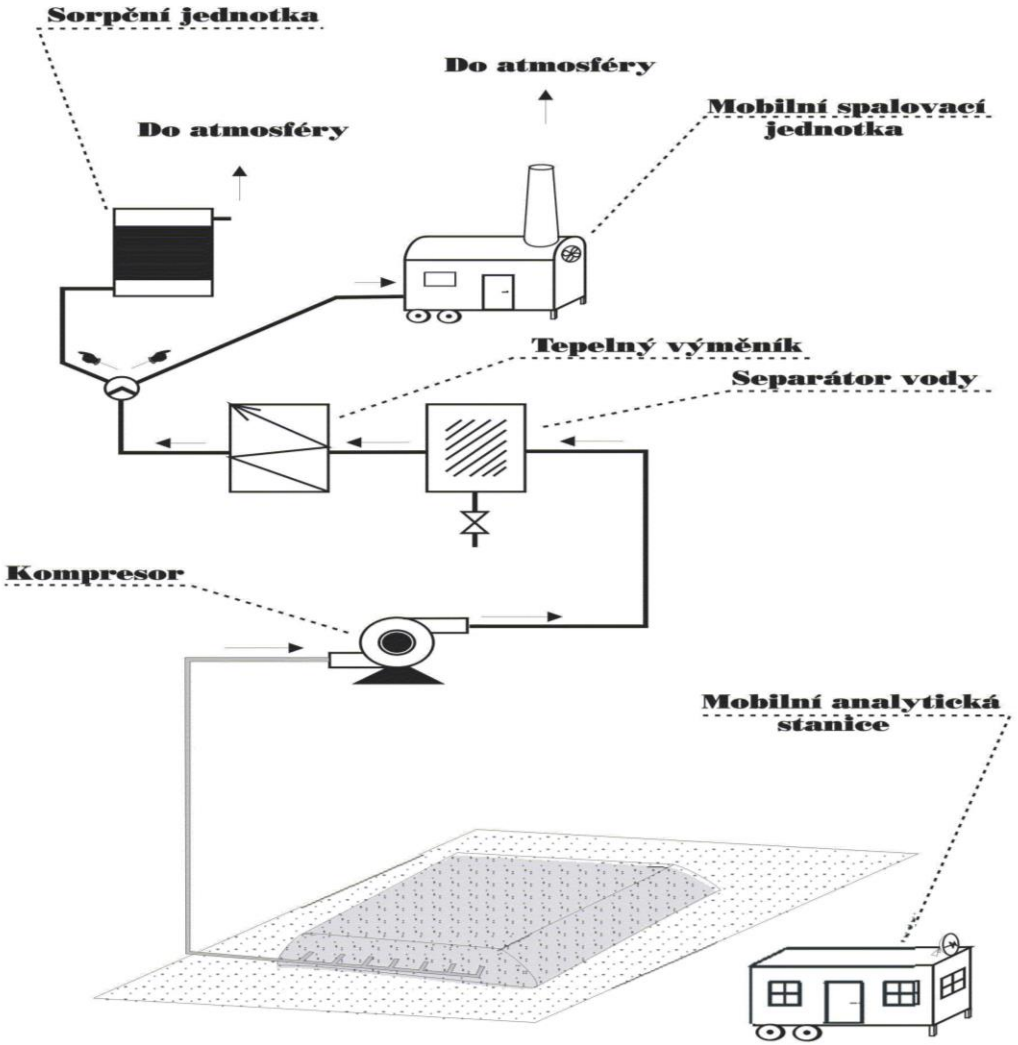
Dekontaminační technologie – třídění – in-situ venting - schéma



KUBAL, M., BURKHARD, J. & BŘEZINA, M. 2002. *Dekontaminační technologie (učební texty a prezentace),* Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

CC BY SA

Dekontaminační technologie – třídění – ex-situ venting - schéma



KUBAL, M., BURKHARD, J. & BŘEZINA, M. 2002. *Dekontaminační technologie (učební texty a prezentace),* Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

CC BY SA

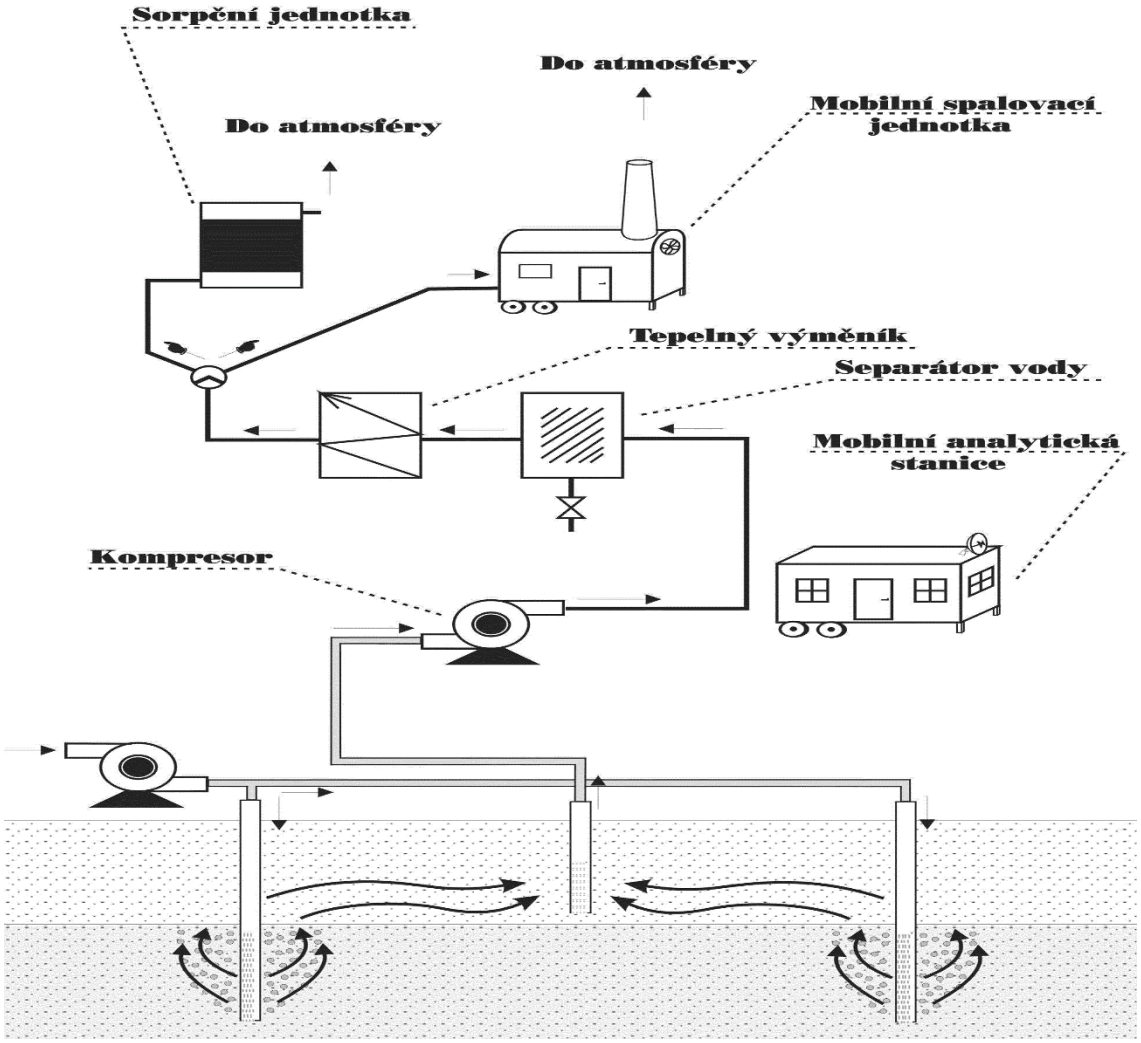
Dekontaminační technologie – třídění - venting

- **Princip:** odsávání vzdušné fáze horninového prostředí včetně par těkavých a semitěkavých kontaminantů.
- **Použitelnost:**
  - nesaturovaná zóna,
  - Henryho konstanta kontaminantu > 0,1 kPa.m^3.mol^{-1} - (parciální tlak kontaminantu při 25^oC > 66 kPa),
  - těkavé organické látky - BTEX, chlorované organické VOC, ropné látky.

- **Omezení použití:**
  - fyzikálně chemické vlastnosti kontaminantu – volatilita,
  - propustnost a mocnost nesaturované zóny,
  - sorpční kapacita zeminy,
  - hladina podzemní vody/kapilární třásně (vysoká),
  - koncentrace znečištění (nízká).

CC BY SA

Dekontaminační technologie – třídění – air sparging - schéma



KUBAL, M., BURKHARD, J. & BŘEZINA, M. 2002. *Dekontaminační technologie (učební texty a prezentace),* Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

CC BY SA

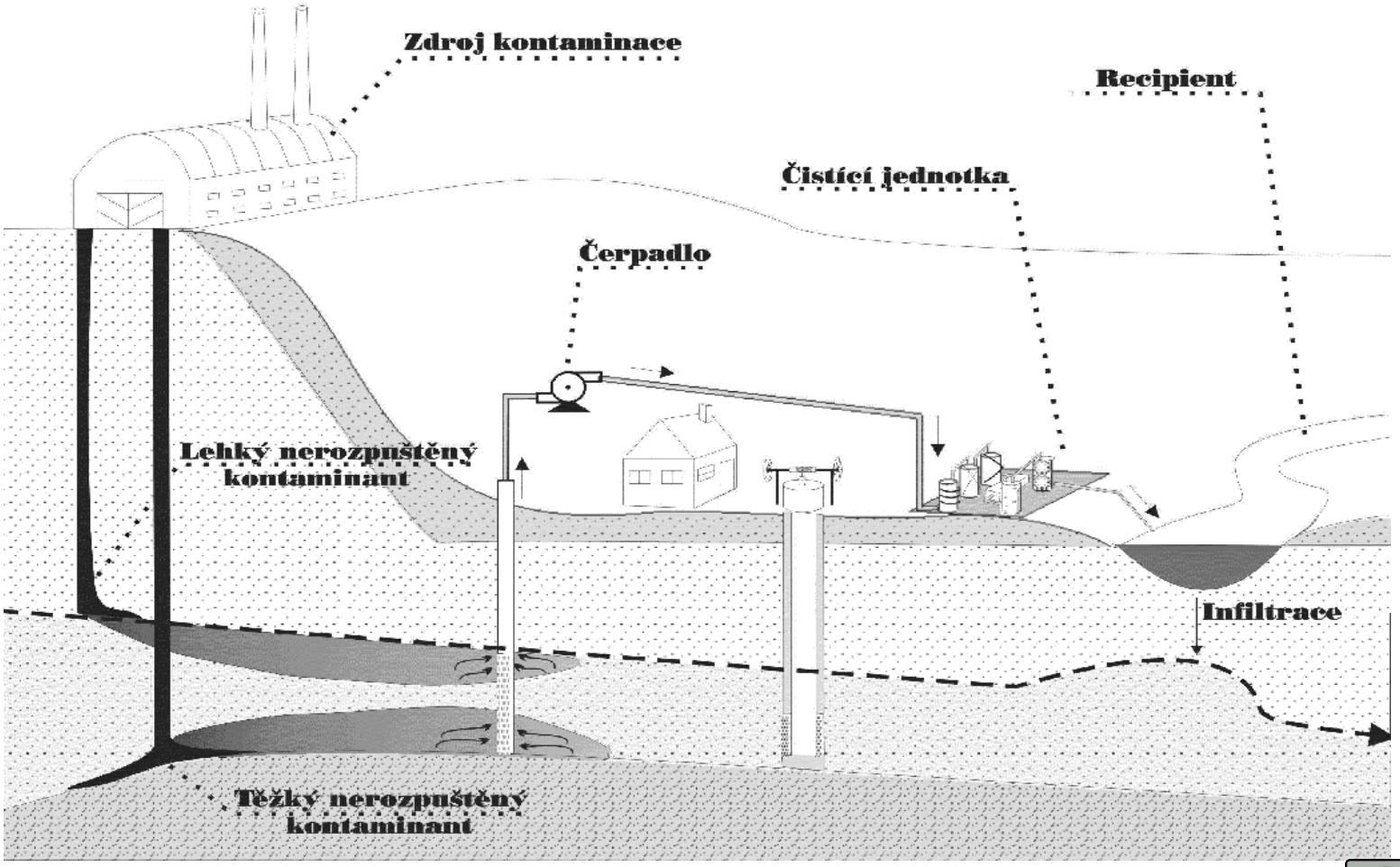
Dekontaminační technologie – třídění – air sparging

- **Princip** spočívá ve vhánění vzduchu pod hladinu podzemní vody, stripování kontaminantů do nesaturované zóny a jejich následnému odvádění prostřednictvím odsávacích vrtů**,**
- **Použitelnost:**
  - saturovaná zóna (dle designu na lokalitě lze i nesaturovanou zónu),
  - sanace ohnisek kontaminace,
  - Henryho konstanta kontaminantu > 0,1 $kPa.m^3.mol^{-1}$ - (parciální tlak kontaminantu při 25^oC > 66 kPa),
  - těkavé organické látky - BTEX, chlorované organické VOC, ropné látky .

- **Omezení použití:**
  - fyzikálně chemické vlastnosti kontaminantu – volatilita,
  - propustnost a mocnost nesaturované zóny,
  - sorpční kapacita zeminy,
  - hladina podzemní vody/kapilární třásně (vysoká),
  - koncentrace znečištění (nízká).

CC BY SA

Dekontaminační technologie – třídění – sanační čerpání- schéma



KUBAL, M., BURKHARD, J. & BŘEZINA, M. 2002. *Dekontaminační technologie (učební texty a prezentace),* Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

CC BY SA

Dekontaminační technologie – třídění – sanační čerpání

- **Princip:** odčerpávání kapalné fáze (kontaminant rozpuštěn ve vodě, či LNAPL/DNAPL) ze saturované zóny následované čistící technologií.

- **Cíl:**
  - vytvoření hydraulické deprese pro následující účely:
    - zabránit šíření kontaminace (hydraulická bariéra),
    - zrychlit čerpání podzemní vody za účelem vyčištění,
    - zrychlit přítok volné fáze (lehčí - po hladině, těžší - po nepropustné bariéře).
  - čerpání podzemní vody pro její další využití (promývání, náhradní zásobování a pod).

- **Použitelnost:**
  - odstraňování rozpuštěných, kapalných a zkapalnitelných kontaminantů ze saturované zóny,
  - intenzifikační opatření (kombinace s ventingem, infiltrace části přečištěné vyčerpané vody) .

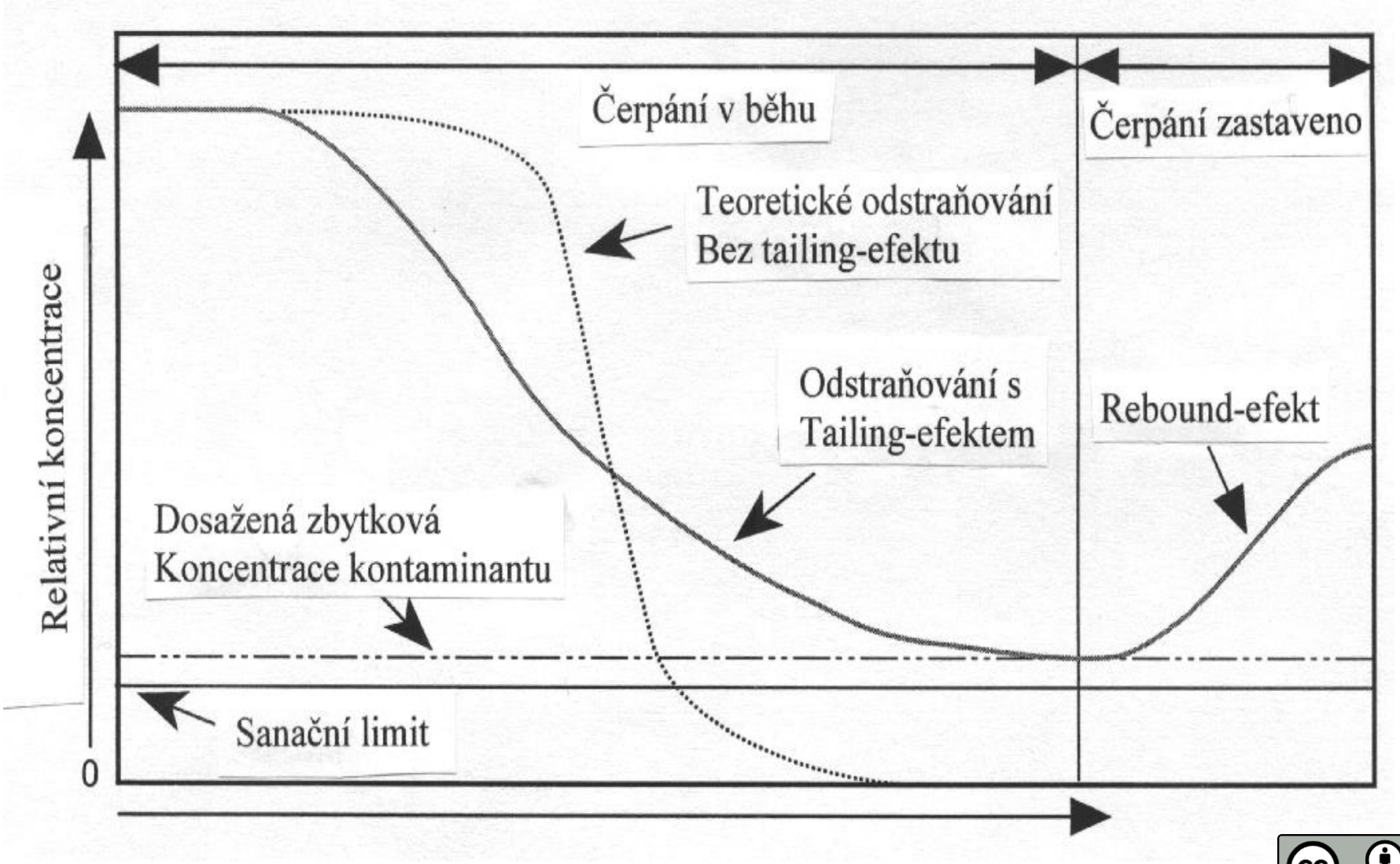
CC BY SA

Dekontaminační technologie – třídění – sanační čerpání

- **Omezení použití:**
  - malá propustnost, nehomogenita saturované zóny,
  - malá mocnost saturované zóny,
  - nebezpečí přitažení kontaminace ze sousedního areálu,
  - nebezpečí ovlivnění vodohospodářských poměrů v oblasti,
  - mrazová období,
  - rebounding.

CC BY SA

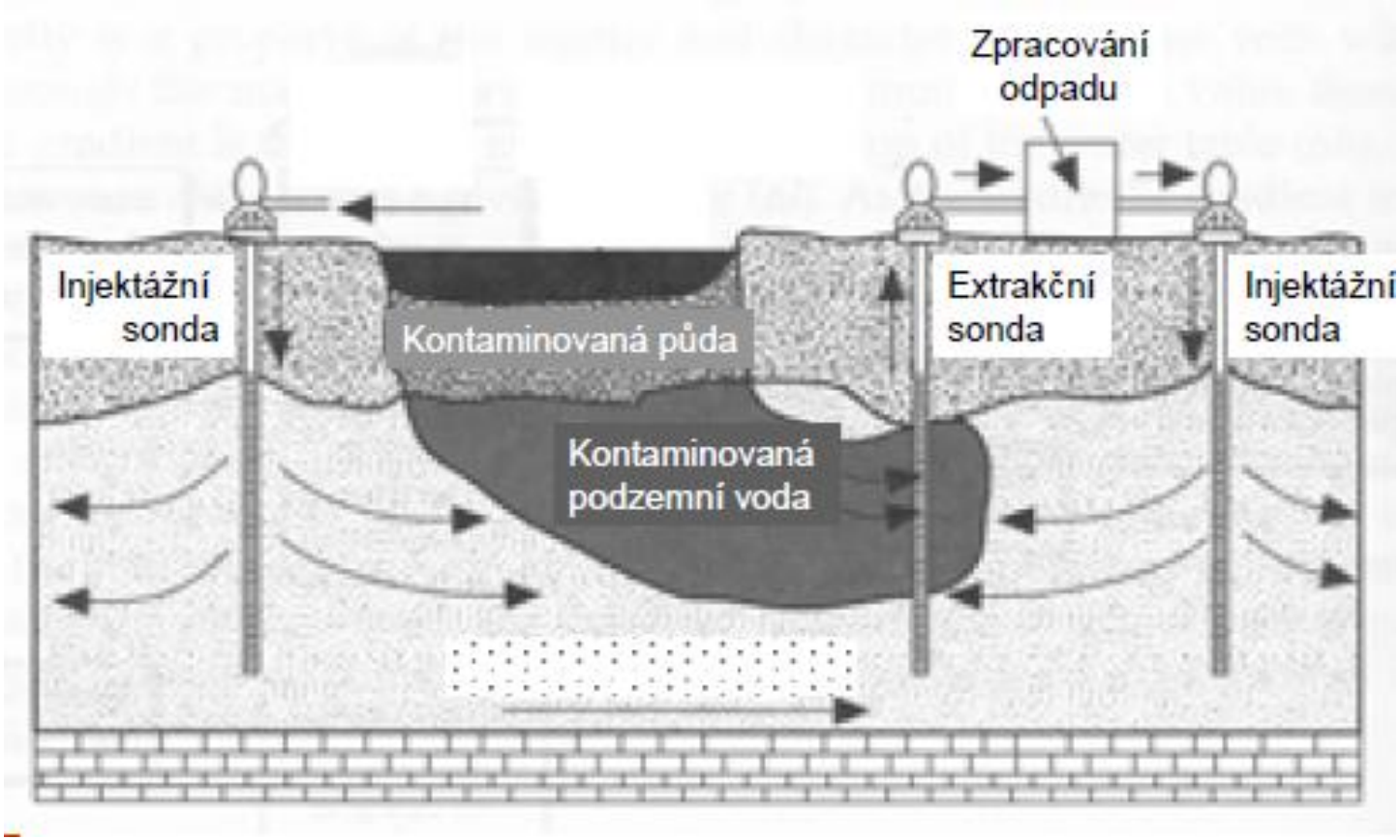
Dekontaminační technologie – třídění – sanační čerpání



KUBAL, M., BURKHARD, J. & BŘEZINA, M. 2002. *Dekontaminační technologie (učební texty a prezentace),* Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

CC BY SA

Dekontaminační technologie – třídění – vymývání půdy - schéma



BORŮVKA, L. 2005. *Pedogeochemie,* Praha, ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie.

CC BY SA

Dekontaminační technologie – třídění –vymývání půdy

- **Princip:**
  - zapravení vodného roztoku látek schopných rozpouštět nebo měnit povrchové napětí kontaminantů (kyseliny, zásady, tenzidy, rozpouštědla),
  - odčerpání, jímání, vyčištění roztoku,
  - (případně) recyklace.

- **Použitelnost:**
  - široká škála kontaminanů organických i anorganických,
  - nesaturovaná zóna a kapilární třáseň - lokality s dostatečnou propustností a homogenitou (v případě aplikace in-situ),
  - (kombinace s biologickým dočištěním, používání biosurfaktantů, minimální objem extrakčního roztoku 3-5 pórových objemů).

- **Omezení použití:**
  - nízká propustnost horninového prostředí (jíly, naplaveniny),
  - heterogenita,
  - směsná kontaminace,
  - vysoká sorpce,
  - toxicita, nízká biologická rozložitelnost tenzidů.

CC BY SA

Dekontaminační technologie – třídění – stabilizace/solidifikace

- **Princip:**
  - solidifikace - fyzikální přeměna a uzavření do monolitické omezeně rozpustné struktury (chemické vlastnosti nemusí být ovlivněny),
  - stabilizace - chemické vázání kontaminantu do stabilní a málo rozpustné formy (fyzikální vlastnosti nemusí být ovlivněny),
  - jedná se o vzájemně neoddělitelné komplementární procesy),
  - in-situ - v místě výskytu, bez vytěžení (obtížná těžitelnost, nadměrné dopravní náklady),
  - též aplikovatelné ex-situ,
  - technologie spočívá v promíchání sanovaného materiálu s pojivem (cement, popílky, struska, doplňkově vápenný hydrát či asfaltová pojiva) (případně) podpůrnými chemickými činidly

- **Použitelnost:**
  - zeminy, kalové laguny, sedimenty

- **Omezení použití:**
  - dosah in-situ aplikace (max. hloubka 15 - 18 m, některé speciální aplikace až do 35 m),
  - narušování průběhu tuhnutí některými kontaminanty (sulfáty, organické polutanty),
  - heterogenita zpracovávaného materiálu,
  - nelze použít pro těkavé organické kontaminanty.

CC BY SA

Dekontaminační technologie – podporovaná in-situ bioremediace

- **Princip:**
  - podpora přirozeně se vyskytujících či uměle dodaných mikroorganismů za účelem transformovat či degradovat cílové polutanty a to pomocí optimalizace podmínek in situ.
- **Použitelnost:**
  - saturovaná i nesaturovaná zóna,
  - eliminace n-alkanů, isoalkanů, cyklických alkanů, ClU, PAU, fenoly i anorganické sloučeniny – sírany, dusičnany.
  - výhodná jako integrální součást komplexních sanačních metod při nižších koncentracích polutantů.
- **Omezení použití:**
  - málo propustné horniny ($K \leq 10^{-6}$),
  - přílišný růst mikroorganismů může kolmatovat okolí vrtů,
  - heterogenní prostředí.

CC BY SA

Literatura

- Borůvka, L. 2005. *Pedogeochemie*. Praha, ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie.
- Kubal, M., Burkhard J. & M. Březina 2002. *Dekontaminační technologie (učební texty a prezentace).* Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- Matějů, V. 2006. *Kompendium sanačních technologií*, Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o.
- Šráček, O. 2003. *Základy hydrogeologie*. Brno, Masarykova univerzita v Brně.
- CÍSLEROVÁ, M. & VOGEL, T. 1998. *Transportní procesy*, ČVUT.

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Chemie geosféry
B240008

Ochrana půdy a fyzikální a chemická degradace půdy II

Autor: Radek Škarohlíd
Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

Faktory ovlivňující chování kontaminantů - obecně

- Chování a transport kontaminantu v horninovém prostředí jsou obecně ovlivněny:
  - fyzikálně-chemickými vlastnostmi kontaminantu,
  - biologickými vlastnostmi kontaminantu,
  - fyzikální strukturou horninového prostředí,
  - geochemickým složením horninového prostředí včetně složení přítomných podzemních vod a panujících hydrodynamických podmínek.
- Procesy lze rozdělit na:
  - abiotické – interakce s matricí a podz. vodou (např. redox reakce, adsorpce, iontová výměna),
  - biotické – např. degradace mikroorganismy,
  - hydrodynamické – např. ředění, advekce, difuze.

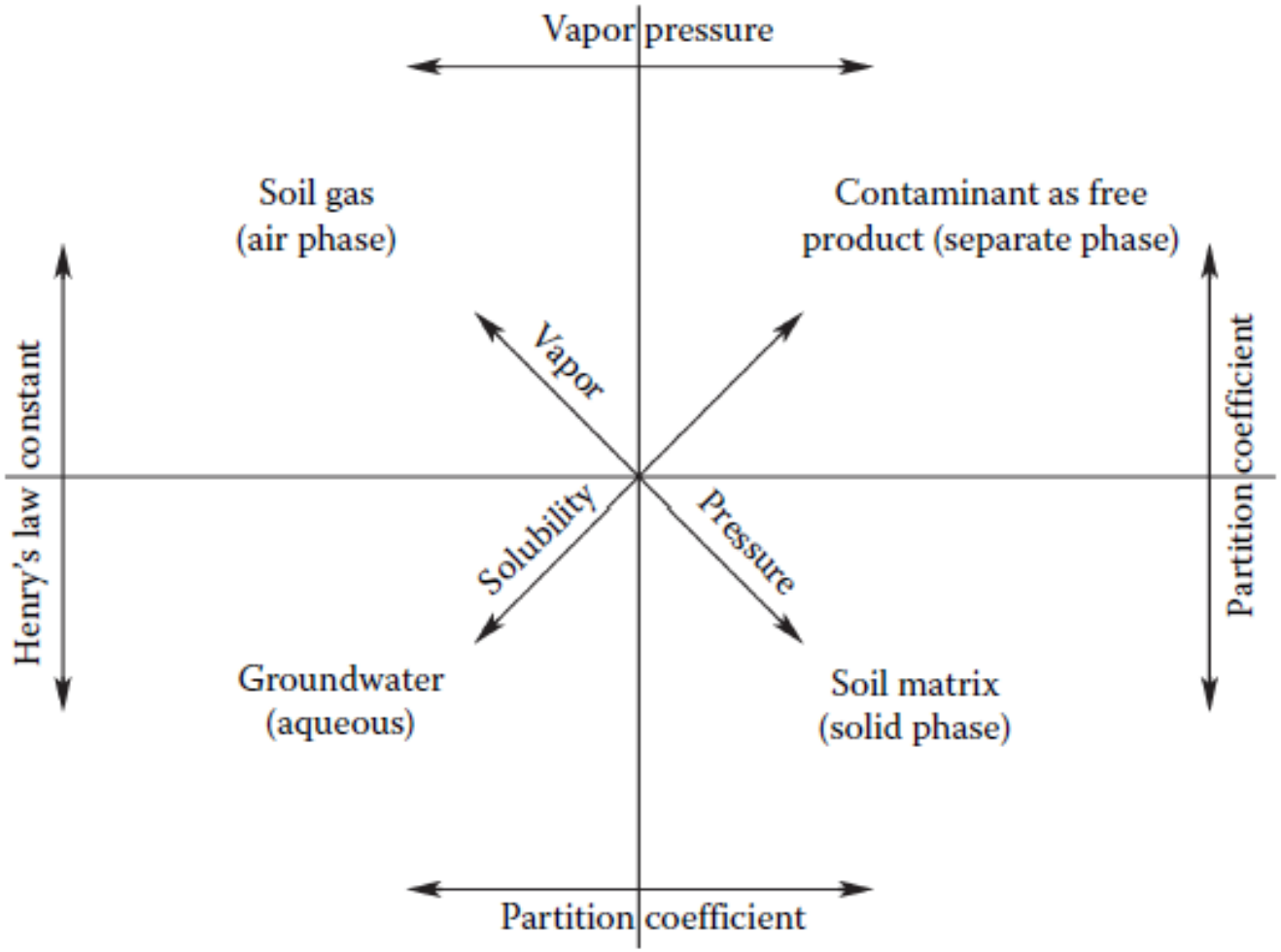
CC BY SA

Fyzikálně chemické vlastnosti kontaminantů

- Chování kontaminantů a směsí kontaminantů v horninovém prostředí je významně ovlivněno fyzikálně-chemickými vlastnostmi, mluvíme především o vlivu na:
  - distribuci kontaminantu mezi jednotlivé fáze horninového prostředí,
  - afinitě k migraci v daném prostředí či naopak k retardaci v matrici.
- Významné jsou především tyto vlastnosti:
  - rozpustnost ve vodě, tlak nasycených par, Henryho konstanta, hustota, viskozita a afinita k adsorpci a absorpci.

CC BY SA

Fyzikálně chemické vlastnosti kontaminantů - přehled



SUTHERSAN, S. S., HORST, J., SCHNOBRICH, M., WELTY, N. & MCDONOUGH, J. 2016. *Remediation Engineering: Design Concepts, Second Edition*, CRC Press.

CC BY SA

Fyzikálně chemické vlastnosti kontaminantů – rozpustnost ve vodě

- Bazální vlastnost ovlivňující transportovatelnost kontaminantu ve vodné fázi.
- U různorodých organických kontaminantů variuje od 1 $mg.l^{-1}$ po 200000 $mg.l^{-1}$.
- Hydrofilní látky - alkoholy, ketony, aldehydy, ethery a karboxylové kyseliny:
  - velmi dobře rozpustné,
  - netvoří samostatné fáze, tzv. NAPL (Non Aqueous Phase Liquid) ,
  - často se významně nesorbují.
- Hydrofobní látky - ropné uhlovodíky, aromatické uhlovodíky či chlorované uhlovodíky:
  - formují NAPL (Non Aqueous Phase Liquid),
  - v horninovém prostředí mohou působit jako dlouhodobý zdroj kontaminace,
  - vykazují významné rozpětí hustot,
    - DNAPL (Dense Non Aqueous Phase Liquid) – kumulace na dně kolektoru,
    - LNAPL (Light Non Aqueous Phase Liquid) – kumulace na vodní hladině,
  - významná sorpce.

CC BY SA

Anorganické kontaminanty

- Vesměs se také vyskytují v určitých koncentracích v přirozeném pozadí zeminy.
- Formy výskytu jsou funkcí především pH a oxidačně-redukčního potenciálu a výskytu dalších látek.
- Lze obecně rozdělit do 3 skupin:
  - sírany a chloridy – řádově stovky až tisíce $mg.l^{-1}$, relativně nejméně nebezpečné,
  - kontaminanty na bázi N, P, Fe, Mn, Zn – jednotky až desítky $mg.l^{-1}$,
  - stopové prvky projevující toxicitu a další nepříznivé účinky již při koncentracích řádově nižších než 1 $mg.l^{-1}$.
- Nejrizikovější běžné anorganické kontaminanty jsou těžké kovy As, Cr, Cu, Pb, Hg, Cd.

CC BY SA

Těžké kovy

- Při vyšších koncentracích a za nepříznivých fyzikálně-chemických podmínek mohou kovy představovat významné a dlouhodobé ohrožení složek životního prostředí, zejména podzemních vod a zemin.
  - Většina důležitých těžkých kovů vykazuje ovšem podstatně vyšší sorpční schopnost než Ca a Mg a dokáže tyto přirozeně nasorbované prvky vytěsnit.
  - V této fázi tedy zemina kontaminující kovy zadržuje a zásadním způsobem snižuje jejich nebezpečnost vůči okolnímu prostředí.
  - V určitém okamžiku se sorpční kapacita zeminy těmito kontaminujícími kovy nasytí a jejich další šíření (například do podzemní vody) není již zeminou omezováno.
  - Takto nakoncentrované kontaminující kovy potom navíc představují velké nebezpečí, neboť pouhou změnou okolních podmínek (například snížením pH při kyselém dešti) může docházet k jejich nárazovému vyplachování.

CC BY SA

Těžké kovy – vliv náboje

- Elementární formy s výjimkou rtuti nejsou významné.
- Ve formě kationtu (Cd^{2+}, Cr^{3+}) či aniontu (CrO_4^{2-}).
- Typ a velikost náboje zásadním způsobem určují sorpční schopnost a tím i mobilitu v systému zemina-podzemní voda.
- Zeminu při určitém zjednodušení můžeme považovat za hlinito-křemičitou matrici s fixním negativním nábojem, která se chová jako katex.
- Kladně nabité kontaminanty tedy jeví tendenci se vázat, zatímco záporně nabité kontaminanty v zásadě procházejí bez zdržení.

CC BY SA

Těžké kovy – vliv komplexotvorných látek

- Přítomnost komplexotvorných látek výrazně zvyšuje ochotu kovů přecházet z nerozpuštěného stavu do roztoku:
  - huminové kyseliny - přítomné prakticky v každé zemině,
  - EDTA,
  - kyanidy,
  - amoniak.

- Komplexní sloučeniny kovů (většinou nesou záporný náboj) jsou v roztoku většinou mimořádně stabilní, a to i při vyšších hodnotách pH, kde se nekomplexované kovy již obvykle sráží.
- Přítomnost kovu negativně ovlivňuje i odbourávání komplexních látek samotných, např. EDTA, které ve formě sodné soli podléhá biodegradaci se v komplexu kovem již prakticky nerozkládá.

CC BY SA

Těžké kovy – vliv pH

- Základní parametr při posuzování mobility kovů v systému zemina-podzemní voda.
- Kontakt kontaminované zeminy s podzemní vodou o neutrálním pH ještě nemusí znamenat akutní riziko.
- Situace se však mění při snižování pH, kovy se rozpouští zhruba v následujícím pořadí:
  - 1. Zn, Cd,
  - 2. Cu, Pb,
  - 3. Cr, Ni.
- Při posuzování kontaminace těžkými kovy je tedy nutné znát také pH poměry na lokalitě a koncentrace ve vodných výluzích.

CC BY SA

Zdroje kovů v prostředí

Výroba	Výskyt sloučenin prvků
Těžba a zpracování rud	Fe, Zn, Hg, As, Se, Mn, Cu
Hutní průmysl	Al, Cr, Mo, Ni, Pb, V
Těžba uhlí	Fe, Al, Mn, Ni, Cu, Zn
Strojírenství, povrchová úprava kovů	Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Fe, Al
Chemický průmysl	Fe, Al, W, Mo, Zn, Pb, Cu, Hg
Barvy, laky, pigmenty	Hg, Cr, Pb, Zn, Ti, Al, Ba, Sr, Mn, As, Se
Buničina, papír	Ti, Zn, Al, Ba, Sr, Cr, Se, Cu, Hg
Zpracování kůží	Cr, Al, Fe
Textilní průmysl	Cu, Zn, Cr, Pb, Fe
Polygrafický průmysl	Zn, Cr, Ni, Cd, Cu, Pb
Elektrotechnika	Ag, Se, Ge, Mn, Ni, Pb, Cu, Hg
Spalování uhlí	As, Ti, Al, Ge, Se, Hg, Be, Zn, Mo, Ni, Pb, Sb
Spalování topných olejů	V, Ni, Zn, Cu
Pesticidy	Hg, As, Cu, Zn, Ba
Průmyslová hnojiva	Cd, Mn, As
Koroze potrubí	Fe, Pb, Cu, Ni, Zn, Cr
Automabilová doprava	Pb

ŠRÁČEK, O., DATEL, J. & MLS, J. 2002. *Kontaminační hydrogeologie*, Karolinum.

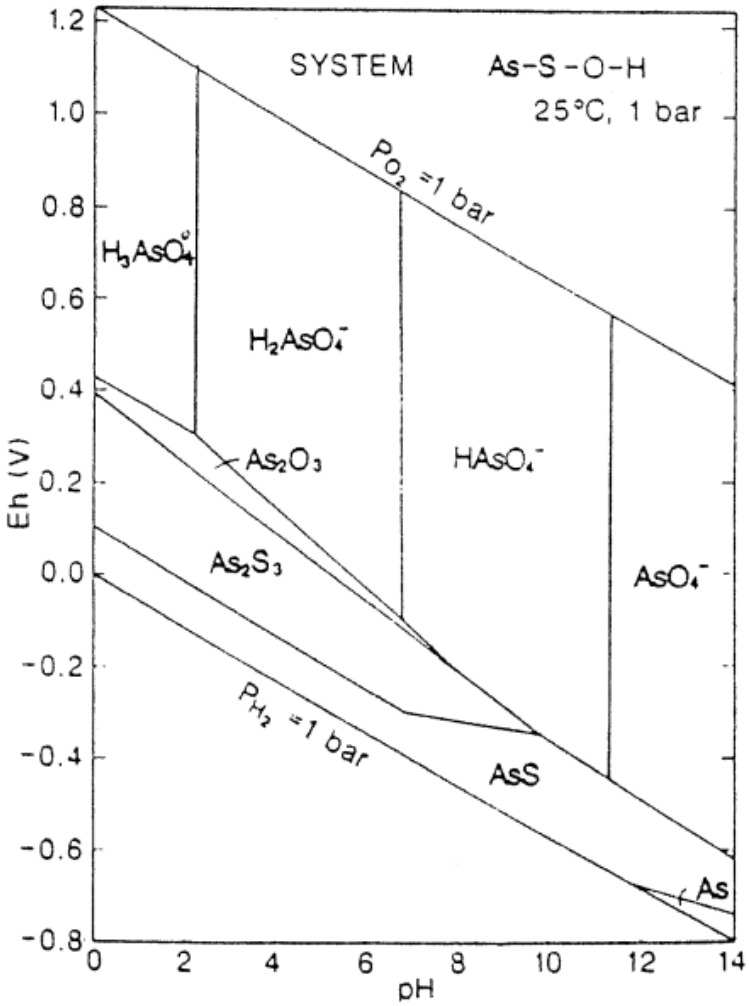
CC BY SA

Arsen

- Do ŽP se dostává:
  - ve formě pesticidů,
  - v látkách pro konzervaci dřeva,
  - v látkách pro urychlení růstu drůbeže a vepřového dobytka.
- Přirozené pozadí v zeminách 1-40 $mg.kg^{-1}$, doporučený limit pro zahájení sanace je 140 $mg.kg^{-1}$
- Výskyt jako arseničnan As(V), arsenitan As(III) či ve formě organických sloučenin.
- Organické sloučeniny As méně toxické než anorganické.
- Arsenitan toxičtější, arseničnan běžnější.
- Chování arseničnanů analogické fosfátům pro jejich chemickou podobnost.
- Fe, Al a Ca snižují mobilitu As tvorbou nerozpustných sloučenin s arseničnany.
- Arsenitany jsou významně rozpustnější.

CC BY SA

Arsen – stabilitní diagram



LANGMUIR, D. 2004. *Issue paper on the environmental chemistry of metals*. US Environmental Protection Agency.

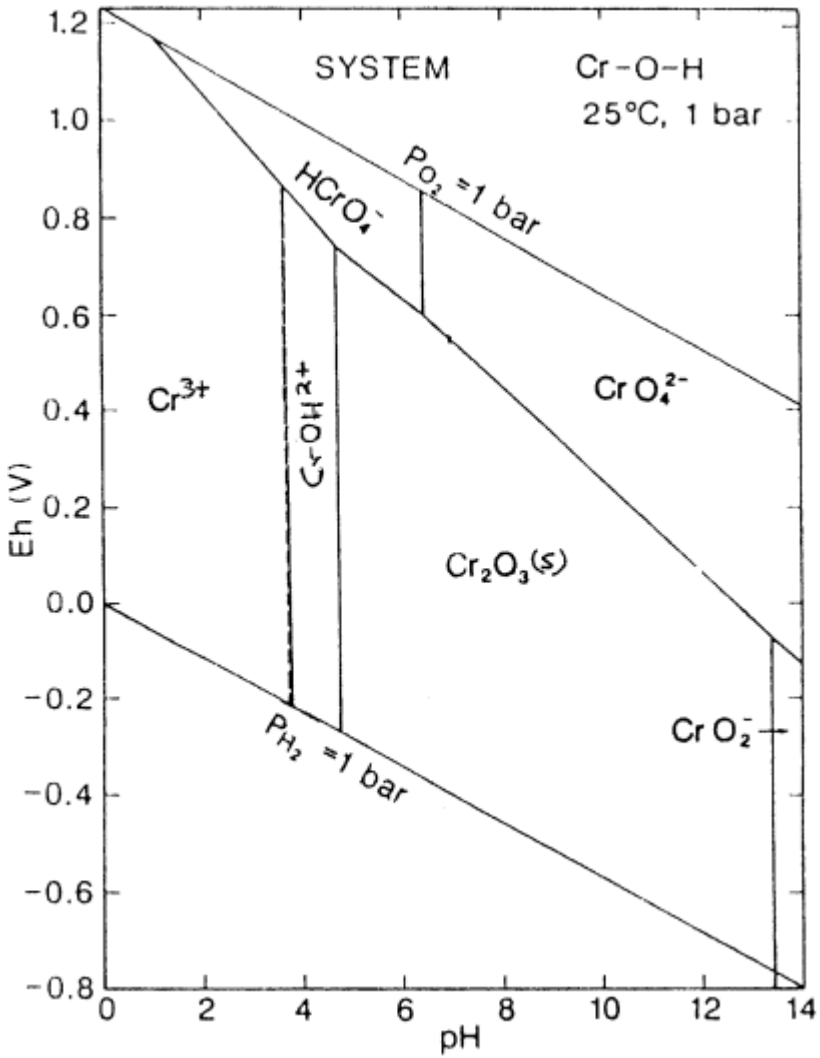
CC BY SA

Chrom

- Zdroje pro ŽP:
  - metalurgický průmysl,
  - kožedělný průmysl,
  - výroba barev,
  - impregnace dřeva.
- Přirozené pozadí v zeminách 10-100 $mg.kg^{-1}$, doporučený limit pro zahájení sanace je 1000 $mg.kg^{-1}$ (platí pro celkový chrom).
- Výskyt v zemině jako Cr^{3+} a Cr^{6+}.
- Šestimocný chrom výrazně toxičtější – v závislosti na pH existuje ve formě chromanu nebo dichromanu, jakožto oxidační činidlo není v přítomnosti organických látek stabilní a přechází na stabilní chrom trojmocný ve formě oxidu nebo hydroxidu chromitého, které jsou minimálně rozpustné.

CC BY SA

Chrom – stabilitní diagram



LANGMUIR, D. 2004. *Issue paper on the environmental chemistry of metals*. US Environmental Protection Agency.

CC BY SA

Měď

- Zdroje pro ŽP:
  - elektrotechnický průmysl,
  - výroba slitin,
  - pesticidy,
  - okapy střechy.
- Přirozené pozadí v zeminách 20-30 $mg.kg^{-1}$, doporučený limit pro zahájení sanace je 1500 $mg.kg^{-1}$.
- Výskyt v zemině jako Cu^{2+}.
- Velmi často v komplexech s organickými ligandy a tvoří uhličitanové či hydroxokomplexy.

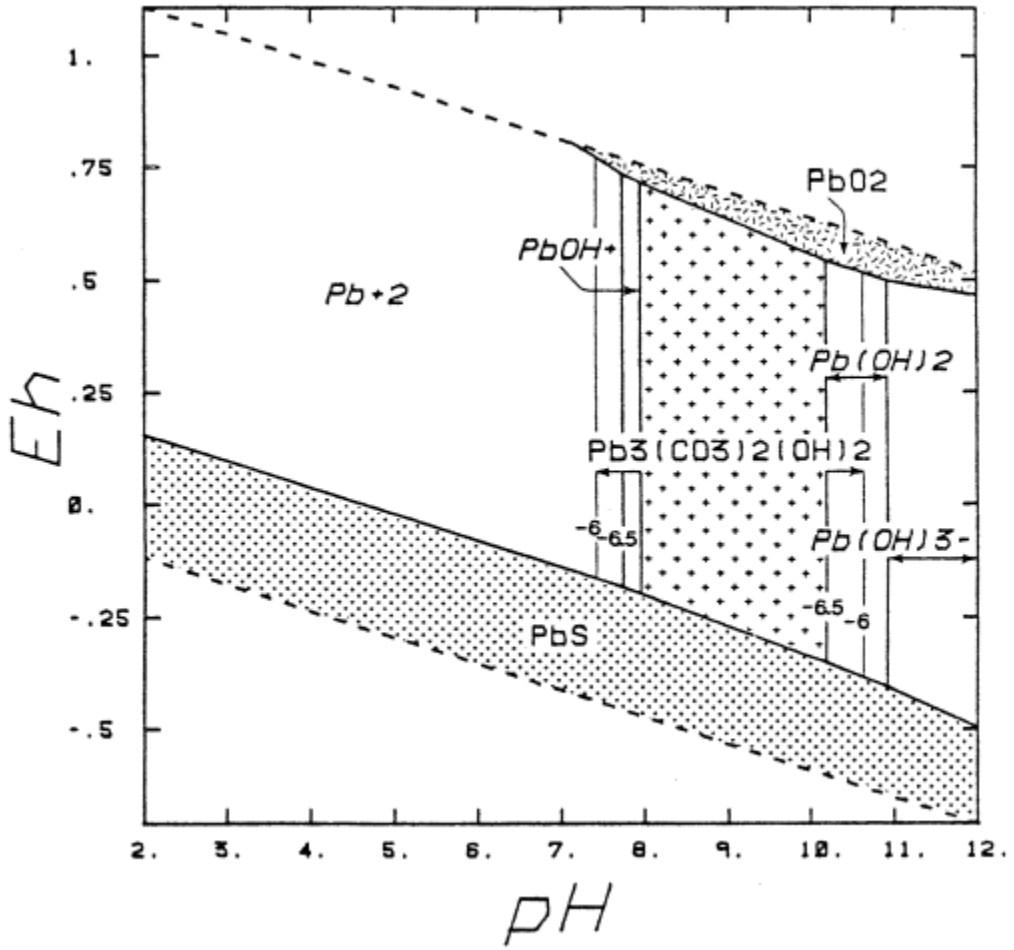
CC BY SA

Olovo

- Zdroje pro ŽP:
  - akumulátory,
  - olovnatý benzín,
  - výroba barev,
  - Pb rudy.
- Přirozené pozadí v zeminách 10-30 $mg.kg^{-1}$, doporučený limit pro zahájení sanace je cca 800 $mg.kg^{-1}$ v závislosti na poměrech na dané lokalitě.
- Výskyt v zemině jako Pb^{0}, Pb^{2+}, Pb^{4+}.
- Poměrně netypická je tvorba sraženiny se síranovým aniontem.

CC BY SA

Olovo – stabilitní diagram



LANGMUIR, D. 2004. *Issue paper on the environmental chemistry of metals*. US Environmental Protection Agency.

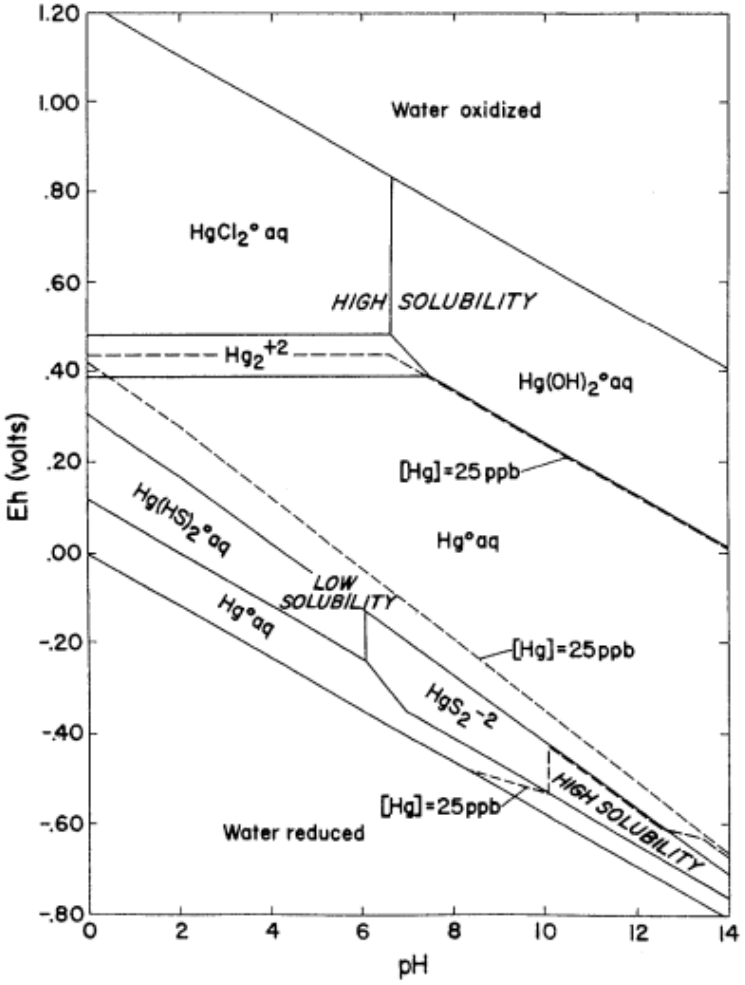
CC BY SA

Rtuť

- Zdroje pro ŽP:
  - zpracování rud,
  - elektrotechnický průmysl,
  - elektrochemické výroby,
  - spalování uhlí,
  - výroba ochranných přípravků pro zemědělství.
- Přirozené pozadí v zeminách jednotky až desítky $mg.kg^{-1}$, doporučený limit pro zahájení sanace je 20 $mg.kg^{-1}$.
- Výskyt v zemině jako Hg^0, Hg^{2+}, Hg_2^{2+}.
- Ochotně tvoří komplexy s organickými složkami zeminy, zřídkakdy ve formě volného iontu.
- Těkavá → šíří se půdním vzduchem.

CC BY SA

Rtuť – stabilitní diagram



LANGMUIR, D. 2004. *Issue paper on the environmental chemistry of metals*. US Environmental Protection Agency.

CC BY SA

Kadmium

- Zdroje pro ŽP:
  - metalurgický průmysl,
  - výroba pigmentů,
  - elektrotechnický průmysl,
- Přirozené pozadí v zeminách do 1 $mg.kg^{-1}$, doporučený limit pro zahájení sanace je 30 $mg.kg^{-1}$.
- Výskyt v zemině jako Cd^{2+}.
- Nerozpuštěné (nebo sorbované) formy kadmia jeví ochotu přecházet do roztoku již na rozhraní neutrální a mírně kyselé oblasti, čímž se kadmium výrazně odlišuje například od chromu nebo mědi. Chování kadmia je velmi podobné chování zinku.

CC BY SA

Radionuklidy

- Typicky netěkavé a méně rozpustné ve vodě než jiné kontaminanty – podobnost s těžkými kovy.
- Těkavost a rozpustnost jednotlivých radionuklidů variuje a musí být vyhodnocována pro každý individuální případ:
  - např. cesium 137 je těkavější než uran 238,
  - radium 226 je obecně rozpustné ve vodě za přírodních podmínek, zatímco pohyblivost thorium 230 je mnohem méně rozpustné.
- Nemohou být zničeny či rozloženy →separovány, zakoncentrovány či imobilizovány.
- Formy výskytu:
  - kationty, oxyanionty, halidy,
  - organické komplexy a sloučeniny.
- Chování:
  - bežné reakce a procesy podle chemické a fyzikální povahy,
  - radioaktivní rozpad.

CC BY SA

Organické kontaminanty

- Významnou měrou ovlivňují vlastnosti a jakost podzemních vod.
- Stovky až tisíce organických látek v horninovém prostředí a podzemní vodě → nemožné monitorovat všechny → aplikace souhrnných stanovení např:
  - chemická spotřeba kyslíku CHSK,
  - biologická spotřeba kyslíku BSK,
  - celkový organický uhlík TOC,
  - veškerý organicky vázaný chlor TOCl,
  - extrahovatelný organicky vázaný chlor EOCl
  - veškeré organicky vázané halogeny TOX,
  - extrahovatelné organicky vázané halogeny EOX,
  - adsorbovatelné organicky vázané halogeny AOX.
- Při překročení souhrnných ukazatelů se přistupuje k podrobnější analýze se zaměřením na významně toxické a škodlivé látky.

CC BY SA

Organické kontaminanty - ropné látky

- Různorodá směs organických látek polárního i nepolárního charakteru s anorganickými příměsemi → nelze sumárně analyzovat, proto definice užšího pojmu – ropné uhlovodíky → analyzovatelné jako NEL či C_{10}-C_{40}.
- Expozice ŽP v důsledku technických závad a neopatrného zacházení → úniky a úkapy:
  - letiště, hangáry,
  - bývalé vojenské prostory,
  - prostory pro údržbu techniky atd.
- Vzhledem k nižší hustotě než voda se kumulují na hladině podzemní vody (LNAPLs).

CC BY SA

Organické kontaminanty - ropné látky – chemické složení

- Nepolární organické látky: alkany, isoalkany, alkeny, cykloalkany, areny (skupina BTEX – benzen, toluen, ethylbenzen, xyleny), polyareny.
- Polární organické látky: fenoly, naftenové kyseliny, thioly, thiofen, dusíkaté organické sloučeniny, vysokomolekulární látky aromatického charakteru (ropné pryskyřice, asfalteny, karbény, karboidy).
- Anorganické látky: organokovové sloučeniny V, Cu a Ni, sulfan a další sloučeniny S
- Surová nafta: cca 25 % alkanů, 50 % cykloalkanů, 17 % areny a polyareny, 8 % asfalty, celkem identifikováno na 600 organických látek.

CC BY SA

Organické kontaminanty - ropné látky – dělení

- Z technického hlediska se ropné uhlovodíky dělí dle délky uhlíkového řetězce:
  - C1-C4 – plynné frakce,
  - C4-C12 – benzíny,
  - C12-C18 – petroleje,
  - C16-C24 – plynové oleje,
  - C24-C40 – mazací oleje,
  - >C40 – asfalty.
- Jednotlivé ropné produkty jsou vyráběny frakční destilací ze surové ropy.

CC BY SA

Organické kontaminanty - ropné látky – výskyt

- Rozpuštěné ve vodě – výrazná variace – benzen cca 1780 $mg.l^{-1}$ a např. ložiskové oleje menší než 1 $mg.l^{-1}$.
- Nerozpuštěné v prostředí:
  - rozptýleny ve formě emulze,
  - LNAPL,
  - migrace nesaturovanou zónou k hladině podzemní vody,
  - adsorbované,
  - pevná fáze vyplňující prostory v hornině (nejtěžší frakce).
- V plynné fázi – nejlehčí frakce.

Látka	Rozpustnost (mg/l)
autobenzíny	20-150
petrolej	10
motorová nafta	6
letecký petrolej	40
topné oleje	1-12
ložiskové oleje	0,3-2,4

ŠRÁČEK, O., DATEL, J. & MLS, J. 2002. *Kontaminační hydrogeologie*, Karolinum.

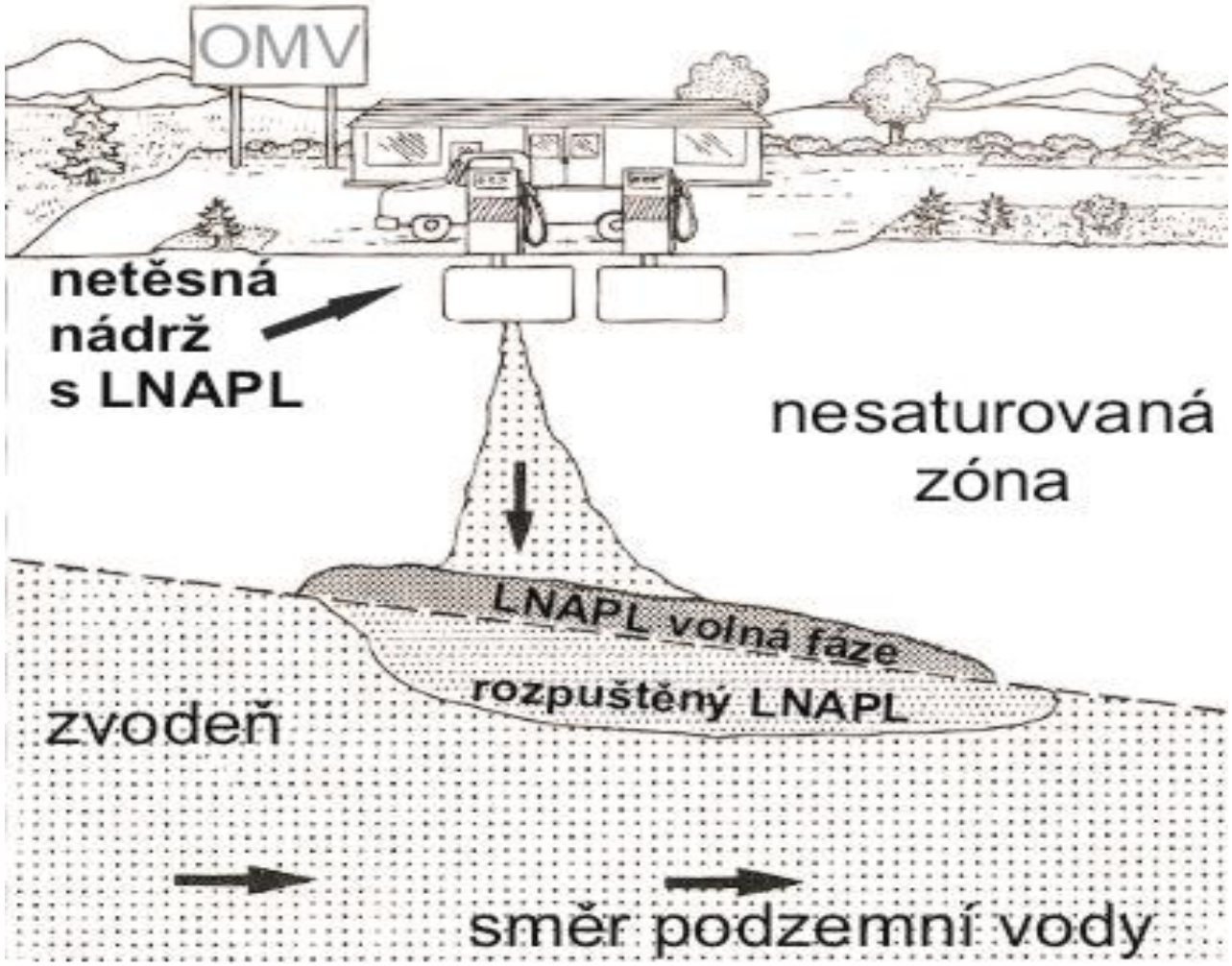
CC BY SA

Organické kontaminanty - ropné látky – škodlivost

- Především v ovlivnění pachu a chuti vody již velmi nízkých koncentracích kolem 0,1 $mg.l^{-1}$.
- Nejtoxičtější areny – benzen a benzo(a)pyren mají prokázané karcinogenní účinky.
- Za vhodných podmínek ochotně podléhají biodegradaci.

CC BY SA

Organické kontaminanty - ropné látky – LNAPLs



KUBAL, M., BURKHARD, J. & BŘEZINA, M. 2002. *Dekontaminační technologie (učební texty a prezentace),* Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

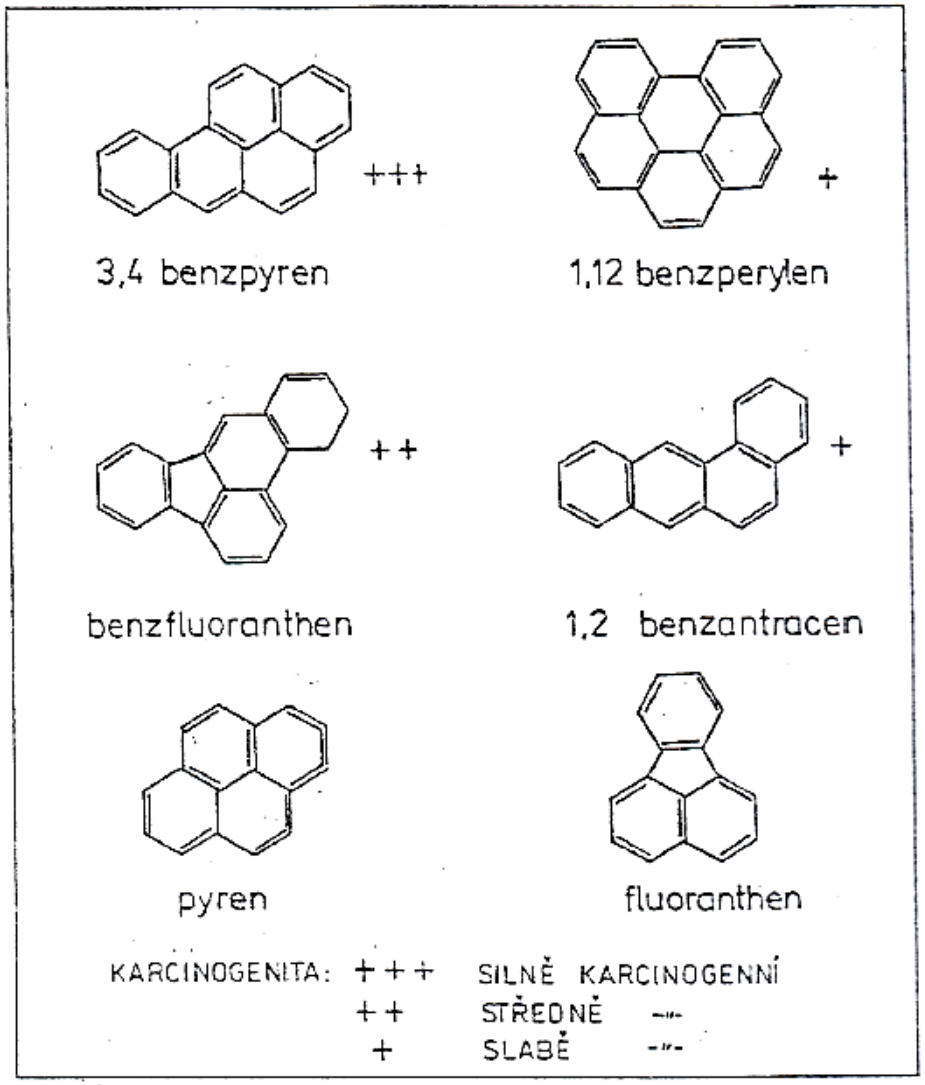
CC BY SA

Organické kontaminanty – polycyklické aromatické uhlovodíky

- Obsaženy v těžkých frakcích ropných látek:
  - výroba asfaltů,
  - výroba živičných směsí,
  - výroba impregnačních látek na dřevo,
  - železniční pražce.
- Vznik při nízkoteplotním spalování odpadů.
- Běžnými zástupci jsou např. benzo(a)pyren, benzo(a)anthracen, fluoranthen atd.
- Velmi stabilní sloučeniny, málo rozpustné, neochotně podléhají biodegradaci.
- Jedná se často o látky velmi toxické a karcinogenní.
- Vyskytují se ve všech skupenstvích.

CC BY SA

Organické kontaminanty – polycyklické aromatické uhlovodíky



ŠRÁČEK, O., DATEL, J. & MLS, J. 2002. *Kontaminační hydrogeologie*, Karolinum.

CC BY SA

Organické kontaminanty – chlorované organické látky

- Výskyt v ČR velmi častý.
- Ve srovnání s ropnými uhlovodíky jsou obecně toxičtější a škodlivější → řada z nich karcinogeny a další akutní toxické a ekotoxické účinky.
- Přibližně platí, že s rostoucím počtem atomů Cl v molekule roste:
  - hustota,
  - bod varu,
  - perzistence dané látky.
- Vzhledem k vyšší hustotě než má voda spadají pod označení DNAPLs (Dense Non-Aqueous Phase Liquids) → migrují saturovanou zónou k bázi kolektoru, kde tvoří dlouhodobá ohniska znečištění.
- Obecně se významně sorbují na organickou hmotu v zeminách.

CC BY SA

Organické kontaminanty – chlorované organické látky - chloralkany

- Zástupci:
  - chloroform $CHCl_3$
  - dichlormethan CH_2Cl_2
  - tetrachlormethan CCl4
  - 1,1-dichlorethan
  - 1,1,1-trichlorethan $C_2H_3Cl_3$
- Použití:
  - odmašťovací a čistící prostředky,
  - chladící média.
- Při dlouhodobé expozici poškození nervového systému, dermatózy, některé jsou karcinogenní.

CC BY SA

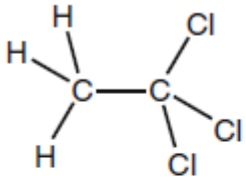
Organické kontaminanty – chlorované organické látky - chloralkeny

- Charakterizované existencí dvojné vazby C=C.
- Zástupci:
  - tetrachlorethen (perchlorethylen, PCE) C_2Cl_4,
  - trichlorethen (TCE) C_2HCl_3,
  - 1,1-dichlorethen a 1,2-dichloretheny (cis, trans),
  - vinylchlorid C_2H_3Cl.

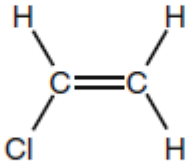
- Použití:
  - nejrozšířenější odmašťovací prostředky rozpouštědla (zvláště PCE a TCE).
- Kontaminaci nalézáme v okolí:
  - výrobních provozů (čištění strojů, praní zaolejovaných hadrů a šatstva),
  - komunálních čistíren šatstva (chemické čištění oděvů),
  - strojírenských opraven (odmašťování součástek),
  - galvanoven (odmašťování výrobků před pokovením).
- Jedná se o volatilní látky (VOCs – Volatile Organic Compounds).

CC BY SA

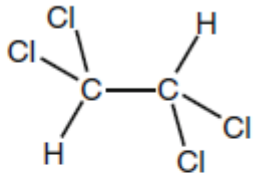
Organické kontaminanty – chlorované organické látky – chloralkany a chloralkeny



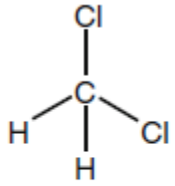
1,1,1 - trichloroethane
(1,1,1-TCA)



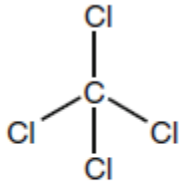
vinyl chloride
(VC)



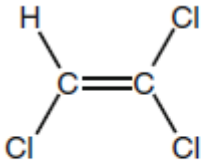
1,1,2,2 - tetrachloroethane
(1,1,2,2-TeCA)



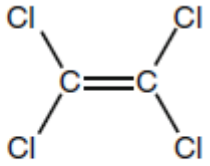
dichloromethane
(DCM)



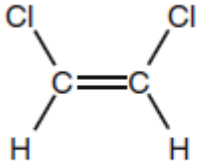
carbon tetrachloride
(CT)



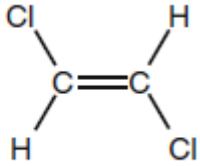
trichloroethene
(TCE)



perchloroethene
(PCE)



cis-DCE



trans-DCE

CC BY SA

Organické kontaminanty – chlorované organické látky – chloralkany a chloralkeny

Chlorinated Compound	Density (g/cm^3)	Henry's Law Constant, K_H (atm/M)	Water Solubility (mg/L)	Octanol/Water Partition Coefficient (log K_{ow})
Methanes				
Carbon Tetrachloride	1.59	29	790	2.83
Trichloromethane	1.48	4.1	7,500	1.97
Dichloromethane	1.33	2.5	19,400	1.25
Chloromethane	0.92	8.2	5,900	0.91
Ethanes				
1,1,1-Trichloroethane	1.34	22	1,000	2.49
1,1-Dichloroethane	1.18	5.8	5,000	1.79
1,2-Dichloroethane	1.24	1.2	8,700	1.48
Chloroethane	0.90	6.9	9,000	1.43
Ethenes				
Tetrachloroethene	1.62	27	150	3.4
Trichloroethene	1.46	12	1,100	2.42
cis-1,2-Dichloroethene	1.28	7.4	3,500	1.85
trans-1,2-Dichloroethene	1.26	6.7	6,300	2.09
1,1-Dichloroethene	1.22	23	3,400	2.13
Vinyl Chloride	0.91	22	2,700	1.62

STROO, H. F. & WARD, C. H. 2010. *In Situ Remediation of Chlorinated Solvent Plumes*, Springer New York.

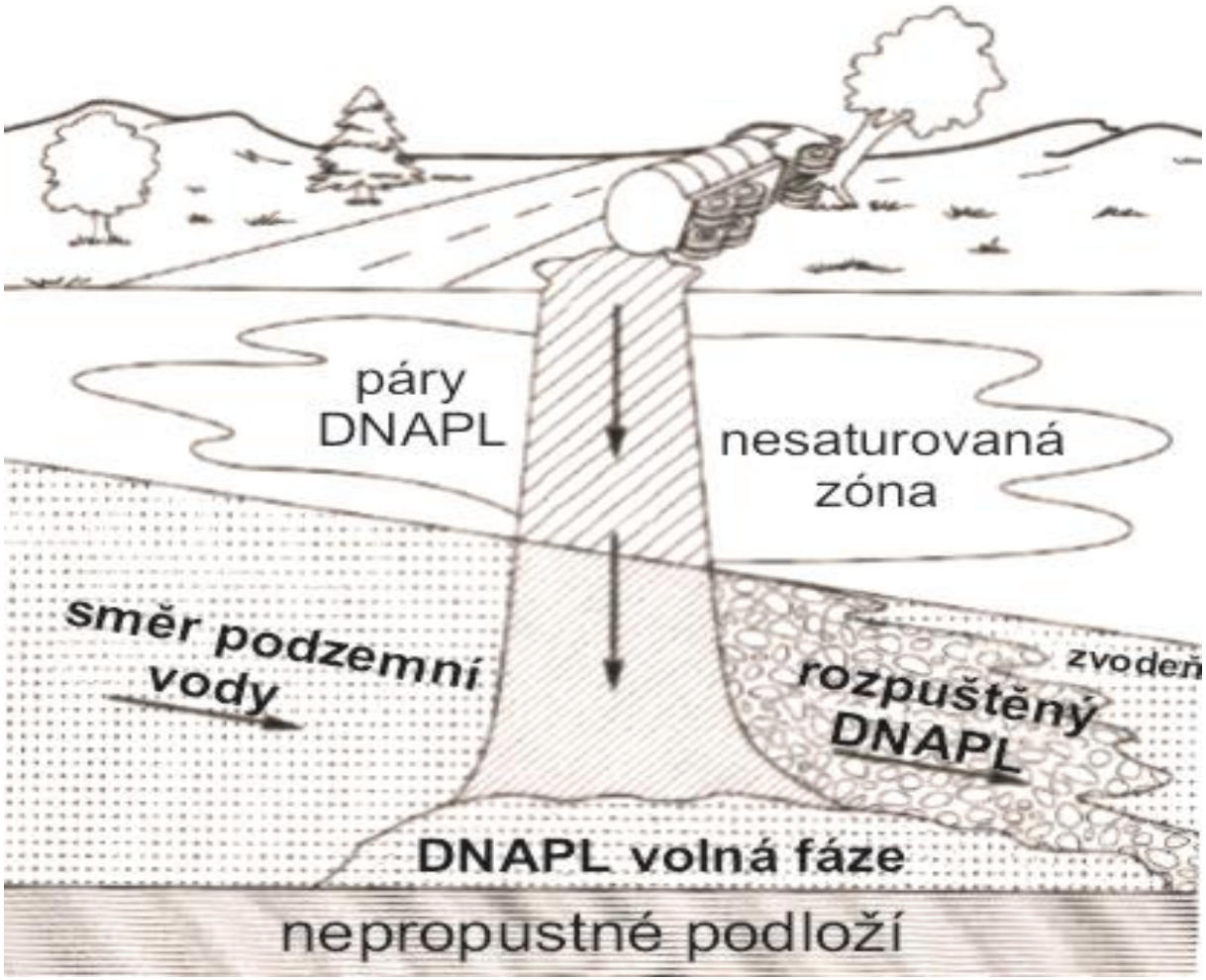
CC BY SA

Organické kontaminanty – chlorované organické látky - chlorareny

- Chlorderiváty aromatických uhlovodíků.
- Zástupci:
  - chlorbenzen C_6H_5Cl,
  - hexachlorbenzen C_6Cl_6.
- Použití:
  - meziprodukty v chemických výrobách (barviva, pesticidy, další chemikálie)
- Oproti chlorlakanům a chloralkenům ↑ bod varu → nejsou těkavé či u multichlorovaných látek se jedná o pevné látky za standardních termodynamických podmínek.
- Jsou karcinogenní, kumulují se v tukových tkáních → riziko chronické toxicity.

CC BY SA

Organické kontaminanty – chlorované organické látky - DNAPLs



KUBAL, M., BURKHARD, J. & BŘEZINA, M. 2002. *Dekontaminační technologie (učební texty a prezentace),* Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

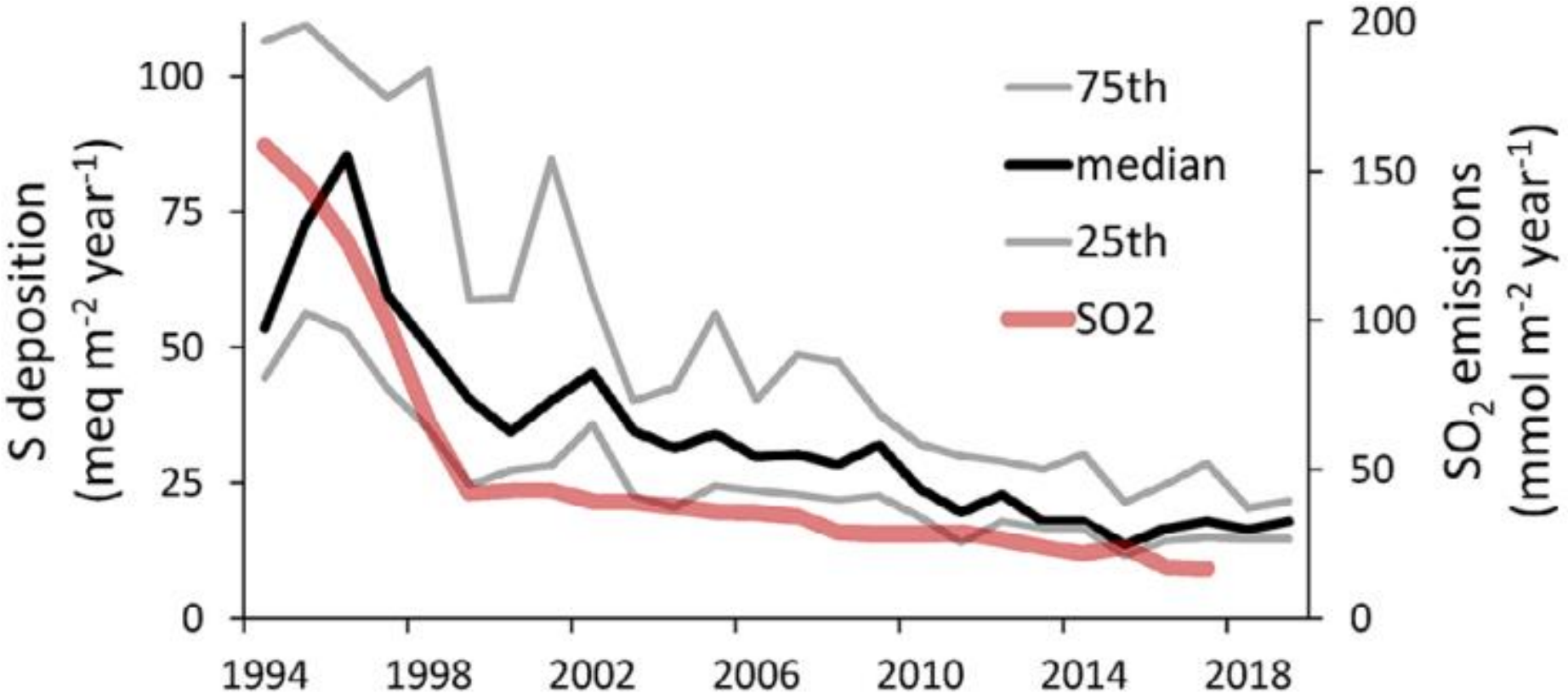
CC BY SA

Acidifikace půdy

- V ČR značný problém především v horských oblastech (historicky se zlepšuje, viz následující slide)
- Příčiny:
  - mateční horniny,
  - vymývání bazických složek srážkovou vodou,
  - tvorba CO_2,
  - tvorba kyselin v půdě,
  - **atmosférická depozice S a N,**
  - nevhodné druhové složení lesů,
  - způsob hospodaření v lesích.

CC BY SA

Acidifikace půdy – emise SO_2 x depozice půdy sírou

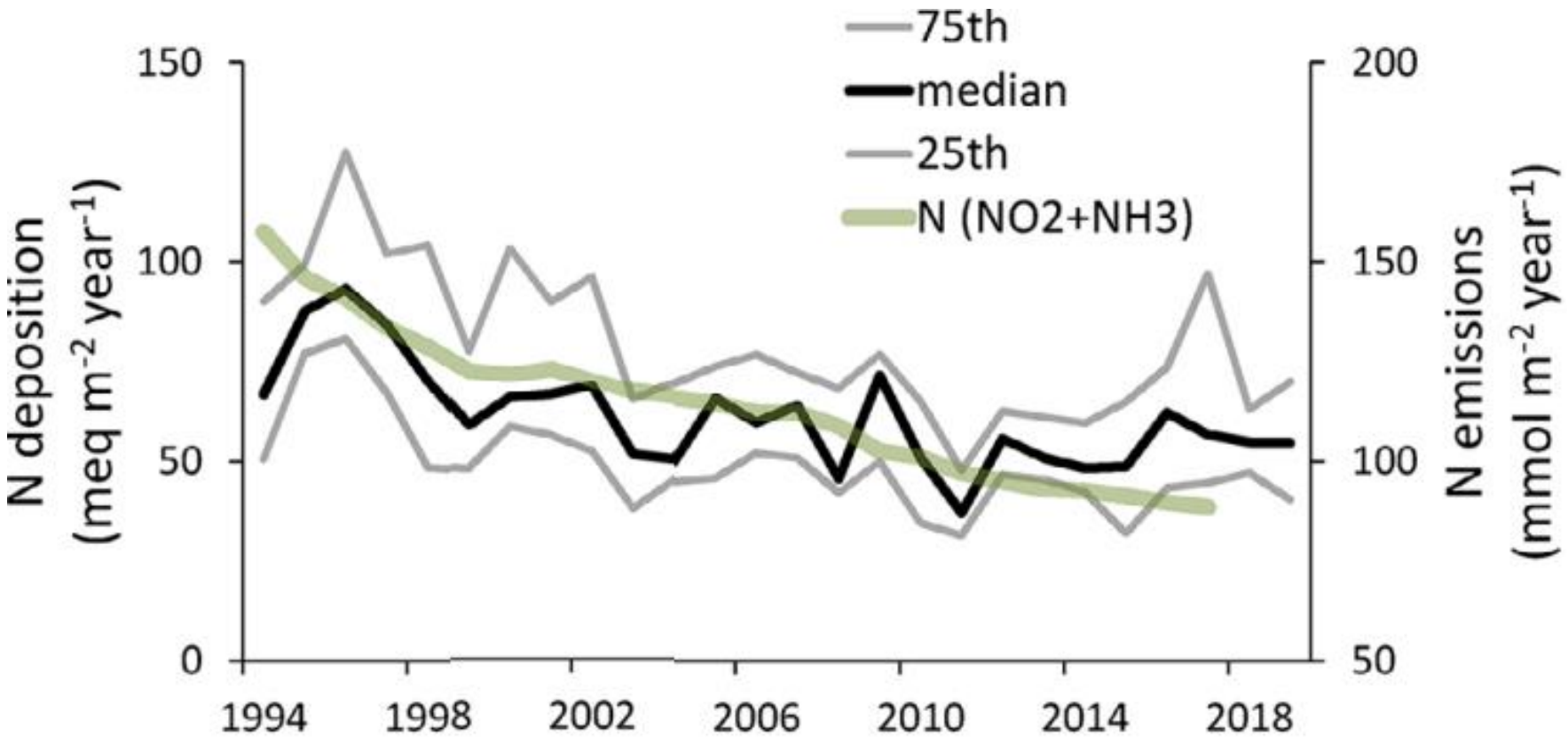


Oulehle, F. 2021. The GEOMON network of Czech catchments provides long-term insights into altered forest biogeochemistry: From acid atmospheric deposition to climate change. Hydrological Processes.

- Aplikací odsiřovacích koncových technologií v ČR v 90. letech dochází k poklesu emisí SO_2 (červená křivka) → následkem toho dochází k nižší depozici půdy (černá křivka)
- Pozn. meq je tzv. ekvivalentní koncentrace – vypočítá se jako molární koncentrace iontu násobená absolutní hodnotou náboje iontu

CC BY SA

Emise NO_2 a NH_3, depozice půdy dusíkem

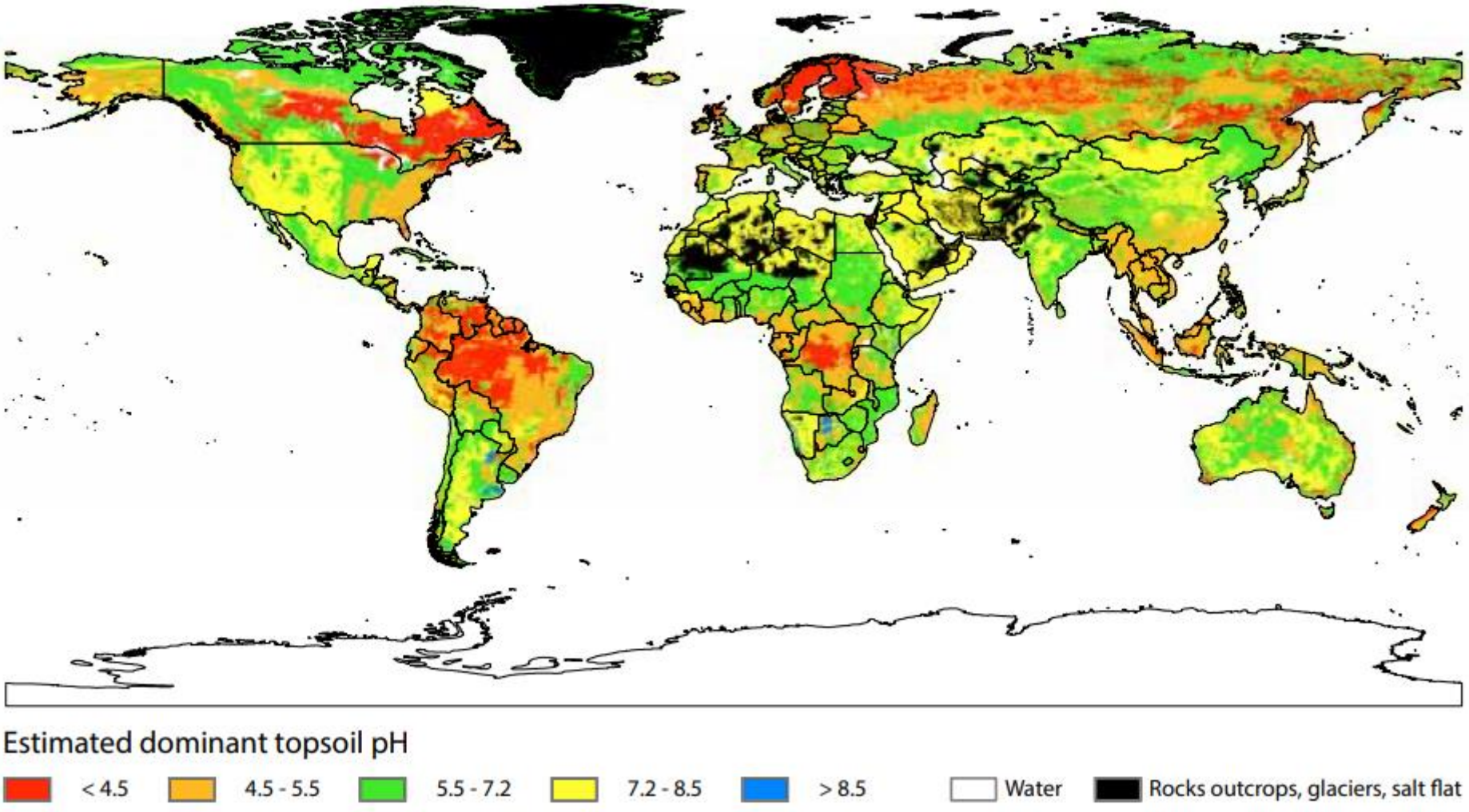


Oulehle, F. 2021. The GEOMON network of Czech catchments provides long-term insights into altered forest biogeochemistry: From acid atmospheric deposition to climate change. Hydrological Processes.

- Emise dusíku (NO_2 a NH_3) soustavně od 90. let klesají (zelená křivka) → následkem toho dochází k nižší depozici půdy (černá křivka)
- Pozn. meq je tzv. ekvivalentní koncentrace – vypočítá se jako molární koncentrace iontu násobená absolutní hodnotou náboje iontu

CC BY SA

Celosvětový stav pH ve svrchní vrstvě půdy



MONTANARELLA, L, 2015. Status of the world's soil resources: main report. *Embrapa Solos-Livro científico (ALICE)*,

CC BY SA

Acidifikace půdy – reakce na okyselování – citlivost

- Pufrování:
  - rozpouštění minerálů,
  - reakce na OH.

- Pokles pH

- Citlivost půdy – stupeň reakce systému na kyselou depozici a náchylnost ekosystému ke změnám ve struktuře a funkci.

- Citlivost půdy odvislá od:
  - minerální složení (fosforečnany, uhličitany atd.),
  - obsah bazických kationtů,
  - množství a kvality organické hmoty.

CC BY SA

Acidifikace půdy – důsledky

- Zvýšené zvětrávání půdních minerálů
- Ztráta živin (Ca, Mg, K)
- Uvolňování potenciálně toxických forem Al
- Omezený rozvoj kořenů
- Změna půdní struktury
- Změna mikrobiálních společenstev a biologické aktivity

CC BY SA

Acidifikace půdy – řešení

- Prevence:
  - redukce emisí S a N,
  - změny ve složení porostů,
  - omezit využívání okyselovačů půd.

- Náprava – chemická meliorace:
  - vápnění
    - rychlá účinnost – jen ve svrchní vrstvě,
    - vyšší mineralizace, zploštění kořenového systému.
  - aplikace sádrovce
    - snížení acidity hlubších vrstev, vstup Ca.
  - bazické minerální moučky
    - mírnější účinek, dodávka živin,
    - k dosažení srovnatelného účinku je třeba velký objem.

CC BY SA

Eroze půdy

- Obecně proces odnosu částic půdy (z latinského erodere = rozhlodávat)
  - vodou → vodní eroze
  - větrem → větrná eroze
- Celosvětově nejzávažnější proces degradace půdy → obrovské ekonomické a environmentální škody (v ČR cca 150 milionů eur ročně)
- Přirozená eroze – působení vodních toků a silných větrů → významný krajinotvorný proces
  - Bez erozní činnosti by nevznikla současná zemědělská půda. Eroze v krajině je transformačním procesem, při kterém dochází k narušování povrchu půdy, odnosu erodované zeminy a jejímu ukládání na jiném místě.
- Antropogenní eroze – intenzifikace eroze nevhodným hospodařením s půdou (zemědělství)

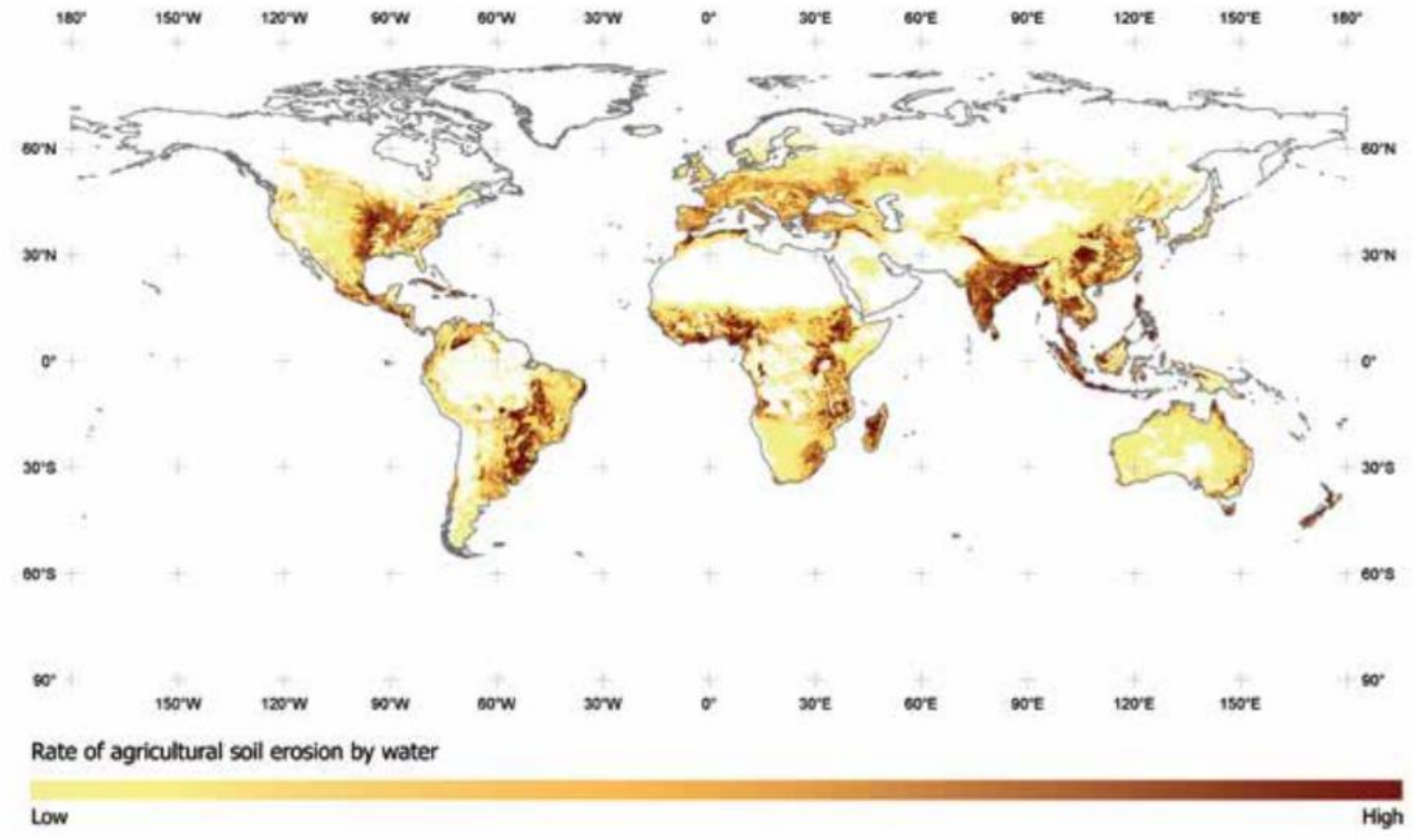
CC BY SA

Vodní eroze

- Závažná → ohrožuje globálně 56 % půd, v ČR pak >50 % půd
- Působení vody na částečky půdy v důsledku dopadu dešťových srážek na povrch půdy s následným plošným či soustředěným odtokem
- Rozpad půdních částic, jejich rozplavování, přesun a jejich sekundární ukládání → časem destrukce humusového horizontu → obnažení méně úrodných vrstev
- Hlavní přírodní faktory:
  - klima a hydrologie,
  - morfologie území,
  - geologické a půdní podmínky.
- Hlavní antropogenní faktory:
  - způsob využívání a obhospodařování půdy.
  - zemědělská vegetace.

CC BY SA

Vodní eroze ve světě



MONTANARELLA, L, 2015. Status of the world's soil resources: main report. *Embrapa Solos-Livro científico (ALICE)*,

CC BY SA

Vodní eroze – plošná x výmolná

- **Plošná eroze** se projevuje rozrušováním a rovnoměrným smyvem půdních částic po celé ploše, tím dochází k plošnému odtoku a postupnému snižování mocnosti půdy. Tato forma eroze má silné selektivní působení, kdy vyplavuje především jemnozrnné frakce půdy



- Přechod k **výmolné erozi** spočívá v postupném soustřeďování plošného odtoku a následném vytváření mělkých, postupně se prohlubujících zářezů. Vzniká v členitém terénu a na dlouhých svazích, podle intenzity se dále dělí na erozi rýžkovou a brázdovou, rýhovou, výmolnou a stržovou.



CC BY SA

Specifikace projevů vodní eroze

Forma eroze	Subforma eroze	Specifikace formy	Vhodná skupina nápravných opatření
plošná	-	rovnoměrný smyv půdních částic po celé ploše,vyplavovány jsou především jemnozrnné frakce půdy nebo ztráta celé orniční vrstvy na celém povrchu nebo v pruzích	organizační a agrotechnická opatření
výmolná	rýžková	hustá síť drobných úzkých rýžek širokých a hlubokých 2–10 cm	organizační, agrotechnická i technická opatření
	brázdová	mělké širší zářezy s menší hustotou výskytu	organizační, agrotechnická i technická opatření
	rýhová	rýhy široké a hluboké 10–30 cm	technická opatření v kombinaci s organizačními a agrotechnickými
	výmolná	výmoly (často s kaskádovitými stupni) hluboké a široké 30–100 cm v místech koncentrace a soutoku přívalových vod v úžlabinách, údolnicích, cestách, příkopech	asanace výmolu; stabilizace dráhy soustředěného odtoku, v kombinaci s organizačními a agrotechnickými opatřeními
	stržová	strže hluboké a široké více než 1 m, s délkou často větší než 1 km	asanace strže; stabilizace dráhy soustředěného odtoku, v kombinaci s organizačními a agrotechnickými opatřeními

CC BY SA

Ochrana proti vodní erozi

- Opatření organizačního charakteru:
  - optimální tvar a velikost pozemku, dílu půdního bloku (DPB) či erozní parcely,
  - vhodné umístění pěstovaných plodin, včetně ochranného zatravnění,
  - pásové střídání plodin.
- Agrotechnická opatření:
  - ochranné obdělávání (bezorebné setí, setí/sázení do mulče, setí/sázení do mělké podmítky, setí do ochranné plodiny, setí s podplodinou),
  - setí/sázení po vrstevnici,
  - hrázkování, důlkování,
  - plečkování, dlátování, podrývání,
  - setí kukuřice do úzkého řádku,
  - pásové zpracování půdy.
- Technická opatření:
  - příkopy, průlehy, zatravněné údolnice se stabilizovanou dráhou soustředěného odtoku,
  - polní cesty s protierozní funkcí,
  - ochranné hrázky, ochranné nádrže,
  - terénní urovnávky, terasy, protierozní meze,
  - asanace erozních výmolů a strží.

CC BY SA

Větrná eroze

- Ohrožuje ČR pak 10 – 14 % půd
- Ovlivněna zejména meteorologickými a půdními poměry (zesilovány či zeslabovány dalšími faktory a přímými zásahy člověka):
  - rychlost a směr větru + doba působení a četnost výskytu
  - drsnost půdního povrchu,
  - půdní krusta,
  - vegetační kryt půdy,
  - způsob a termín obdělávání půdy a délka nechráněného pozemku

CC BY SA

Další procesy degradace půdy I

- **Zhutnění půd:**
  - snižování pórovitosti půd → horší dostupnost vody pro vegetaci, komplikuje pronikání kořenů rostlin, omezení přístupu vzduchu ke kořenům, redukce činnosti půdního edafonu včetně mikrobiální aktivity a zvyšují se rizika trvalého zamokření,
  - důsledek přirozených + antropogenních procesů.
- **Zábor půdy:**
  - denně v Evropě 280 ha, cca 9 % povrchu je překryto nepropustným povrchem (tzv. „soil sealing“),
  - v ČR 15 - 25 ha denně,
  - souvislost globálním procesem urbanizace,
  - patří k nejvážnějším formám degradace půdy.

CC BY SA

Další procesy degradace půdy II

- **Dezertifikace:**
  - proces rozšiřování pouštních oblastí,
  - úzká vazba na globální oteplování.
- **Salinizace** (zasolování půd):
  - proces hromadění přebytků solí v půdě,
  - v ČR ojedinělý proces → problém v aridních a semiaridních oblastech (23 % zemědělských půd je ohroženo),
  - antropogenní faktory → zasolené OV k závlahám, kaly z ČOV k hnojení atd.
- Další jako **snížení biodiverzity půdy, úbytek půdní organické hmoty, rozpad půdní struktury**

CC BY SA

Literatura

- SUTHERSAN, S. S., HORST, J., SCHNOBRICH, M., WELTY, N. & MCDONOUGH, J. 2016. *Remediation Engineering: Design Concepts, Second Edition*, CRC Press.
- KUBAL, M., BURKHARD, J. & BŘEZINA, M. 2002. *Dekontaminační technologie (učební texty a prezentace),* Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- ŠRÁČEK, O., DATEL, J. & MLS, J. 2002. *Kontaminační hydrogeologie*, Karolinum.
- BORŮVKA, L. 2005. *Pedogeochemie*, Praha, ČZU v Praze: Katedra pedologie a geologie.
- LANGMUIR, D. 2004. *Issue paper on the environmental chemistry of metals*. US Environmental Protection Agency.
- STROO, H. F. & WARD, C. H. 2010. *In Situ Remediation of Chlorinated Solvent Plumes*, Springer New York.
- REJŠEK, K., VÁCHA, R. 2018., Nauka o půdě Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i. Agriprint, s.r.o.
- MONTANARELLA, L. 2015. Status of the world's soil resources: main report. Embrapa Solos-Livro científico (ALICE)
- *https://encyklopedie.vumop.cz*

CC BY SA

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ
VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE

Geografie - zeměpisné a astronomické souřadnice, výpočty na kouli, GPS

Autor: Marek Martinec

Rok: 2022

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dílo podléhá licenci Creative Commons 4.0 Česko
Uveďte původ - Zachovejte licenci

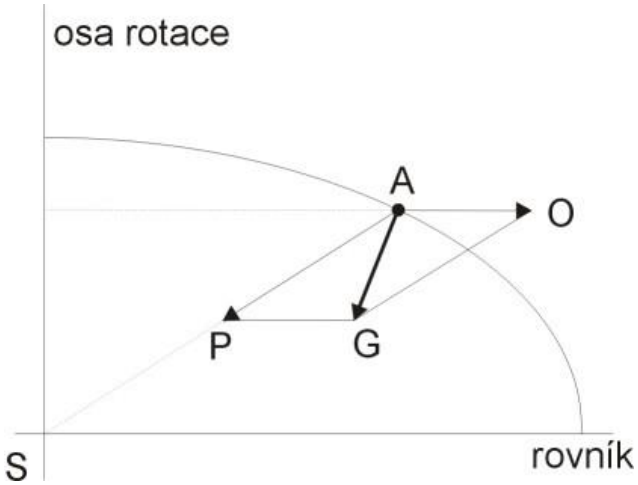
Země jako planetární těleso

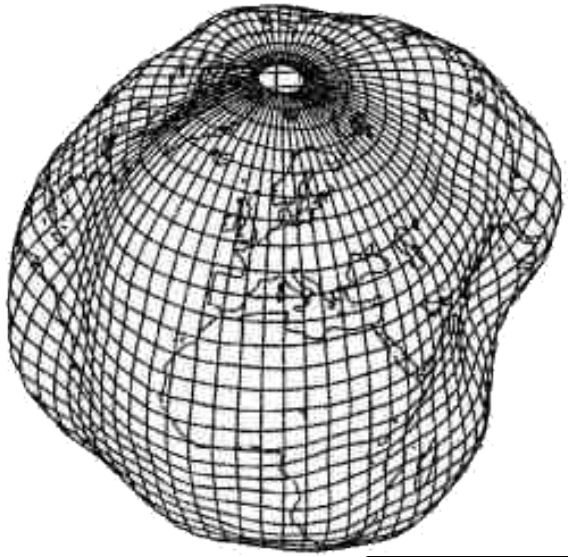
- Rovníkový průměr: 12 756,270 km
- Polární průměr: 12 713,500 km
- Zploštění: 0,003 352 861
- Povrch: 510 065 284,702 km^2
- Objem: $1{,}0832 \times 10^{12}$ km^3
- Hmotnost: $5{,}9736 \times 10^{24}$ kg
- Průměrná hustota: 5515 $kg.m^{-3}$

CC BY SA

Země jako planetární těleso

- Země je fyzikální těleso, jehož tvar je výslednicí dvou sil: síly přitažlivé a síly odstředivé. Výslednicí obou sil je **tíhová síla G**.
- **Tíhové pole Země** je prostor, ve kterém se projevuje působení zemské tíže a tělesa jsou přitahována přibližně do středu Země. V geodetickém smyslu je Zemí nulová hladinová plocha, zvaná podle J. B. Listinga (1873) **geoid**.
- Geoid by se realizoval jako klidná střední hladina moří, která jsou spojená i pod kontinenty. Tato hladinová plocha je všude kolmá na směr zemské tíže. Při měření je tato plocha realizována urovnanou libelou.





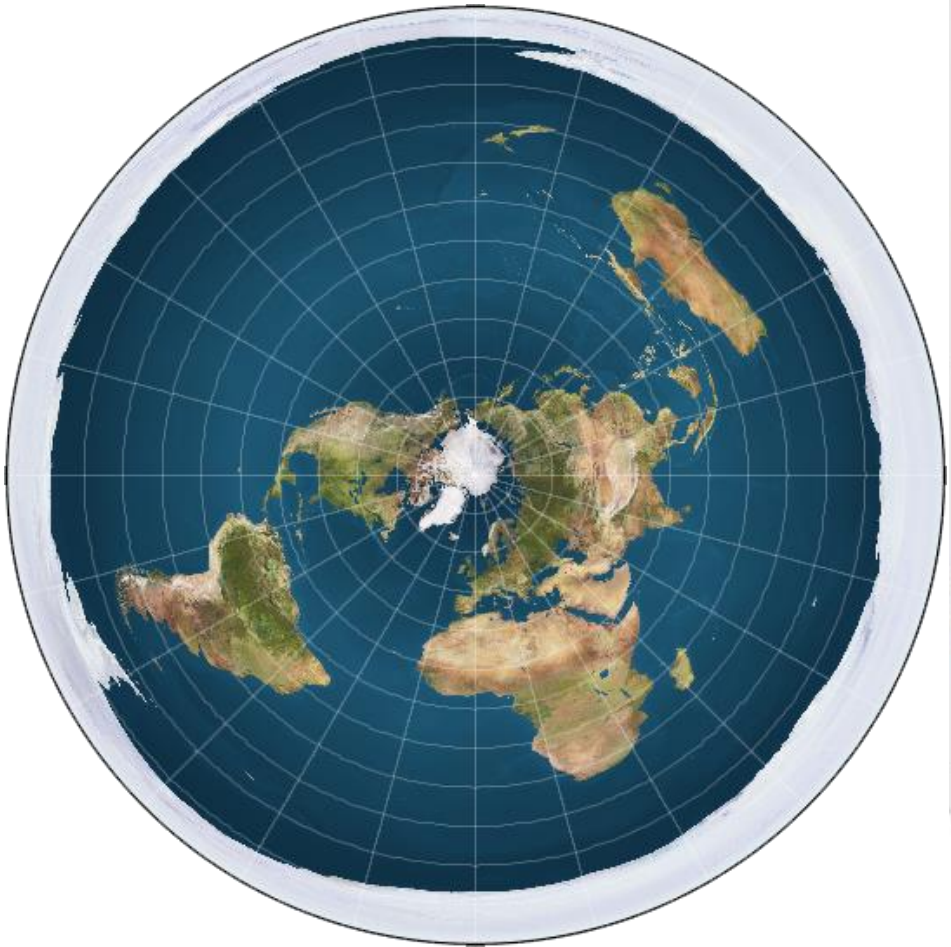
Zdroj: https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html/ch02.html

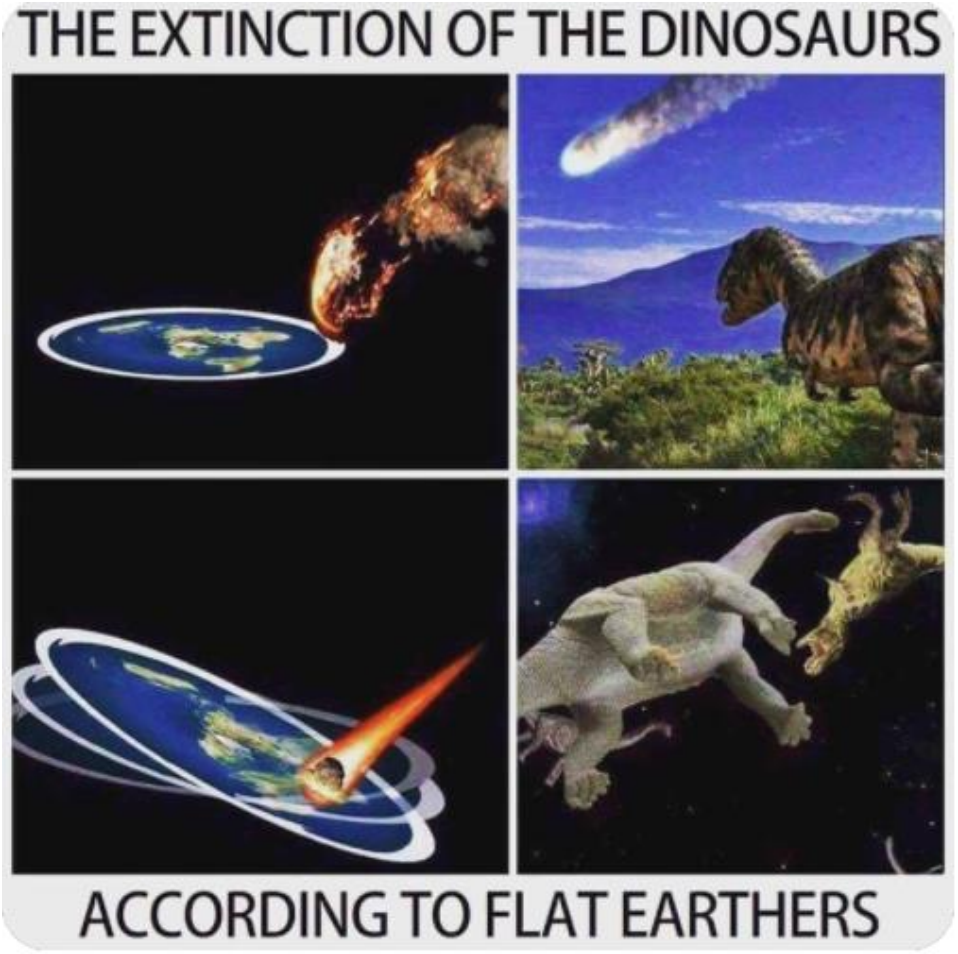
cc BY SA

Tvar Země

- https://theflatearthsociety.org/home/

Zdroj: Pinterest.com





CC BY SA

Důkazy kulatosti Země

Historické pojetí tvaru Země:

- čtyřúhelník obklopený horami
- kruhový disk lemovaný řekou, oceánem, …
- první důkaz o kulatosti Země – Aristoteles 4 stol. př.n.l.

Klasické důkazy:

- na moři mizí loď pod obzor
- při cestování na sever a na jih se mění výška polárky a všech hvězd
- stín Země na Měsíci je při částečném zatmění kruhový
- působí Coriolisova síla

CC BY SA

Coriolisova síla

- Coriolisova síla je setrvačná síla působící na tělesa, která se pohybují v rotující neinerciální vztažné soustavě tak, že se mění jejich vzdálenost od osy otáčení. Coriolisova síla má směr kolmý ke spojnici tělesa – ose otáčení a způsobuje stáčení trajektorie tělesa proti směru otáčení soustavy (v případě pohybu tělesa od středu otáčení). Pokud se těleso pohybuje směrem ke středu otáčení, působí síla ve směru otáčení.
- Země rotuje směrem k východu, z pohledu Polárky jde o pohyb proti směru hodinových ručiček.
- Coriolisův efekt způsobuje viditelné odchylování přímočaře se pohybujících objektů od přímého směru, pokud je pozorujeme z neinerciální vztažné soustavy takto:

- pohybuje-li se těleso na severní polokouli v severojižním směru, je strháváno vlivem Coriolisovy síly vpravo od svého původního pohybu;

- pohybuje-li se těleso na jižní polokouli v severojižním směru, je strháváno vlivem Coriolisovy síly vlevo od svého původního pohybu;

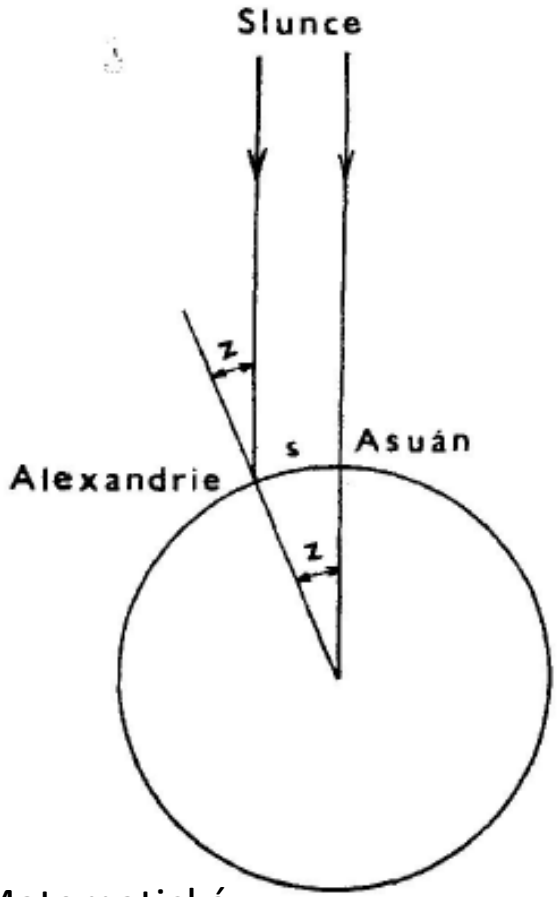
- pohybuje-li se těleso na severní polokouli směrem na východ, má Coriolisova síla směr odstředivé síly;

- Příklady: při střelbě na velké vzdálenosti musí střelec počítat s odchýlením kulky z původního směru. Pozorovat můžeme také větší opotřebení pravých (na severní polokouli) nebo levých (na jižní polokouli) kolejnic jednosměrných tratí, protože vlak jedoucí po trati je na tuto stranu přitahován. Dalším důsledkem je podemílání pravých (na severní polokouli) nebo levých (na jižní polokouli) břehů řek, kdy je proudící voda k příslušnému břehu přitahována.

CC BY SA

Měření rozměrů Země

- První měření uskutečnil Eratosthenes ve 3 stol. př.n.l. v Egyptě mezi Alexandrií a Asuánem.
- V Asuánu v den letního slunovratu v poledne dopadaly paprsky kolmo na povrch. V téže chvíli změřil v Alexandrii úhel **z** mezi svislicí a směrem k slunci (zenitovou vzdálenost – 7,2°). Dále zjistil vzdálenost **s** Alexandrie a Asuánu (5000 stádií – 1 stádium 158,6m).
- $\frac{o}{s} = \frac{360°}{z} \rightarrow o = 39\,650 km$
- (obvod Země 40 075 km)



Zdroj: Čapek, R. Matematická geografie. Praha, 2. vydání, 2001.

CC BY SA

Měření rozměrů Země

- Moderní stupňová měření v 17. století.
- Používáno triangulace pro výpočet vzdálenosti.
- Došlo se ke zjištění, že poledníkové oblouky nejsou všude stejně dlouhé.
- Závěr – Země není přesná koule, nýbrž elipsoid.

CC BY SA

Výpočet rozměrů Země

- koule
- zjednodušená představa pro rychlé výpočty
- R=6371,1 km
- rotační elipsoid
- zjednodušení pro kartografické výpočty
- určení hlavní - rovníkové (a) a vedlejší - kratší poloosy (b) a velikostí zploštění na pólech (i)
- $i = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{300}$
- WGS 84: a=6378,137 km; b=6356,752 km; i=1:298,26
- geoid
- těleso, jehož povrch je tvořen klidnou hladinou

CC BY SA

Zeměpisné souřadnice

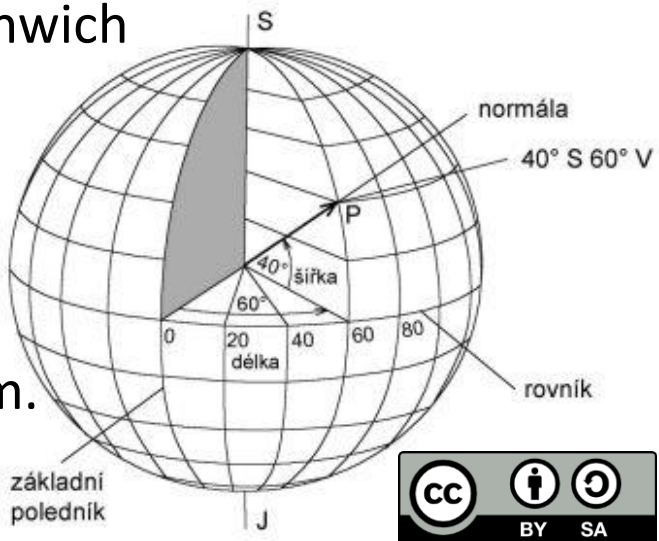
Zdroj: Čapek, R. Matematická geografie. Praha, 2. vydání, 2001.

- zeměpisná šířka – úhel mezi rovinou rovníku a normálou v určovaném bodě
- rovnoběžky – spojnice všech bodů zeměpisné šířky
- číslované od rovníku k pólům od 0° do 90°, s.š., j.š.
- zeměpisná délka – úhel mezi dvěma polorovinami vycházejícími ze zemské osy
- poledníky – spojnice všech bodů stejné zeměpisné délky
- základní poledník 0° prochází hvězdárnou v Greenwich
- číslované od 0° do 180°, z.d., v.d.

Poloha Prahy 50°5′ s. š., 14°25′ v. d.

Geografický střed (těžiště) ČR:

- 49° 44´ 37,5" s. š., 15° 20´ 19,1" v. d., 527,9 m n.m.
- [Pozice na mapě • Mapy.cz]



CC BY SA

Výpočty na kouli

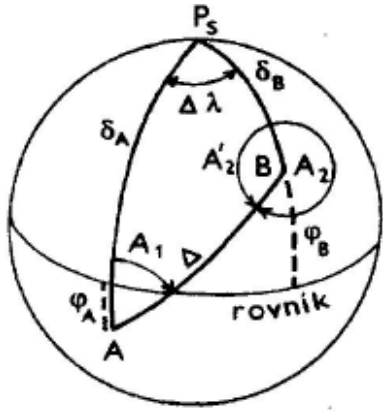
Zdroj: Čapek, R. Matematická geografie. Praha, 2. vydání, 2001.

- v geodézii výpočty na referenčním elipsoidu
- v geografii výpočty na referenční kouli R=6371,1km

Délka rovníku:

$x = 2\pi R = 2\pi \cdot 6371{,}1 = 40\ 030{,}8\ km.$

Na elipsoidu 40 075,7 km.



Délka rovnoběžky:

$x = R \cdot arc\lambda \cdot cos\varphi = 2\pi R \cdot cos\varphi.$

Pro φ =50° $x = 2\pi \cdot 6371{,}1 \cdot \cos 50° = 25\ 731{,}3km$

Délka rovnoběžkového stupně:

$\Delta x = R \cdot arc1° \cdot cos\varphi = 2\pi R \cdot cos\varphi.$

Pro φ =50° $x = 6371{,}1 \cdot arc1° \cdot \cos 50° = 71{,}5km$

CC BY SA

Výpočty na kouli

Zdroj: Čapek, R. Matematická geografie. Praha, 2. vydání, 2001.

Délka poledníkového oblouku mezi rovníkem a rovnoběžkouφ

$$y = R \cdot arc\varphi$$

Pro φ =50° $y = 6371{,}1 \cdot arc50° = 5\,595{,}8km$

Celý poledník měří 20 015 km, na elipsoidu 20 004,3 km

Délka poledníkového stupně:

$$\Delta y = R \cdot arc1° = 6371{,}1 \cdot arc1° = 111{,}2km$$

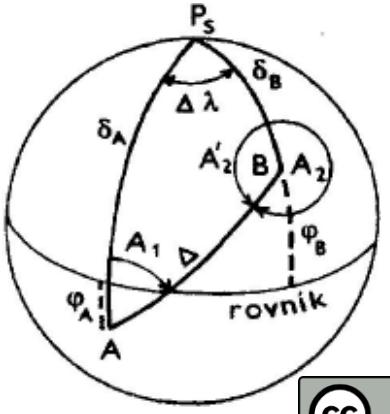
Na elipsoidu roste od 110,6 km na rovníku k 111,7 km na pólu

Plocha Země:

$$\mathrm{P} = 4\pi R^2 = 510\ mil.km^2$$

Objem Země:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = 1083\ mld.km$$



CC BY SA

Sférická trigonometrie

- výpočet vzdálenosti dvou bodů na kouli
- řeší vztahy uvnitř sférického trojúhelníku
- použití Kosinovy věty o straně cos c=cos a.cos b+sin a.sin b.cos γ

$$\cos\alpha = \frac{\cos a - (\cos b \cdot \cos c)}{\sin b \cdot \sin c}$$ nebo $$\cos\beta = \frac{\cos b - (\cos a \cdot \cos c)}{\sin a \cdot \sin c}$$

CC BY SA

Ortodroma

- nejkratší spojnice dvou bodů na kulové ploše
- oblouk hlavní kružnice omezený středovým úhlem Δ
- skutečná délka ortodromy AB se určí převedením Δ do obloukové míry
- př. Určení vzdálenosti AB Panama – Reykjavík.

$(\varphi_A = 8°45's.š., \lambda_A = 79°32'z.d., \varphi_B = 64°8's.š., \lambda_A = 21°54'z.d.)$

Kosinova věta o straně:

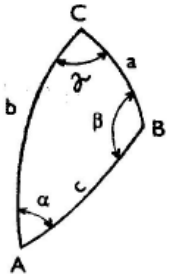
$$\cos\Delta = \cos 81°15'.\cos 25°52' + \sin 81°15'.\sin 25°52'.\cos 57°38'$$

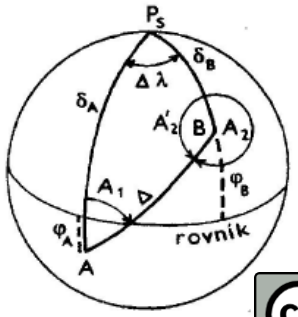
$$\Delta = 68°25'$$

Převedení středového úhlu na oblouk:

$AB = R.arc\Delta = 7608km$

$AB = (R.2\pi.68{,}42)/360 = 7608km$





Zdroj: Čapek, R. Matematická geografie. Praha, 2. vydání, 2001.

CC BY SA

Ortodroma

- př. Určete vzdálenost AB Auckland – Los Angeles.

($\varphi_A = 37°j.š., \lambda_A = 175°z.d., \varphi_B = 34°s.š., \lambda_A = 118°z.d.$)

Ortodroma překračuje rovník, φ_A je záporná φ_A=90° - (-37°)=127°

Kosinova věta o straně:

$$\cos\Delta = \cos 127°.\cos 56° + \sin 127°.\sin 56°.\cos 67°$$

$$\Delta = 94°28'$$

$$AB = R.arc\Delta = 10504km$$

- př. Určete vzdálenost AB New York– Neapol.

($\varphi_A = 41°s.š., \lambda_A = 74°z.d., \varphi_B = 41°s.š., \lambda_A = 14°v.d.$)

Oba body leží na stejné rovnoběžce lze použít jednoduší vzorec:

$$\sin\frac{\Delta}{2} = \cos\varphi.\sin\frac{\Delta\lambda}{2} = \cos 41°.\sin 44°$$

$$\Delta = 63°14' \quad AB = 7031km$$

Srovnáním s 7385 km po rovnoběžce je ortodroma o 354 km kratší.

cc BY SA

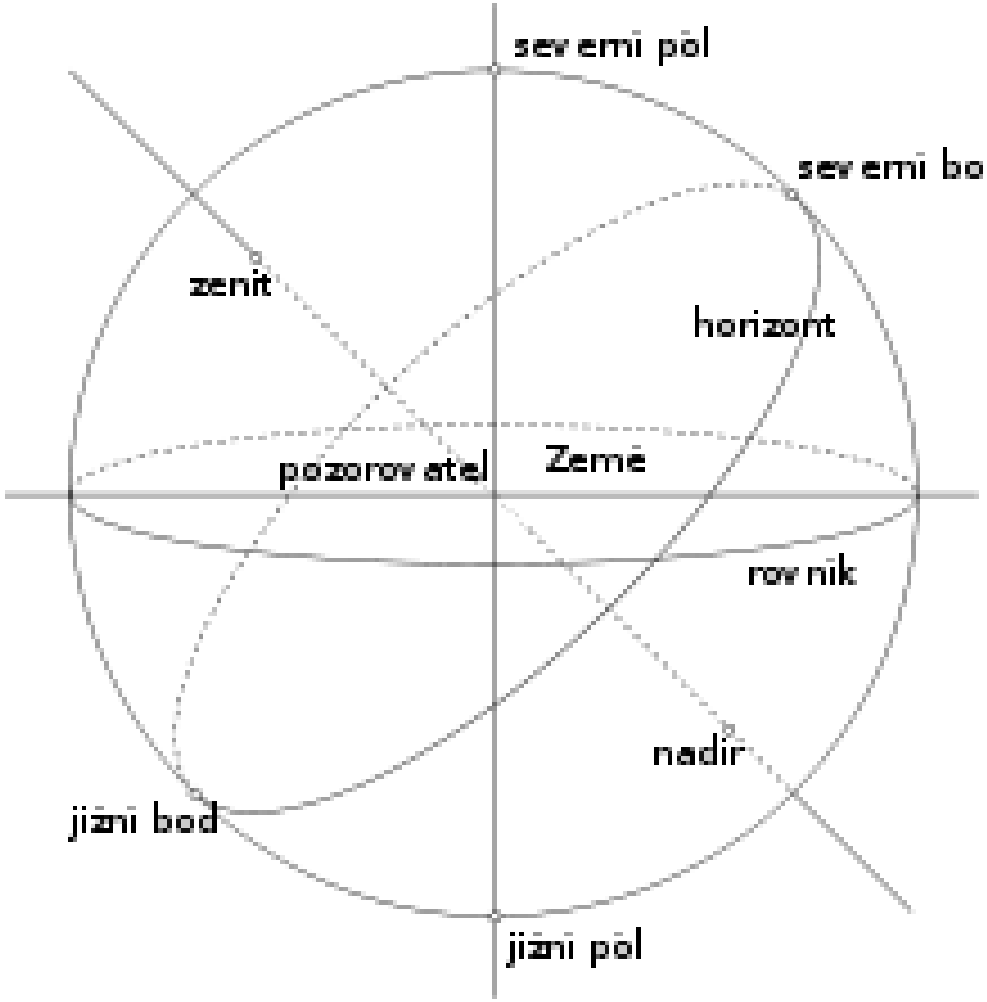
Astronomické souřadnice

- nebeská sféra – myšlená koule, na kterou se ze stanoviště pozorovatele promítají nebeská tělesa
- světové póly – průsečíky zemské osy s nebeskou sférou
- zenit (nadhlavník) – průsečík tížnice prodloužené nad hlavu pozorovatele s nebeskou sférou
- nadir – průsečík tížnice pod nohama pozorovatele s nebeskou sférou
- světový rovník – průsečnice roviny zemského rovníku s nebeskou sférou
- deklinační kružnice – průsečnice roviny procházející světovými póly s nebeskou sférou
- meridián - průsečnice roviny místního poledníku s nebeskou sférou
- obzorník (horizont) – průsečnice vodorovné roviny s nebeskou sférou
- ekliptika – průsečnice roviny oběžné dráhy Země s nebeskou sférou

CC BY SA

Astronomické souřadnice

Zdroj: Čapek, R. Matematická geografie. Praha, 2. vydání, 2001.



Poloha bodů na nebeské sféře určena astronomickými souřadnicemi.

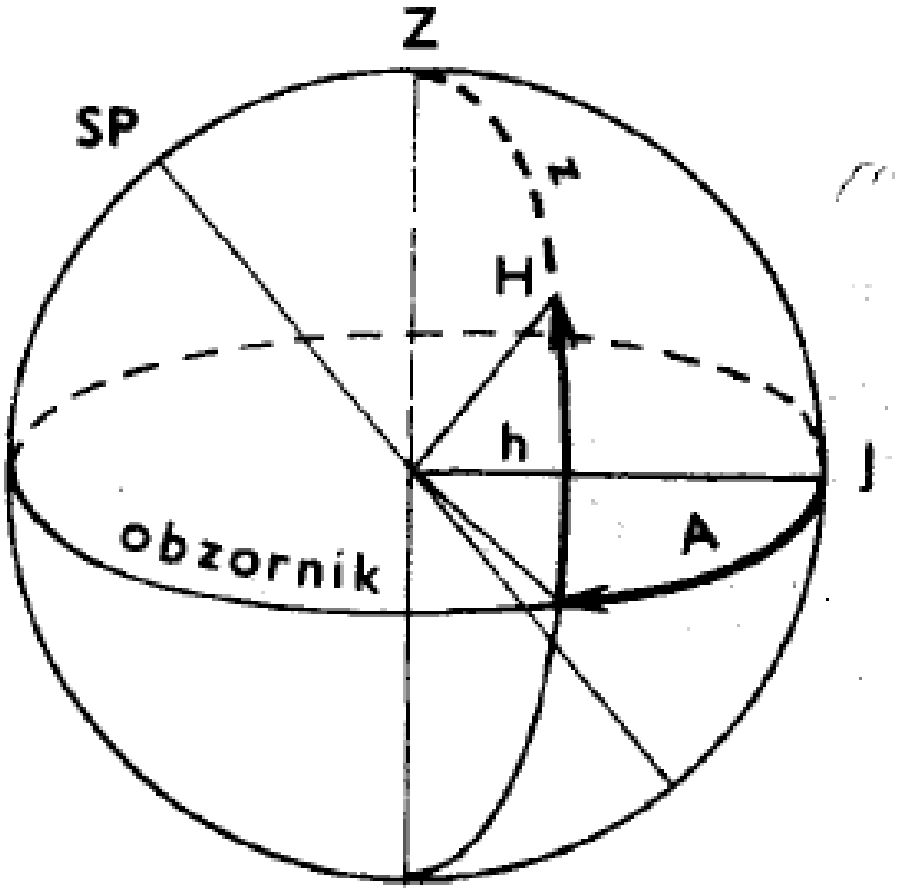
CC BY SA

Obzorníkové souřadnice

- obzorníková souřadnice se mění se stanovištěm pozorovatele a časem
- základní rovina – rovina obzoru
- počáteční bod – jižní bod obzoru
- výška h – obdoba zeměpisné šířky (0°-90°)
- zenitová vzdálenost z – doplněk výšky do 90°
- azimut A – obdoba zeměpisné délky – úhel roviny meridiánu (místního poledníku) s vertikální rovinou, měří se od jihu po směru hodinových ručiček 0°-360°
- výšková kružnice – spojnice míst stejného azimutu

CC BY SA

Obzorníkové souřadnice



Zdroj: Čapek, R. Matematická geografie. Praha, 2. vydání, 2001.

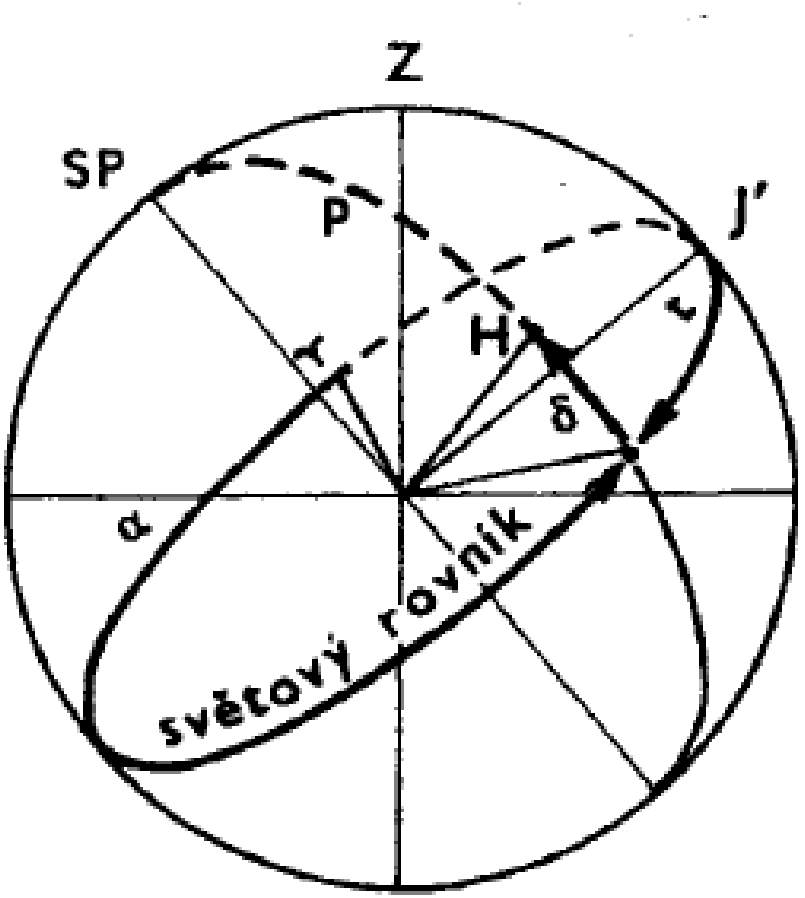
CC BY SA

Rovníkové souřadnice

- rovníková souřadnice se nemění se stanovištěm pozorovatele, je konstantní
- deklinace δ – obdobou zeměpisné šířky, úhel mezi rovinou rovníku a spojnicí střed Země – hvězda.
- 0°-90° od rovníku k pólu, kladná k severnímu a záporná k jižnímu pólu
- rektascenze α – obdobou zeměpisné délky, úhel mezi rovinou deklinační kružnice jarního bodu a rovinou deklinační kružnice hvězdy
- měří se od jarního bodu od 0 do 24 hodin proti směru pohybu hodinových ručiček

CC BY SA

Rovníkové souřadnice



Zdroj: Čapek, R. Matematická geografie. Praha, 2. vydání, 2001.

CC BY SA

Určování zeměpisné šířky

- měřením výšky hvězd s přesností až +/- 0,02‘‘ tj. +/- 0,6m na zemském povrchu
- platí, že zeměpisná šířka je rovna výšce světového pólu nad obzorem
- Pro přesné měření – hvězda v kulminaci (kdy je hvězda nejvýše nad obzorem nebo nejníže).
- dále nutné z tabulek zjistit deklinaci
- výpočet z dolní kulminace: $\varphi = 90° - \delta + h$
- výpočet z horní kulminace na sever od zenitu: $\varphi = \delta - z$
- výpočet z horní kulminace na jih od zenitu: $\varphi = \delta + z = \delta + 90° - h$
- pokud není hvězda v kulminaci, musí se použít k výpočtu i azimut
- zeměpisná délka zjištěna z rozdílu místních časů

CC BY SA

Sluneční čas

- Čas u něhož je vztažný bod slunce – určen podle zdánlivého pohybu slunce mezi hvězdami.
- Pravý sluneční čas – nepravidelný, hodinový úhel pravého slunce není stejně dlouhý díky nerovnoměrnému pohybu země kolem slunce.
- Střední slunečný čas – je roven hodinovému úhlu středního Slunce zvětšenému o 12 hodin. Řídí se fiktivním středním sluncem, které se zdánlivě pohybuje po rovníku.

CC BY SA

Časová rovnice

- Rozdíl mezi pravým a středním slunečným časem může být až 16 minut 25 sekund
- Pravý sluneční čas mohou měřit jen sluneční hodiny.
- Sluneční hodiny – tyčka rovnoběžná se zemskou osou, tyčka je nachýlená k severu a svírá s vodorovnou rovinou rovinnou úhel rovný místní zeměpisné šířce a stín ukazuje čas na číselníku.

CC BY SA

Určování zeměpisné délky

- rozdíl zeměpisných délek je roven rozdílu místních časů
- 15° je rozdíl 1 hodina
- k určení je zapotřebí mít hodiny s časem v Greenwich a sextant (používaný i pro určení zeměpisné délky) kterým zjistíme okamžik horní kulminace slunce či jasné hvězdy
- přesnost je menší než u zeměpisné šířky a dosahuje +/- 2,4 m u nás či +/- 3,7 m na rovníku
- rozdíl času místního a Greenwichského se zjistí v době horní kulminace Slunce
- př. Na poledníku λ dne 28. listopadu v pravé poledne ukazoval chronometr 4:20 GMT. Z hvězdářské ročenky bylo zjištěno že tento den je pravé poledne v 11:48 středního slunečního času. Časy odečteme λ = 11:48-4:20=7:28
- tj. 112°v.d.

CC BY SA

Určování zeměpisné délky

Podle hvězd:

- přesnější a není třeba časová rovnice.
- Vyčká se na horní kulminaci hvězdy a na astronomických hodinách se přečte hvězdný čas greenwichského poledníku.
- V hvězdářské ročence se vyhledá rektascenze hvězdy která je v okamžiku kulminace rovna místnímu hvězdnému času.

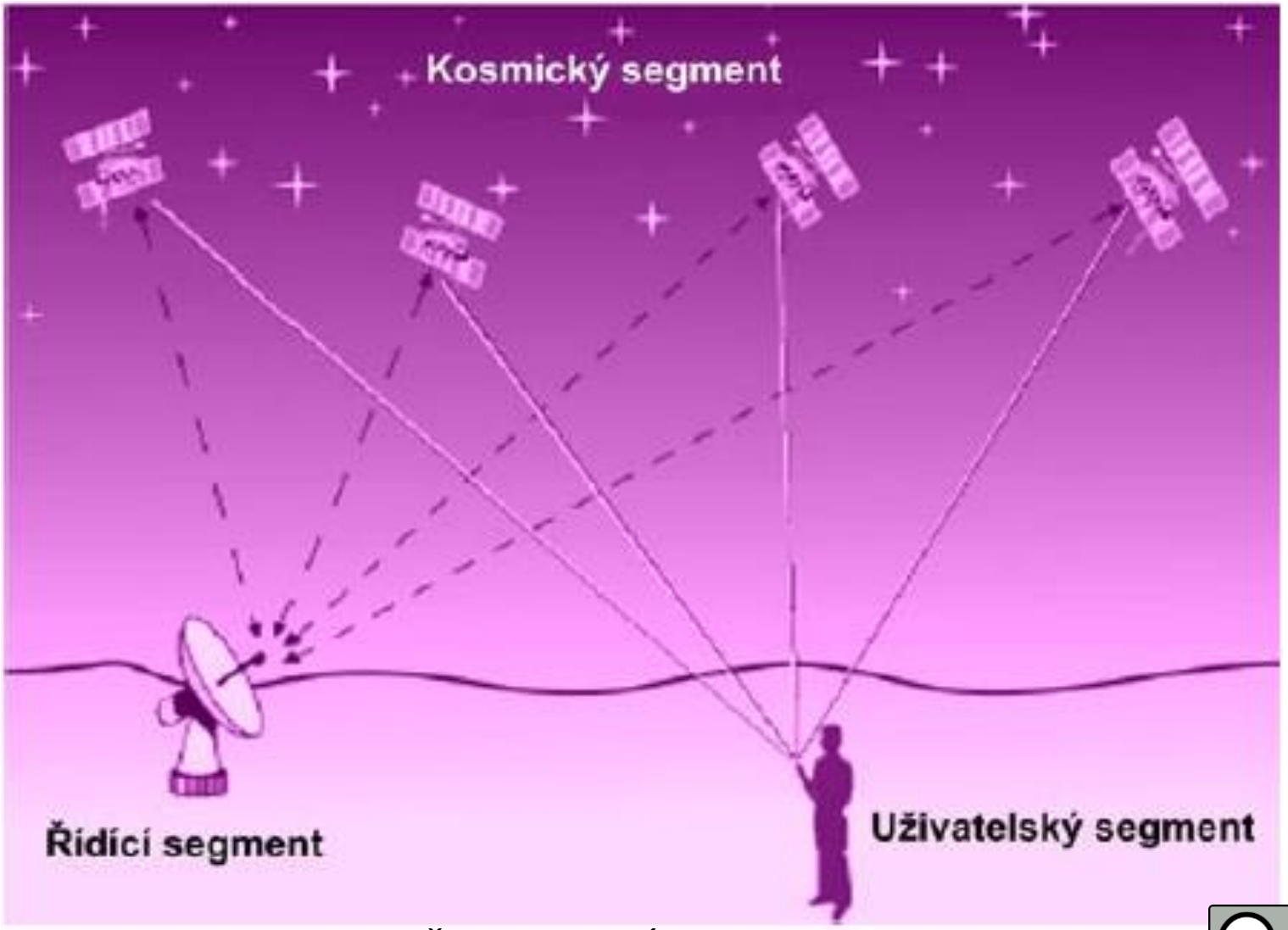
CC BY SA

GPS

- Global Positioning System, je vojenský navigační družicový systém provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických, který dokáže s několikametrovou přesností určit pozici kdekoliv na Zemi.
- Přesnost GPS lze ještě zvýšit až na přibližně 1 cm s použitím metod Diferenciální GPS (DGPS).
- Počátek budování od roku 1973.
- Od roku 1993 umožňuje 3D určování polohy 24 hodin denně kdekoliv na Zemi.
- Od března 1990 do roku 2000 bylo na GPS zaveden výběrový přístup omezující přesnost GPS pro běžné uživatele modifikací C/A kódů.
- USA má však vyhrazení právo opět kdykoliv omezit, zeslabit, či zamezit signál GPS pro uživatele.

CC BY SA

GPS



Zdroj: Čábelka, M.: Úvod do GPS, 2008.

CC BY SA

GPS

- Kosmický segment GPS sestává z minimálního počtu 24 družic (skutečný počet se mění).
- Družice jsou umístěné na šesti téměř kruhových drahách (máloexentrické elipsy) se sklonem 55° k rovině rovníku, vzdálené 20 200 km od povrchu Země a pohybující se rychlostí 11 300 $km \cdot h^{-1}$.
- Za jeden hvězdný den uskuteční každá družice dva oběhy kolem Země (jeden oběh trvá 11 h 58 min), proto je další den na stejném místě oběžné dráhy vždy o 4 minuty dříve.

CC BY SA

GPS

Řídící segment GPS

- Řízení GPS tvoří soustava pěti monitorovacích stanic, tří pozemních vysílačů povelů a hlavního řídicího střediska.
- Monitorovací stanice jsou rozmístěny rovnoměrně podél rovníku.
- Hlavní pozemní stanice se nachází na základně Falcon AFB v Coloradu.
- Hlavní řídicí středisko sídlí na Schrieverově letecké základně v Colorado Springs v Coloradu.
- Celý systém je řízen z ředitelství Navstar na letecké základně v Los Angeles.

CC BY SA

GPS

Uživatelský segment GPS

- Pro příjem a zpracování GPS signálů využívá speciální přijímače.
- Existuje několik typů - jednokanálové, vícekanálové a hybridní.
- Jednokanálový přijímač je schopen zachytit a zpracovat signál jen z jedné družice, proto se po zachycení a zpracování signálu a uložení informace z jedné družice přepne na druhou (doba nutná pro celý proces je 20ms).
- U vícekanálových přijímačů je pro každou družici vyčleněný samostatný fyzický kanál a tudíž mohou přijímat a zpracovávat signály z více družic najednou.

CC BY SA

GPS - pseudovzdálenost

- Poloha GPS přijímače je výsledkem geometrického protínání z měřených vzdáleností mezi anténou přijímače a družicemi systému GPS.
- Tyto vzdálenosti se určují na základě zpracování družicového signálu.

Vyhodnocovat lze následující měřické veličiny:

- Fázi C/A kódu nebo P(Y) kódu – využíváno nejčastěji v navigačních přístrojích,
- Dopplerův frekvenční posun, fázi nosné vlny, interferometrická měření.
- Navigační přijímače měří čas, za který signál překoná vzdálenost mezi anténou družice a anténou přijímače. Pokud se vynásobí tranzitní čas rychlostí světla, je výsledkem vzdálenost mezi družicí a přijímačem GPS.
- Protože hodiny přijímače jsou relativně nepřesné, je spočítána pseudovzdálenost ρ:

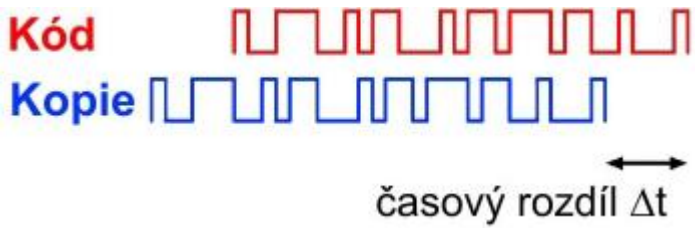
$$\rho = c.(t_k - t^i)$$

- t^i – čas odeslání čtení družicových hodin zakódovaný do signálu,
- t_k – čas zachycení signálu přijímačem,
- c – rychlost světla.

CC BY SA

GPS – určení vzdálenosti

- GPS využívá tzv. jednosměrného dálkoměru.
- Signál vysílaný z družice obsahuje elementy PRN kódu (C/A kód a P kód).
- Každý element těchto informací je nositelem přesné časové informace v časovém systému GPST.
- V přijímači se vytváří stejný nosný kmitočet. Na tento se moduluje kopie PRN kódu.
- Družice kódy periodicky opakuje a čas vyslání každého je předem přesně dán.
- Přijímač obsahuje o dost méně přesné hodiny a v oněch stanovených časech začne sám generovat repliku kódu
- Po přijetí kódu z družice (který je proti generované replice kódu zpožděn) jsou tyto dva signály (přijatý a vygenerovaný) porovnány.
- Je zjištěn rozdíl, o jaký čas přišel později kód z družice, než byl ten samý vygenerovaný přijímačem (zařízení: *smyčka s fázovou synchronizací*).



Zdroj: Čábelka, M.: Úvod do GPS, 2008.

CC BY SA

GPS – přesné určení polohy

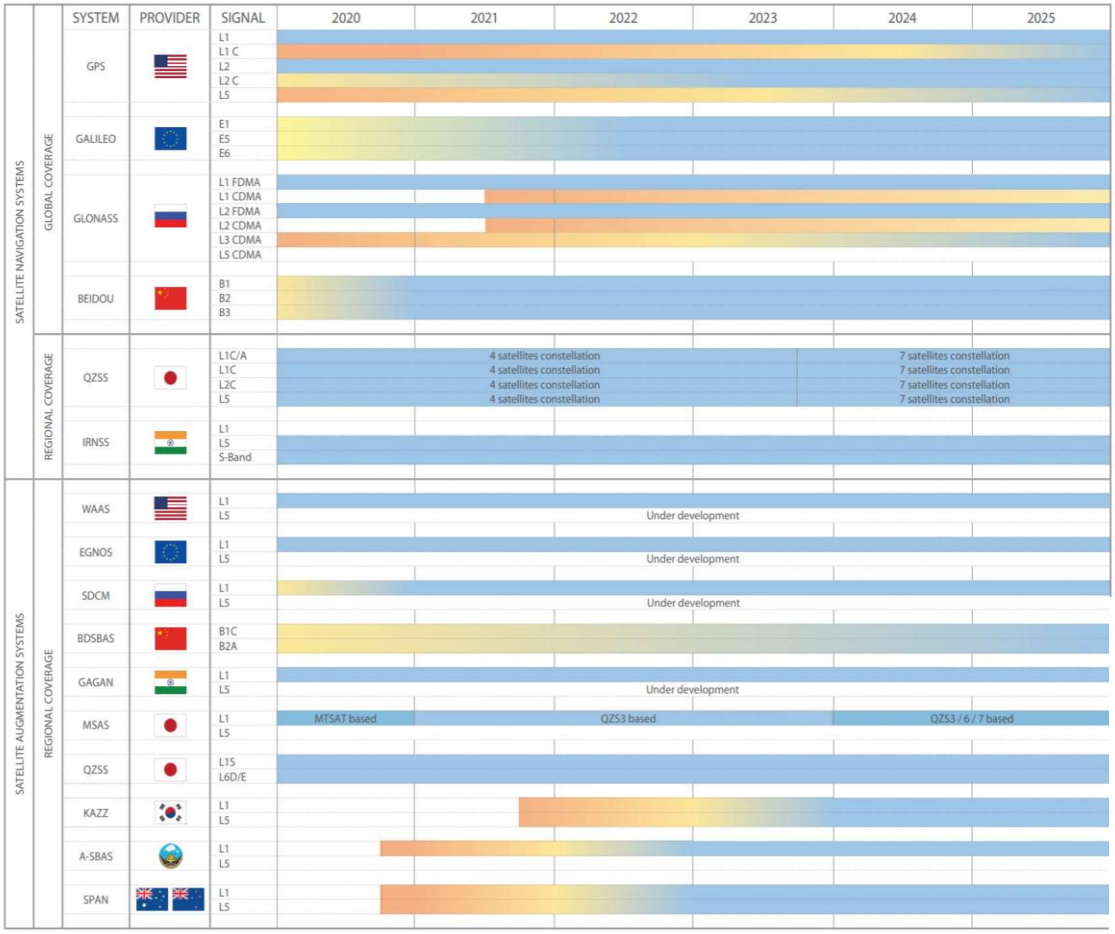
- Absolutní určování polohy - souřadnice jsou určeny v geocentrickém souřadnicovém systému WGS 84 v reálném čase. Pro měření lze využít pouze jednu přijímací aparaturu.
- Relativní způsob určování polohy – V geodézii se pro určování polohy bodu využívá fázových pozorování, kdy se měří současně nejméně dva přijímače a výsledkem je relativní poloha těchto přijímačů. Poloha bodu se určuje vzhledem k referenčnímu bodu, jehož geocentrické souřadnice jsou známy.
- Pozor na přítomnost předmětů způsobujících multipath (vícecestné šíření signálu).

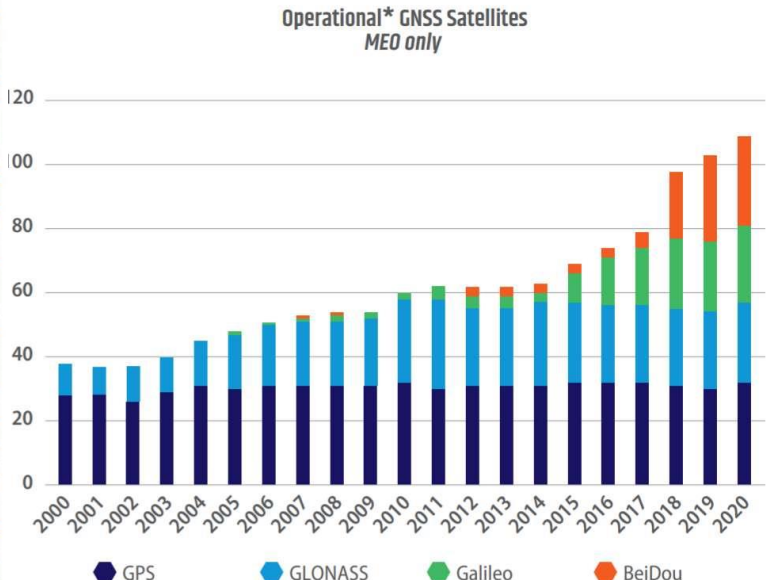
CC BY SA

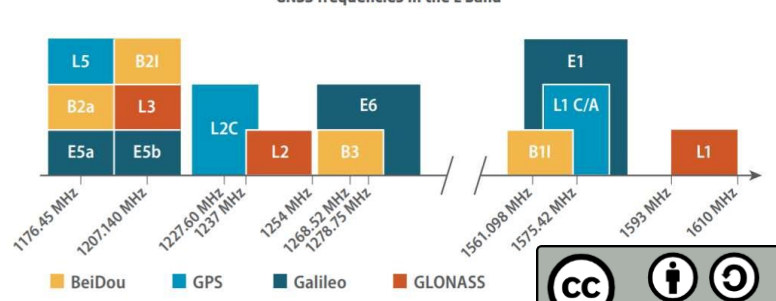
Poziční systémy

Zdroj: https://vtm.zive.cz/clanky/jak-vypada-soucasny-stav-gps-a-na-co-se-muzeme-tesit-v-nejblizsich-letech/sc-870-a-206570/default.aspx

- GPS (USA), GLONASS (Rusko), Galileo (EU), QZSS (Japonsko), BeiDou (Čína) a EGNOS (korekční SBAS družice EU).







CC BY SA

CZEPOS

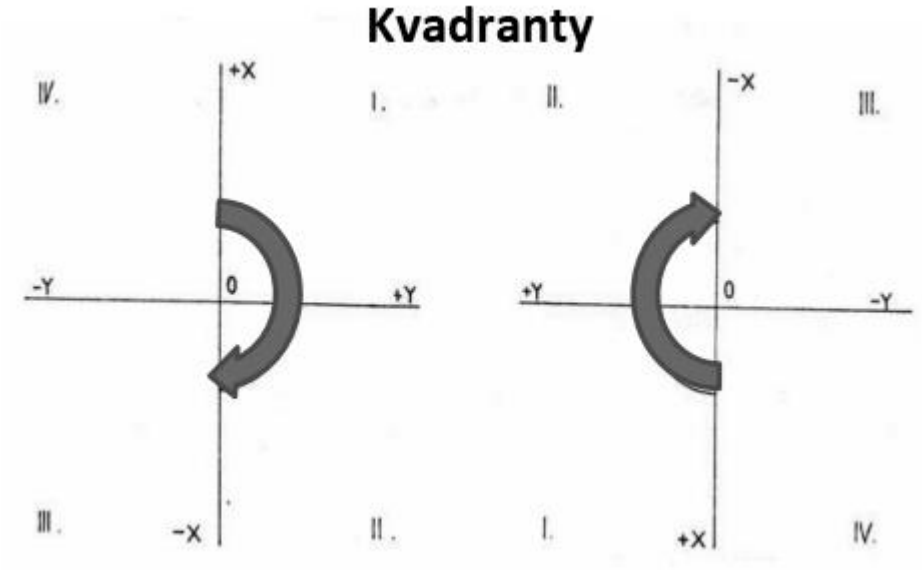
- CZEPOS je síť pevných GPS referenčních stanic, jejíž budování v ČR organizuje, financuje, spravuje a provozuje Zeměměřický úřad jako součást geodetických základů České republiky.
- Uživatelům pak poskytuje GPS korekční data pro přesné určení pozice na území České republiky.
- CZEPOS obsahuje 27 permanentních stanic rovnoměrně rozmístěných na celém území České republiky ve vzdálenostech cca. 60 km.
- Každá ze stanic CZEPOS provádí nepřetržitě 24 hodin denně observace GPS, které pravidelně každou vteřinu registruje.
- Využití v geodézii, přesná navigace v dopravě, určení pevných a pohybujících se objektů, přesnost v řádu milimetrů.
- Obdoba EGNOS – Evropská „podpůrná“ geostacionární navigační služba).

CC BY SA

Souřadnicové systémy

- pravoúhlé souřadnice ve 3D jsou obecně vzdálenosti odměřené nebo vypočtené na pravoúhlé soustavě os x, y, z a s počátkem v nule
- Geodetické souřadnicové systémy se rozlišují podle směru kladné větve osy X a vychází ze smyslu měření a určování úhlů po směru hodinových ručiček.

- severníková soustava – kladná osa X směřuje k severu, kladná osa Y na východ a směrník se nazývá severník
- jižníková soustava - kladná osa X směřuje k jihu, kladná osa Y na západ a směrník nazýváme jižník



Zdroj: https://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html

CC BY SA

Souřadnicové systémy

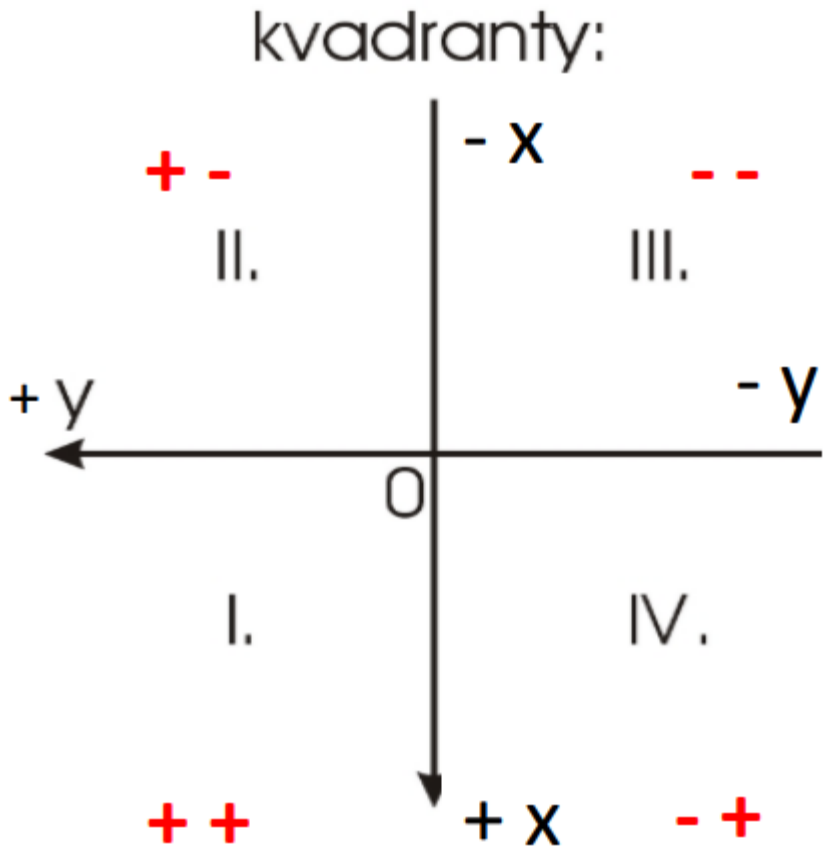
Zápis souřadnic bodů v geodézii

pořadí ***Y , X, H(Z)***

Kvadranty v geodetickém systému

jižníková soustava

	Y	X
I.	+	+
II.	+	-
III.	-	-
IV.	-	+



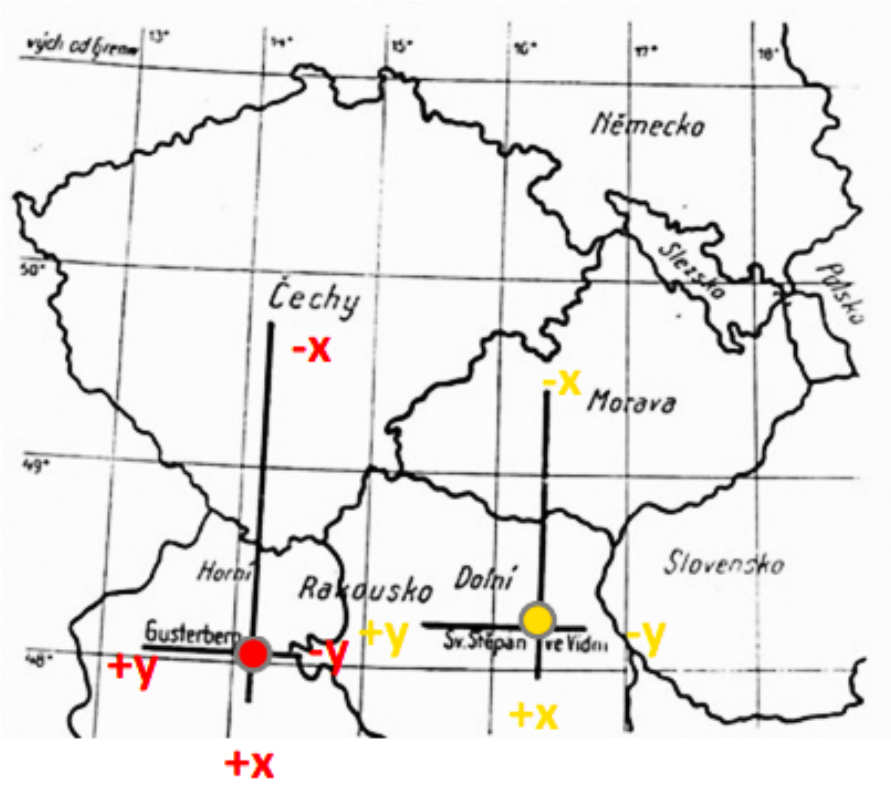
Zdroj: https://stavarna.com/download2/3382_3600_cs_gev_2_08_sour_soustavy.pdf

cc BY SA

Souřadnicové systémy

Souřadnicový systém stabilního katastru – mapy 1: 2 880

- **počátek** je pro ČR s bodech
  - **Gusterberg** (trigonom. bod na kopci Gusterberg v Horních Rakousích)
  - věž chrámu kostela **Sv.Štěpán** ve Vídni
- každý blok má svůj vlastní souřadný systém
- osy **X jde k jihu**
- osy **Y jde k západu**
- **souřadnice mohou být kladné i záporné**



Praha má souřadnice přibližně
Yp = -20 000 m , Xp = -230 000 m

Zdroj: https://stavarna.com/download2/3382_3600_cs_gev_2_08_sour_soustavy.pdf

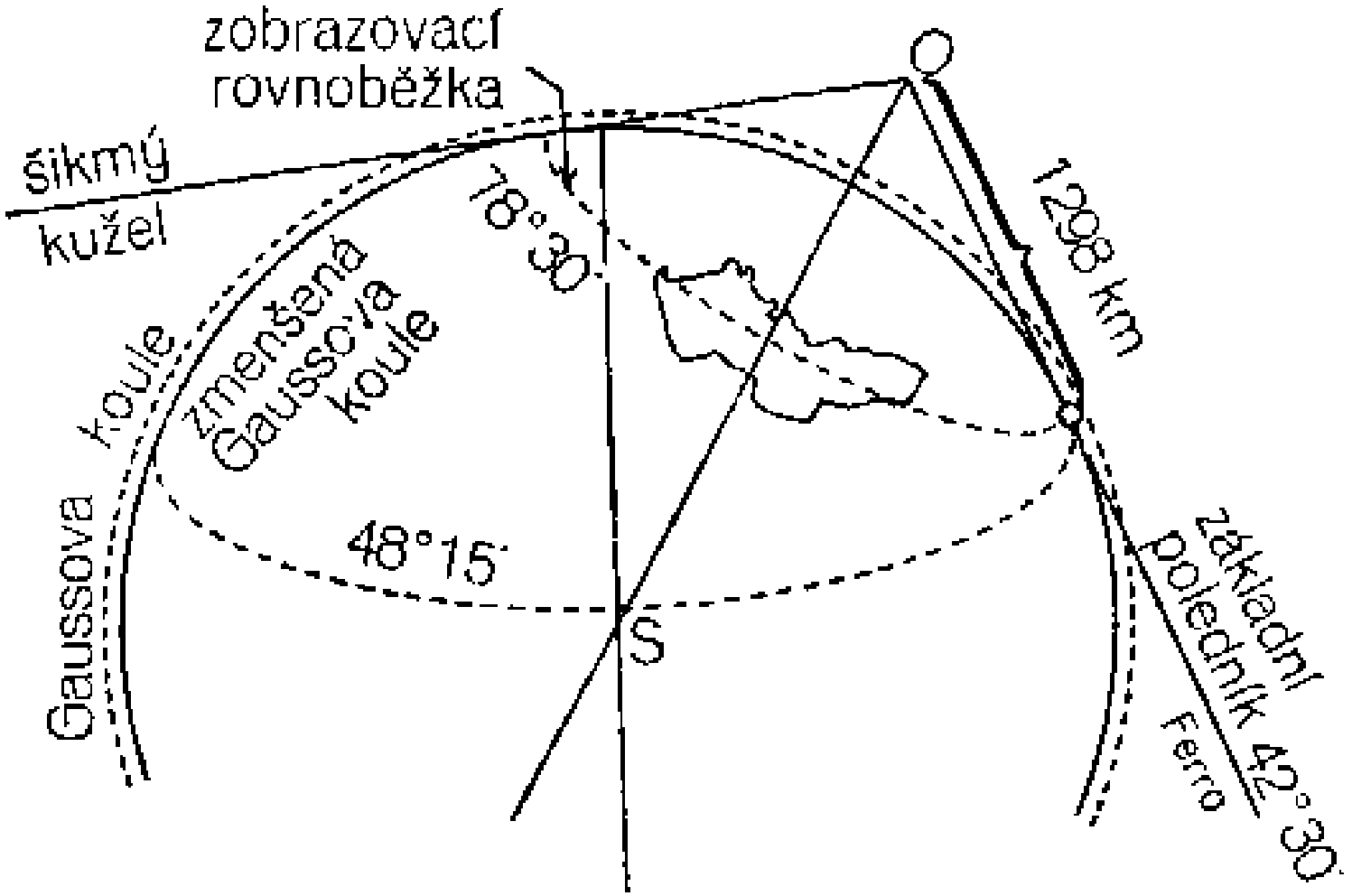
CC BY SA

Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

- Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) je definován Besselovým elipsoidem s referenčním bodem Hermannskogel, Křovákovým zobrazením (dvojité konformní kuželové zobrazení v obecné poloze), převzatými prvky sítě vojenské triangulace (orientací, rozměrem i polohou na elipsoidu) a jednotnou trigonometrickou sítí katastrální.
- Křovákovo zobrazení je jednotné pro celý stát. Navrhl a propracoval jej Ing. Josef Křovák roku 1922.

CC BY SA

Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální



Zdroj: https://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch02s03.html

CC BY SA

Křovákovo zobrazení

- Zobrazení se označuje jako dvojité (trigonometrické body se nejprve konformně zobrazí z Besselova elipsoidu na Gaussovu kouli - pro území bývalé ČSR byla zvolena základní rovnoběžka 49°30´).
- Poté se referenční koule konformně a ekvidistantně (se zachováním délky) zobrazila na kužel v obecné poloze. Obecná poloha kužele byla zvolena z důvodu protáhlé polohy zobrazovaného území ve směru severozápad – jihovýchod. Zvolenou základní kartografickou (dotyková rovnoběžka kuželové plochy v obecné poloze) rovnoběžkou je rovnoběžka 78°30´.
- Za počátek pravoúhlé rovinné soustavy byl zvolen obraz vrcholu kužele. Osa X je tvořena obrazem základního poledníku (λ = 42°30´ východně od Ferra) a její kladný směr je orientován k jihu. Osa Y je kolmá k ose X a směřuje na západ. Tím se dostala celá republika do 1. kvadrantu a všechny souřadnice jsou kladné.
- Ferrský poledník je historický nultý poledník, který je definován podle ostrova El Hierro (Ferro), nejzápadnějšího z Kanárských ostrovů.

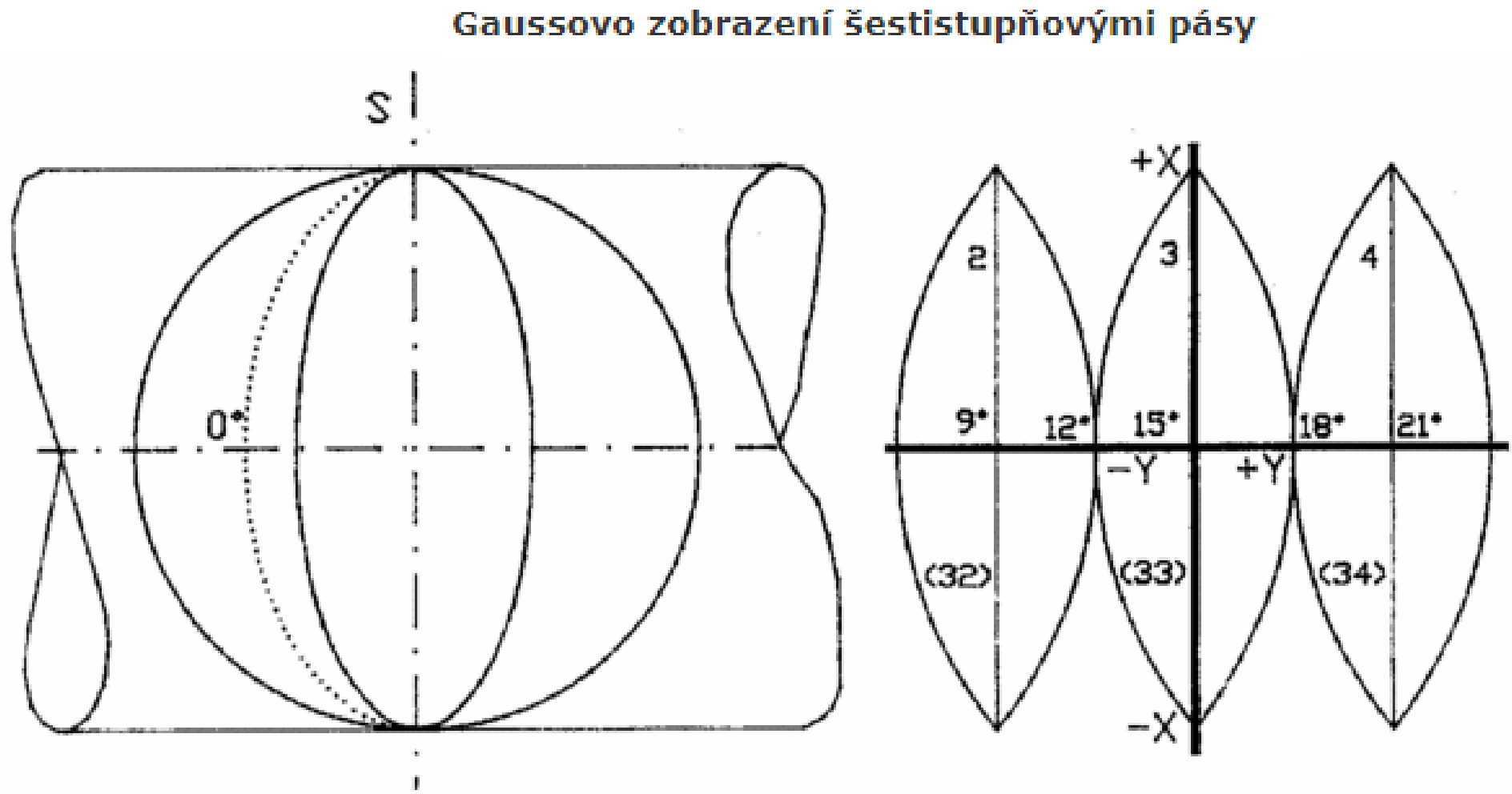
CC BY SA

Souřadnicový systém S-42

- Souřadnicový systém S-42 používá Krasovského elipsoid s referenčním bodem v Pulkavu. Souřadnice bodů jsou vyjádřené v 6° a 3° pásech Gaussova zobrazení. Geodetickým základem je astronomicko-geodetická síť (AGS), která byla vyrovnána v mezinárodním spojení a do ní byla transformovaná Jednotná trigonometrická síť katastrální.
- Použitým zobrazením je válcové, konformní, příčné Gaussovo zobrazení. Elipsoid je zobrazován přímo na plášť válce. Válec se dotýká referenční plochy v základním poledníku, který je vždy volen ve středu pásu.

CC BY SA

Souřadnicový systém S-42



Zdroj: https://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch02s03.html

CC BY SA

WGS 84

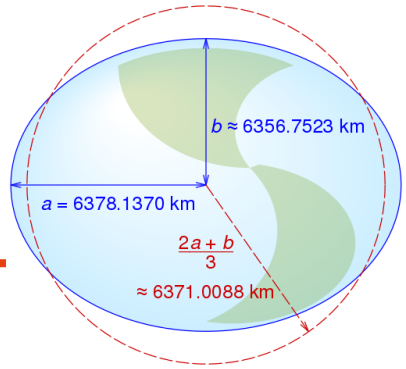
World Geodetic System 1984

- standard vydaný ministerstvem obrany USA roku 1984
- v ČR zaváděný od roku 1992
- definuje souřadnicový systém, referenční elipsoid a geoid pro geodézii a navigaci
- WGS 84 je pravotočivá kartézská soustava souřadnic se středem v těžišti Země - s přesností cca 2 m:
- kladná osa *x* směřuje k průsečíku nultého poledníku a rovníku,
- kladná osa *z* k severnímu pólu,
- kladná osa *y* je na obě předchozí kolmá ve směru doleva (90° východní délky a 0° šířky).

CC BY SA

WGS 84

Zdroj: Čábelka, M.: Úvod do GPS, Praha: Akademie kosmických technologií oblast Galileo, GMES, 2008.



Parametry definující referenční elipsoid WGS 84 jsou:

- délka hlavní poloosy: a = 6 378 137 m
- převrácená hodnota zploštění ($f = 1 - b/a$): $1/f$ = 298,257223563
- úhlová rychlost Země: $\omega = 7\,292\,115 \times 10^{-11}$ rad.s^{-1}
- součin hmotnosti Země (včetně atmosféry) a gravitační konstanty: $GM = (3986000{,}9 \pm 0{,}1) \times 10^8$ m^3.s^{-2}

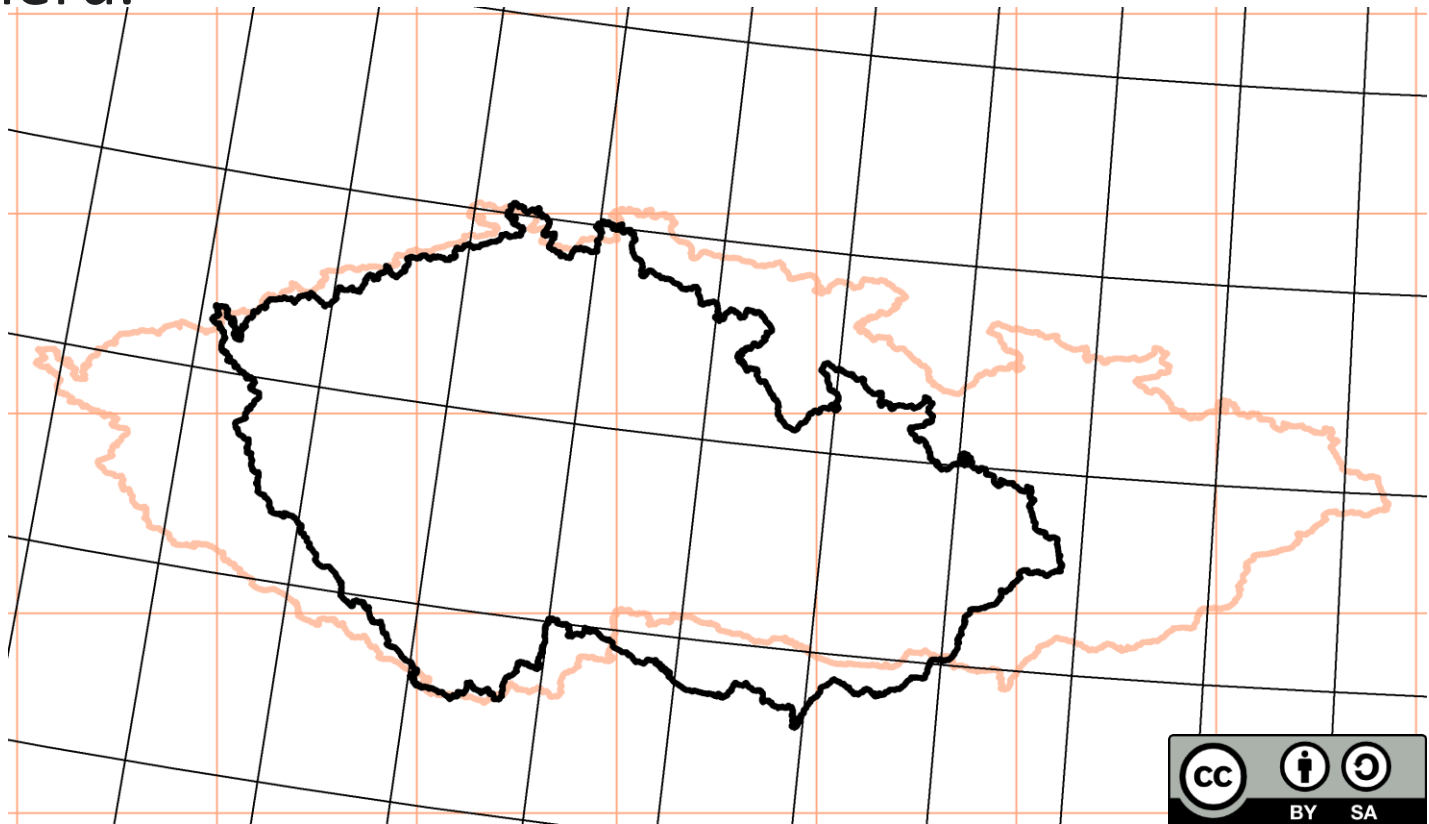
Z nich lze spočítat další odvozené parametry:

- délka vedlejší poloosy: b = 6 356 752,3142 m
- první excentricita: $e = 8{,}181919084262 \times 10^{-2}$

CC BY SA

Křovákovo zobrazení vs. WGS 84

- Mapy českého území v Křovákově zobrazení nejsou orientovány přesně na sever, oproti obvyklému znázornění (sever nahoře) je mapa pootočena v kladném směru.



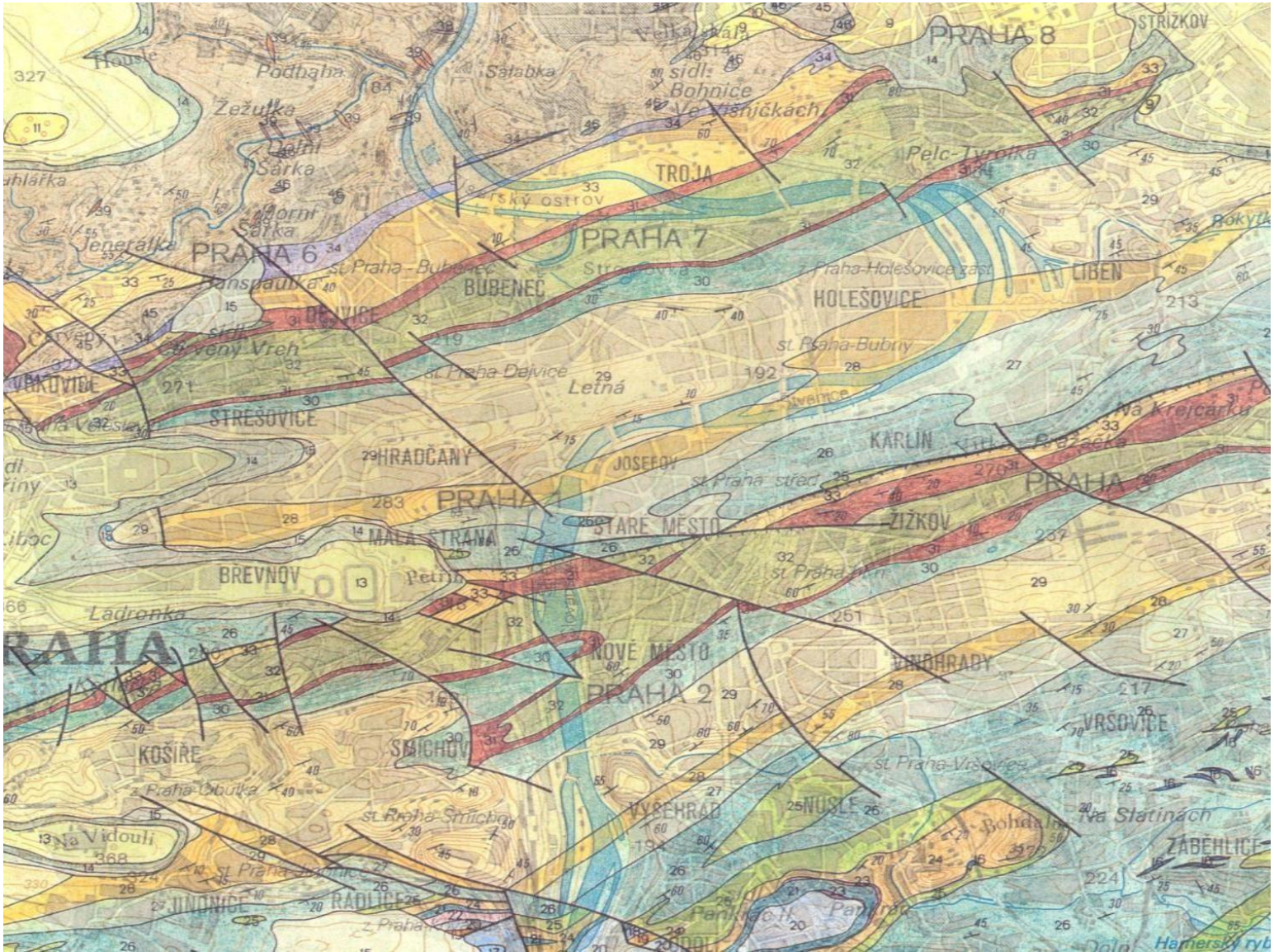
ČR v Křovákově zobrazení (černě), WGS84 (oranžově).

Zdroj: Čábelka, M.: Úvod do GPS, Praha: Akademie kosmických technologií oblast Galileo, GMES, 2008.

cc BY SA

Geologické mapy

Zdroj: Česká geologická služba. Geovědní mapa. 1:50 000.



CC BY SA

Geologické mapy

- jsou zmenšeným a generalizovaným obrazem geologické situace, znázorněném na vhodném topografickém podkladu.
- Zobrazují geologickou stavbu určitého území tak, jak se jeví na povrchu nebo v určité hloubce pod ním.
- Je na nich znázorněno rozšíření stratigrafických jednotek, průběh tektonických linií, hydrogeologické poměry, ložiska nerostných surovin a další geologicky důležité skutečnosti.

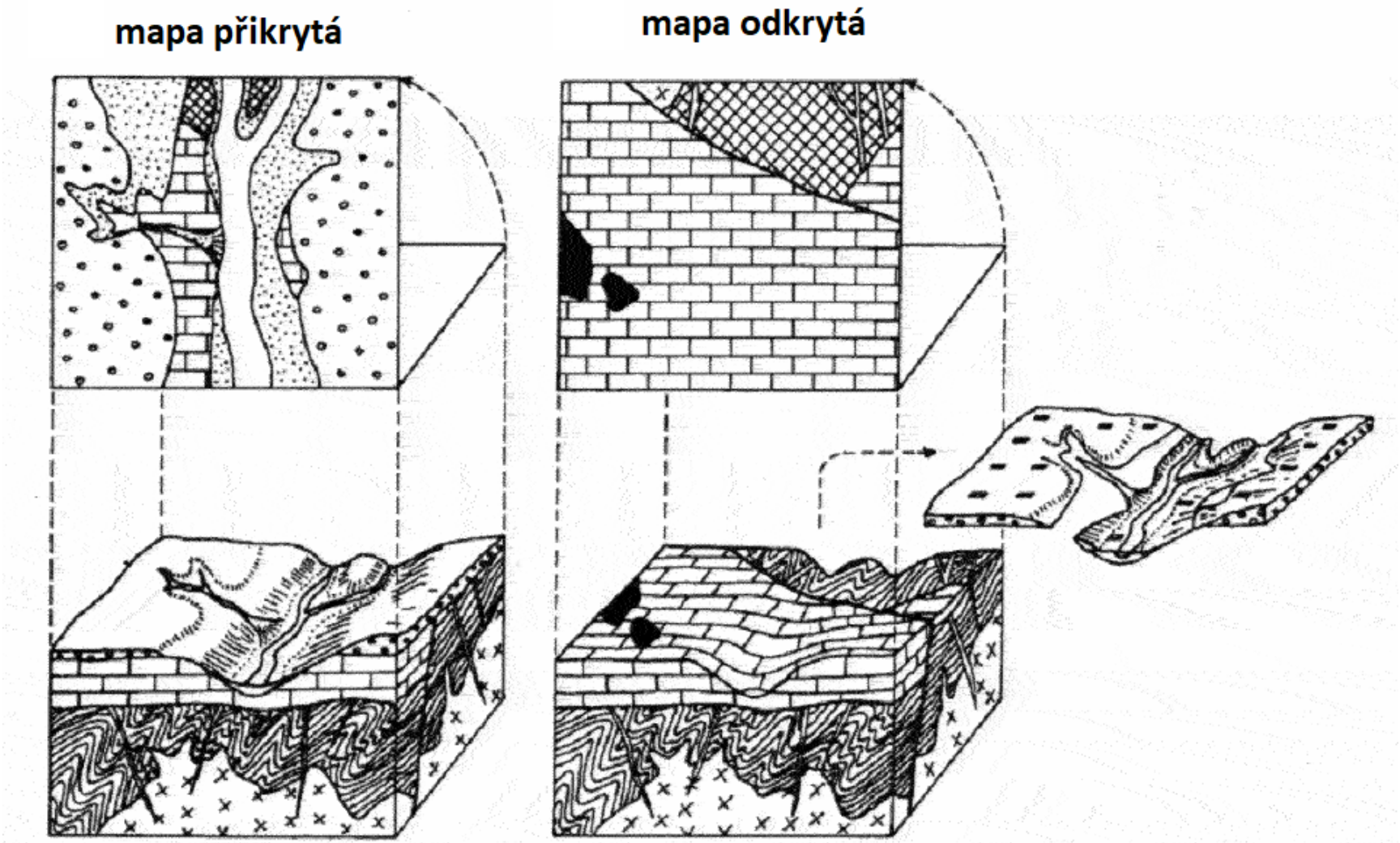
CC BY SA

Geologické mapy

- **mapy přikryté (drift maps)**, které zobrazují kvartérní pokryvné útvary (nekonsolidované sedimenty, jako jsou říční naplaveniny, rašelina a ledovcové usazeniny, které leží nad horninovým podložím) i horniny skalního podloží
- **mapy odkryté (solid maps)**, znázorňují geologickou situaci v určité hloubce (nejčastěji cca 2 m) a neberou zřetel na kvartérní pokryvné útvary.

CC BY SA

Geologické mapy



Zdroj: Chamra Sv., Pacovský J. (1990): Mechanika hornin a inženýrská geologie, Pomůcka pro cvičení. Vydavatelství ČVUT, 166 str.

cc BY SA

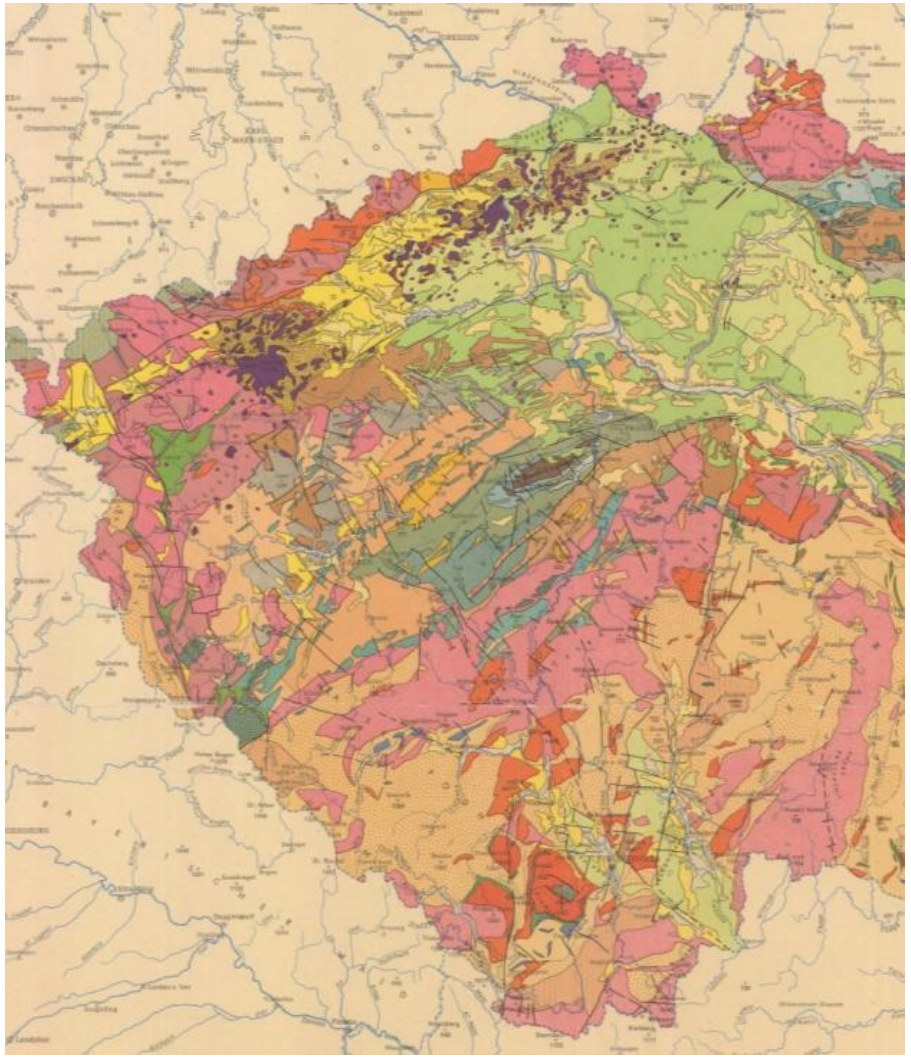
Geologické mapy

- Geologické mapy obvykle obsahují stratigrafické sloupce a jeden nebo více příčných řezů. Stratigrafické sloupce zobrazují jednotlivé útvary na mapě v pořadí usazování, přičemž nejstarší jsou dole a nejmladší nahoře. Ukazují také jejich tloušťku a obvykle jsou zakresleny v měřítku.
- Příčné řezy zobrazují podpovrchovou (a často i nadpovrchovou) geologii, jak se předpokládá na základě prvků zmapovaných na povrchu.

CC BY SA

Geologické mapy

- Český masiv, součást variského (nebo hercynského) orogenního pásma západní Evropy
- Deformované prekambrické a paleozoické sedimentární a metamorfované horniny s vyvřelými intruzemi, převážně z období karbonu nebo starší (tj. > ~300 mil. let).
- Pozdější druhohorní a třetihorní usazeniny a sedimenty, doprovázené vulkanity.



Zdroj: Česká geologická služba. Geovědní mapa. 1:50 000. Geologická mapa Čech

cc BY SA

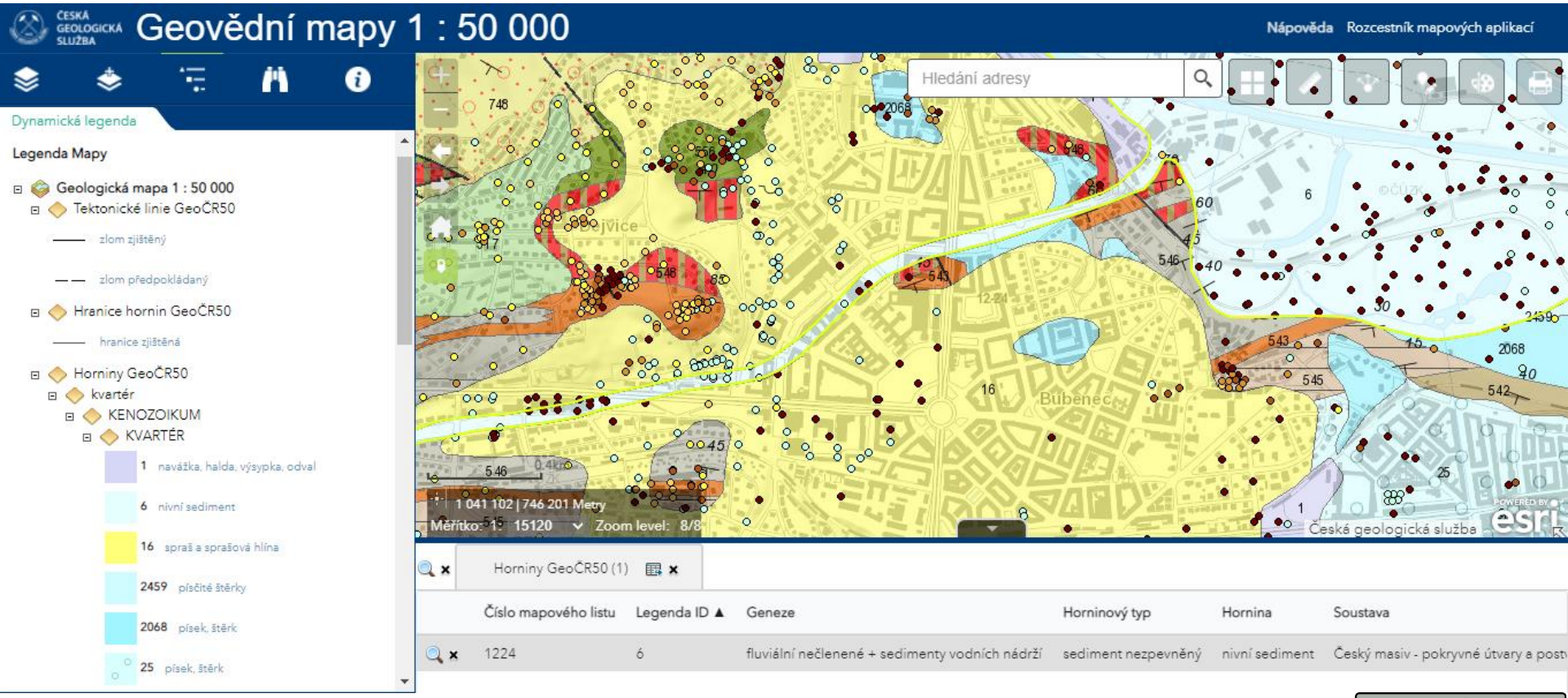
Geologické mapy

- https://geoportal.gov.cz/web/guest/other-portals/
- http://mapy.nature.cz
- www.geology.cz/
- http://www.geology.cz/extranet/vav/informacni-systemy/rozvoj/ngmd
- https://geoportal.cuzk.cz

CC BY SA

Geologické mapy

- Budova A – VŠCHT

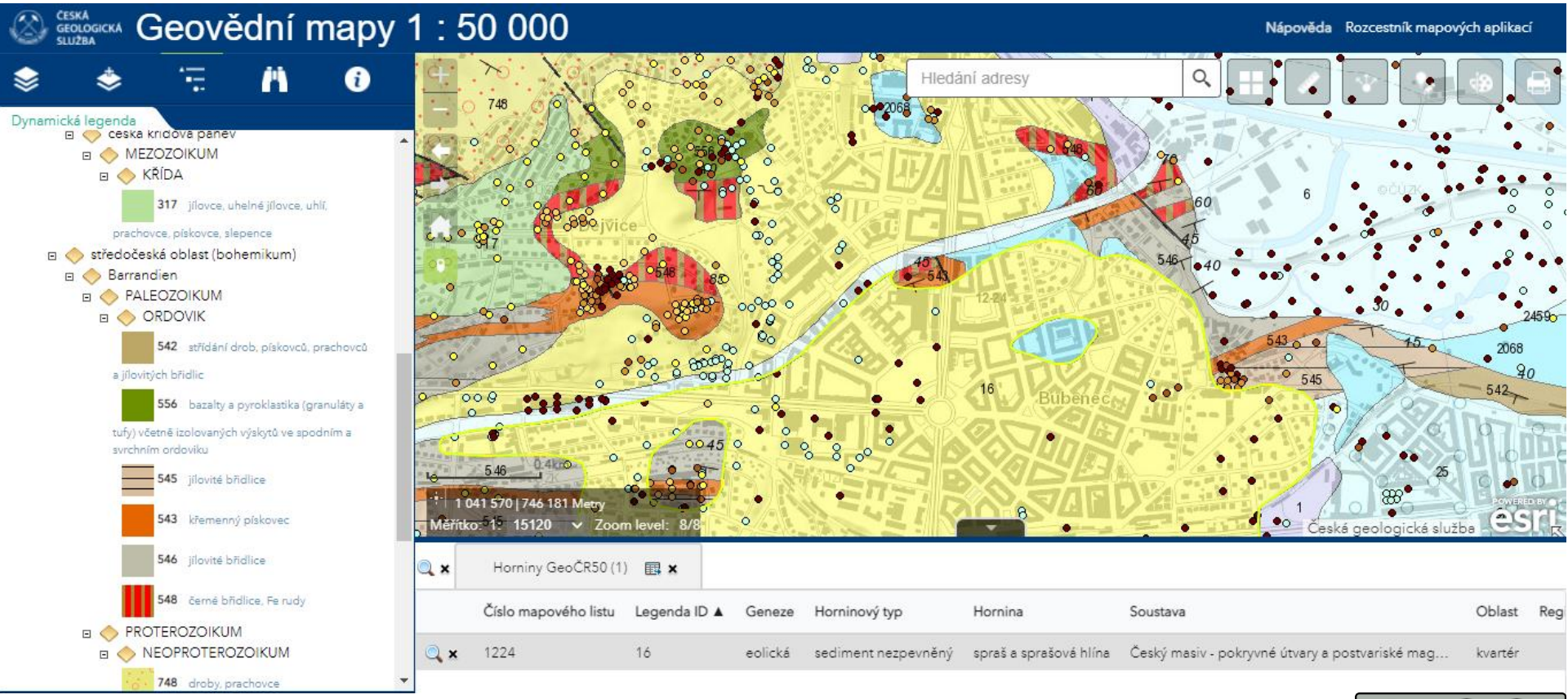


Zdroj: Česká geologická služba. Geovědní mapa. 1:50 000.

CC BY SA

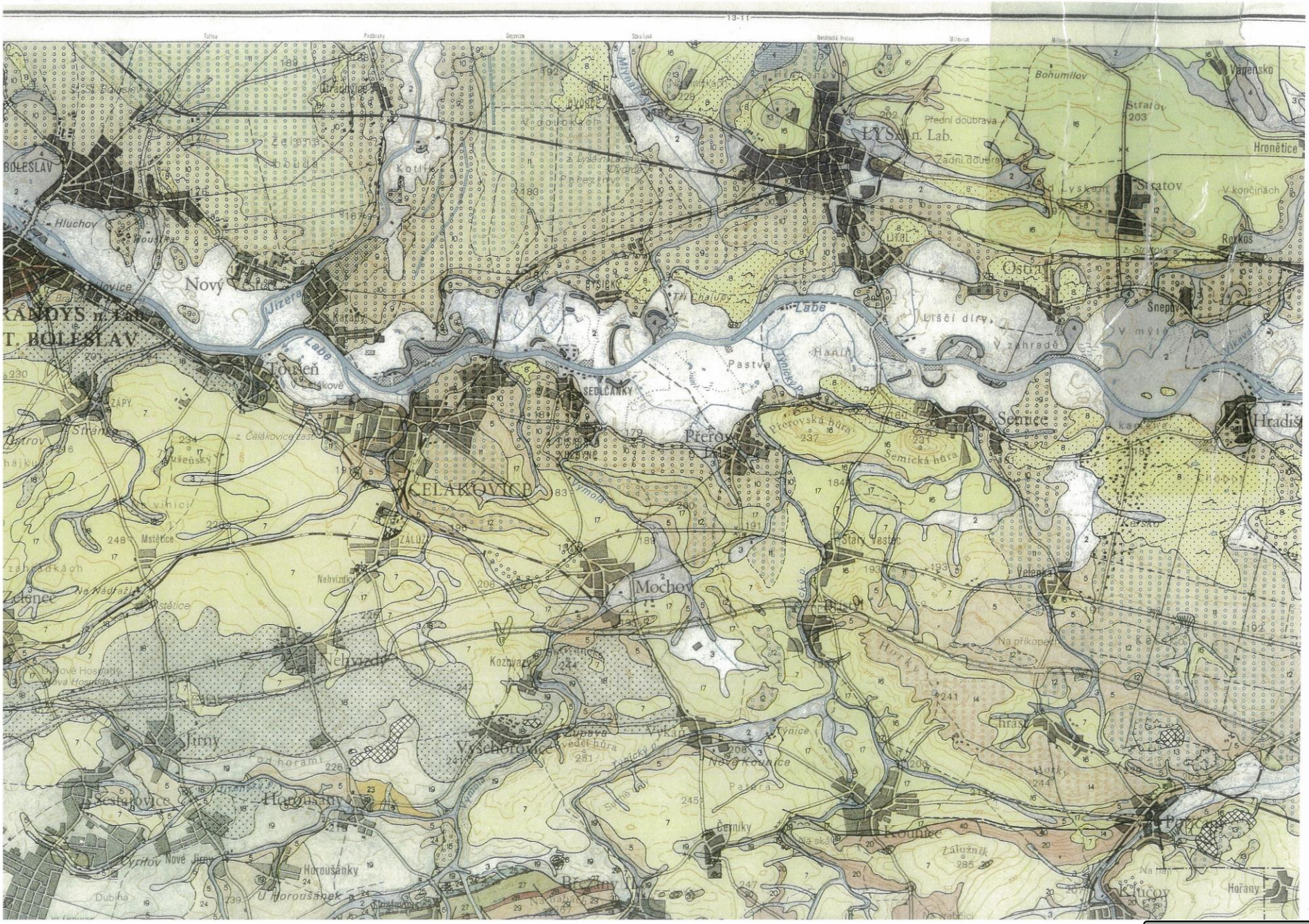
Geologické mapy

- Budova B - VŠCHT



Zdroj: Česká geologická služba. Geovědní mapa. 1:50 000.

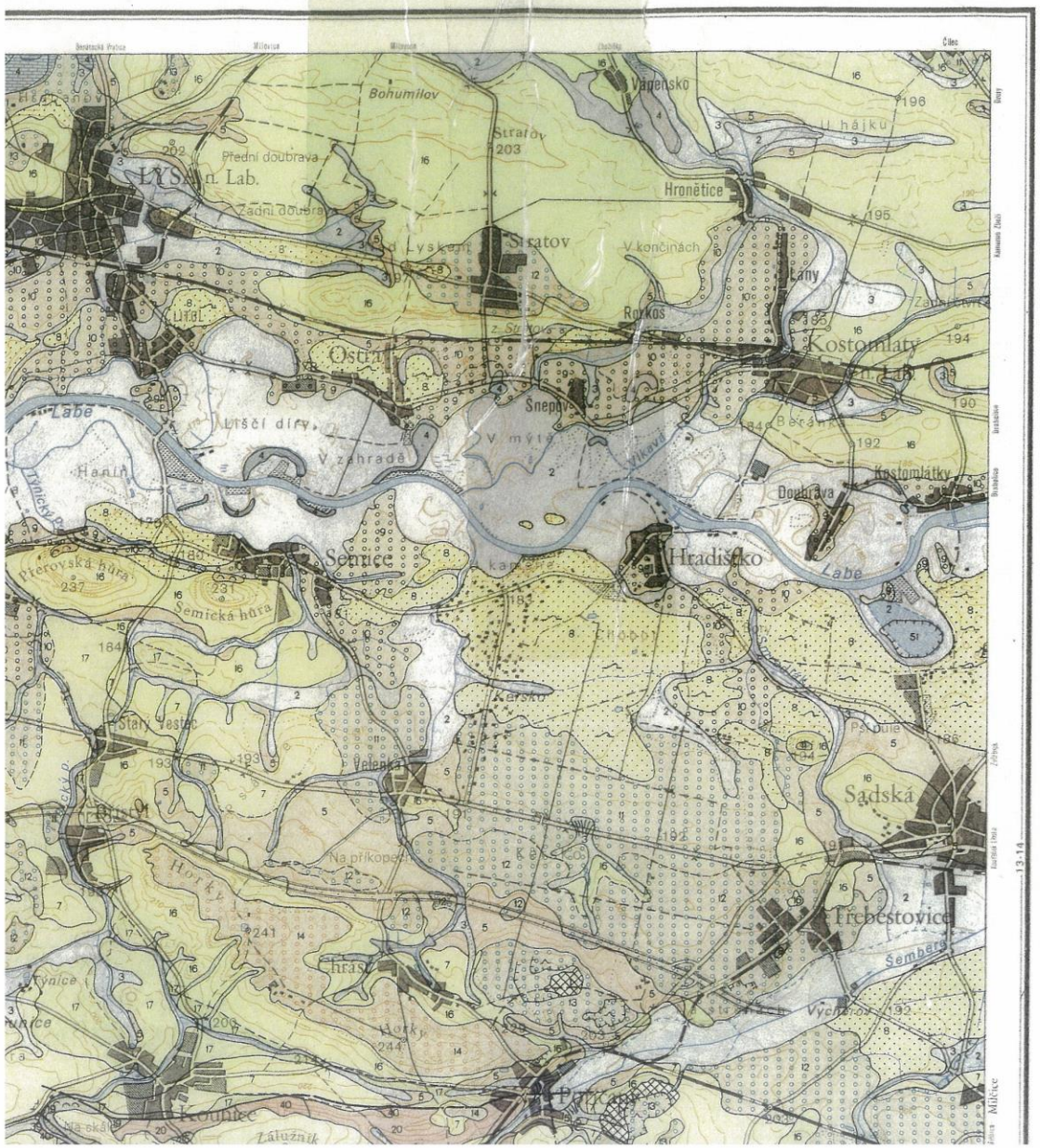
CC BY SA

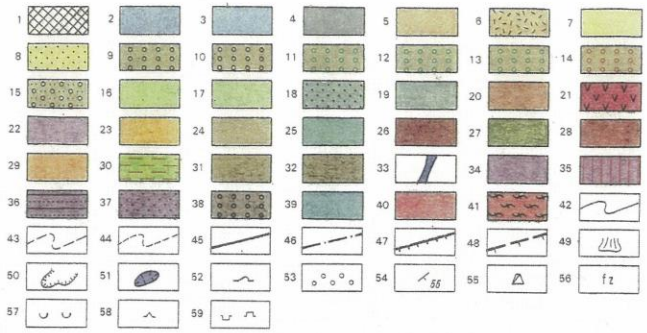


Zdroj: Česká geologická služba. Geovědní mapa. 1:50 000.

CC BY SA

13 - 13 BRANDÝS NAD LABEM - STARÁ BOLESLAV

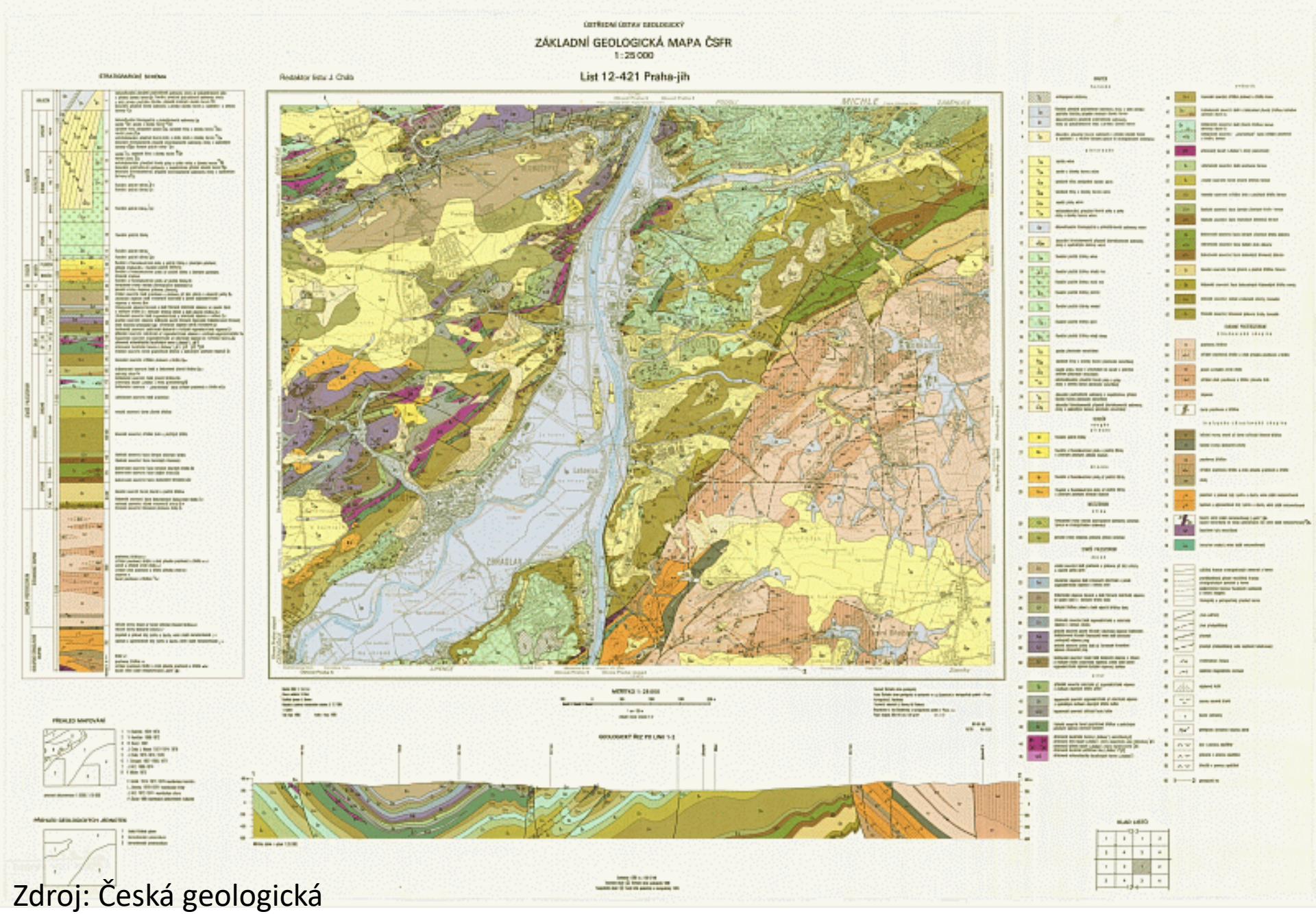




KVARTÉR - holocén: 1 - antropogenní uloženiny (navážky); **2** - fluviální písčité a hlinitopísčité sedimenty; **3** - deluviofluviální písčitohlinité sedimenty; **4** - slatiny a hnilokalové sedimenty;
holocén-pleistocén: 5 - deluviální hlinitopísčité až písčitohlinité sedimenty; **6** - deluviální hlinitokamenité sedimenty;
pleistocén: 7 - spraše a sprašové hlíny; **8** - naváté písky; **9** - fluviální písky a štěrkovité písky (mladý pleistocén) - würm; **10** - fluviální písky a štěrkovité písky (mladý pleistocén) - časný würm; **11** - fluviální písky a štěrkovité písky (střední pleistocén) riss; **12** - fluviální písky a štěrkovité písky (střední pleistocén) - mindel II; **13** - fluviální písky a štěrkovité písky (střední pleistocén) - mindel I; **14** - fluviální písky a štěrkovité písky (starý pleistocén) günz; **15** - fluviální písky a štěrkovité písky - nerozlišený pleistocén;
MEZOZOIKUM - křída: 16 - jizerské souvrství (střední turon), kaolinické pískovce, písčité slínovce a vápence, slínovce; **17** - bělohorské souvrství (spodní turon) - vápnité a písčité jílovce až slínovce, pískovce, slinité a jílovité prachovce místy glaukonitické, vápnité a písčité spongility; **18** - korycanské vrstvy (cenoman) - pískovce, ve svrchních polohách glaukonitické; **19** - perucké vrstvy (cenoman - alb?) - jílovce, prachovce, pískovce, místy slepence;
PALEOZOIKUM - mladší paleozoikum - permokarbon: 20 - černokostelecké souvrství- slepence, brekcie, pískovce, jílovce s polohami vápenců, rohovců, pelokarbonátů a slabé slojky uhlí (stefan-anton);
Středočeský pluton: 21 - porfyrická biotitická žula;
starší paleozoikum - ordovik: 22 - záhořanské souvrství (beroun) - tmavošedé prachovce; **23** - vinické souvrství (beroun)- černé jílovité a písčité břidlice; **24** - letenské souvrství (beroun)- droby, černé písčité břidlice; **25** - libeňské souvrství (beroun) - černé jílovité břidlice; **26** - libeňské souvrství (beroun) - facie řevnických křemenců; **27** - dobrotivské souvrství (dobrotiv) - facie černých jílovitých břidlic; **28** - dobrotivské souvrství (dobrotiv) - facie skaleckých křemenců, často s vložkami břidlic; **29** - šárecké souvrství (llanvirn) - černé břidlice, alterovaná bazální vulkanoklastika; **30** - klabavské souvrství (arenig) - jemné přeplavené tufy, tufitické břidlice (nosturnelliová facie); **31** - milínské souvrství (tremadok) - růžové a světle zelené silicity; **32** - třenické souvrství (tremadok) - křemenné pískovce, arkózy; **33** - andezit v bazálním ordoviku;
MLADŠÍ PROTEROZOIKUM - štěchovická skupina: 34 - břidlice; **35** - střídání břidlic a drob (převaha břidlic); **36** - střídání drob a břidlic (převaha drob); **37** - droby; **38** - slepence; **39** - diabas; **40** - fylitická břidlice, prachovce, droby, tufity, tufy;
PROTEROZOIKUM - kutnohorské krystalinikum: 41 - dvojslídné kouřimské ortoruly až migmatity; **42** - zjištěná hranice stratigrafických jednotek a hornin; **43** - předpokládaná hranice stratigrafických jednotek a hornin; **44** - litologický a petrografický přechod hornin; **45** - zlom ověřený; **46** - zlom předpokládaný, nebo nepřesně lokalizovaný; **47** - přesmyk ověřený; **48** - přesmyk předpokládaný, nebo nepřesně lokalizovaný; **49** - výplavový kužel; **50** - těžební stěna; **51** - prostor vytěžený z vody; **52** - přesypy navátých písků; **53** - roztroušené valouny; **54** - směr a sklon vrstev; **55** - důl opuštěný; **56** - fosilní zvětraliny; **57** - sesuvy a sesuvná území; **58** - pískovna v provozu; **59** - lom opuštěný, v provozu.

Zdroj: Česká geologická služba. Geovědní mapa. 1:50 000.

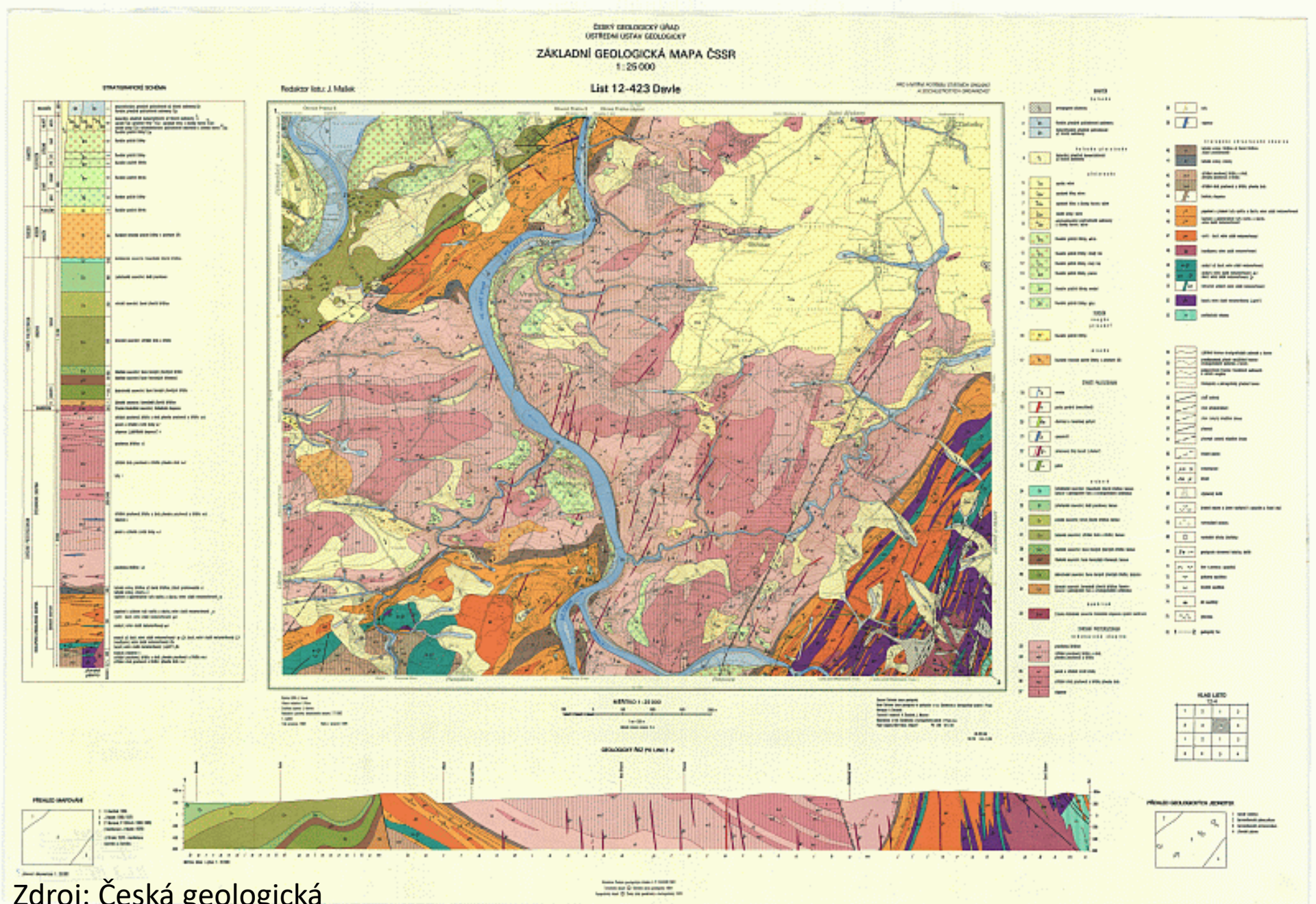
CC BY SA



Zdroj: Česká geologická služba. Geovědní mapa. 1:50 000.

List 12-421 Praha-jih (1:50000, přikrytá).

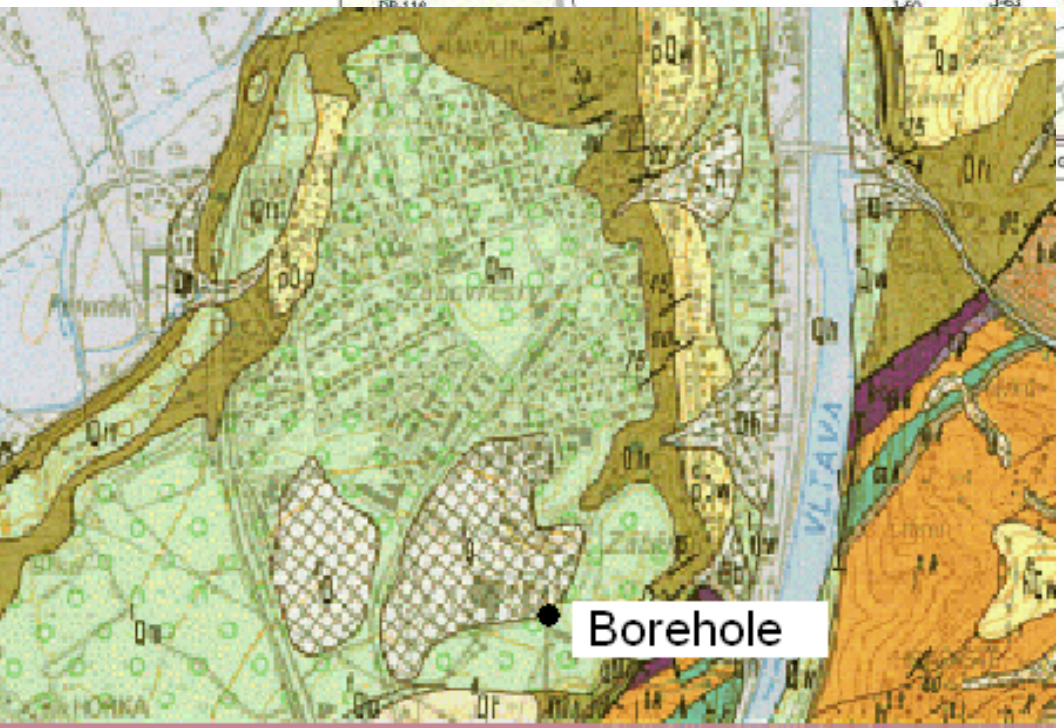
CC BY SA

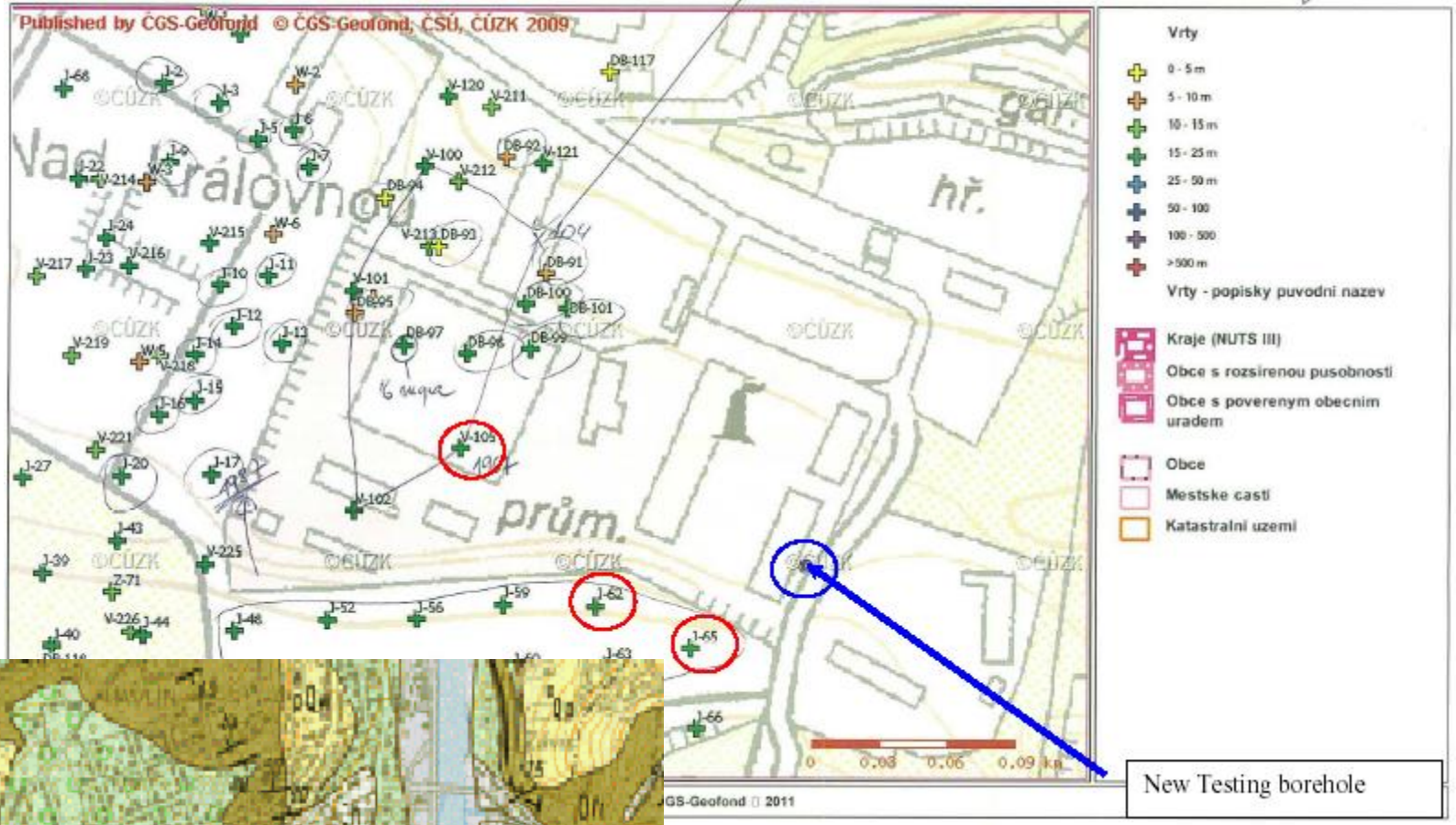


Zdroj: Česká geologická služba. Geovědní mapa. 1:50 000.

List 12-423 Davle (1:50000, přikrytá).

CC BY SA

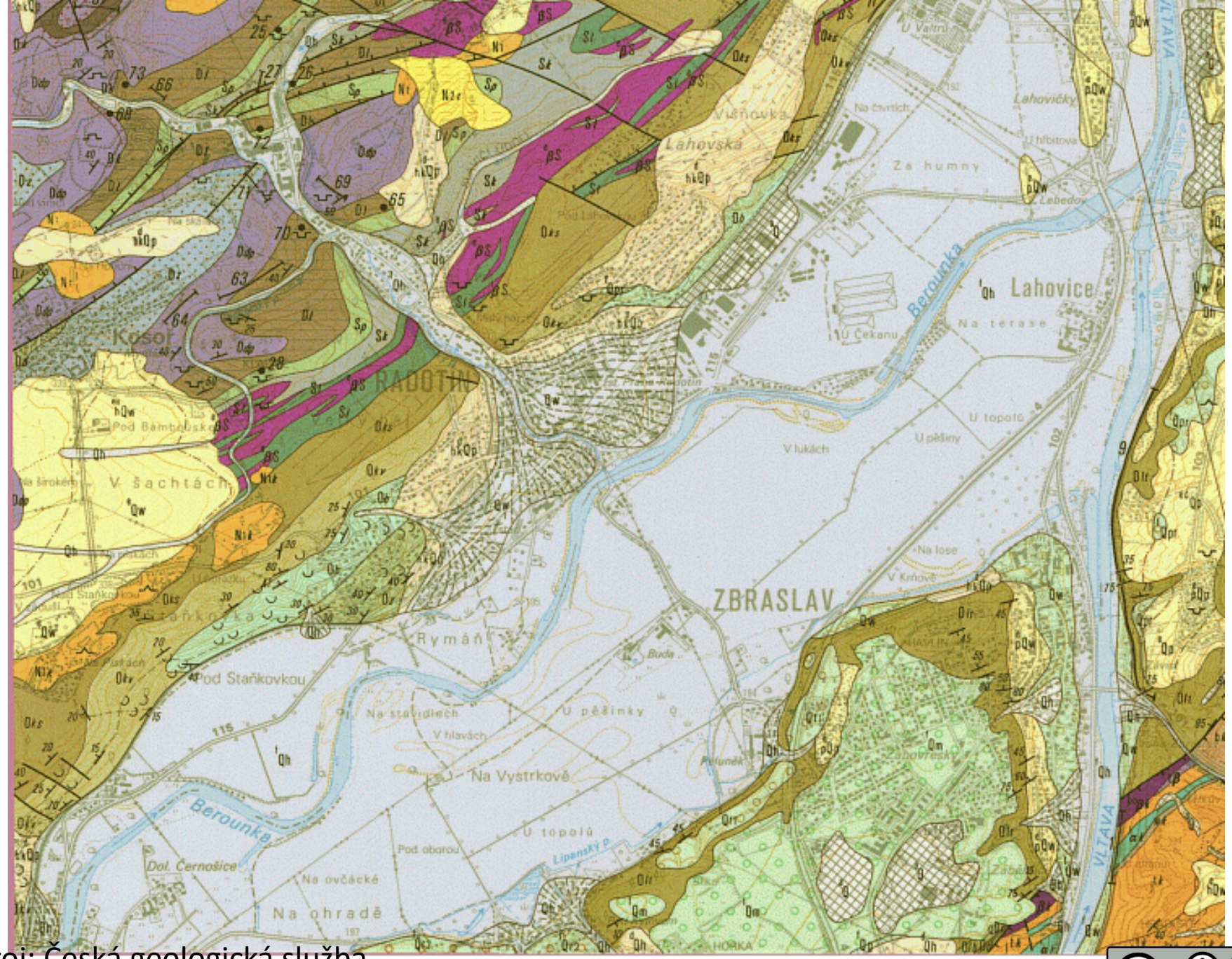




Zbraslav vrtná síť

Zdroj: Česká geologická služba. Geovědní mapa. 1:50 000.

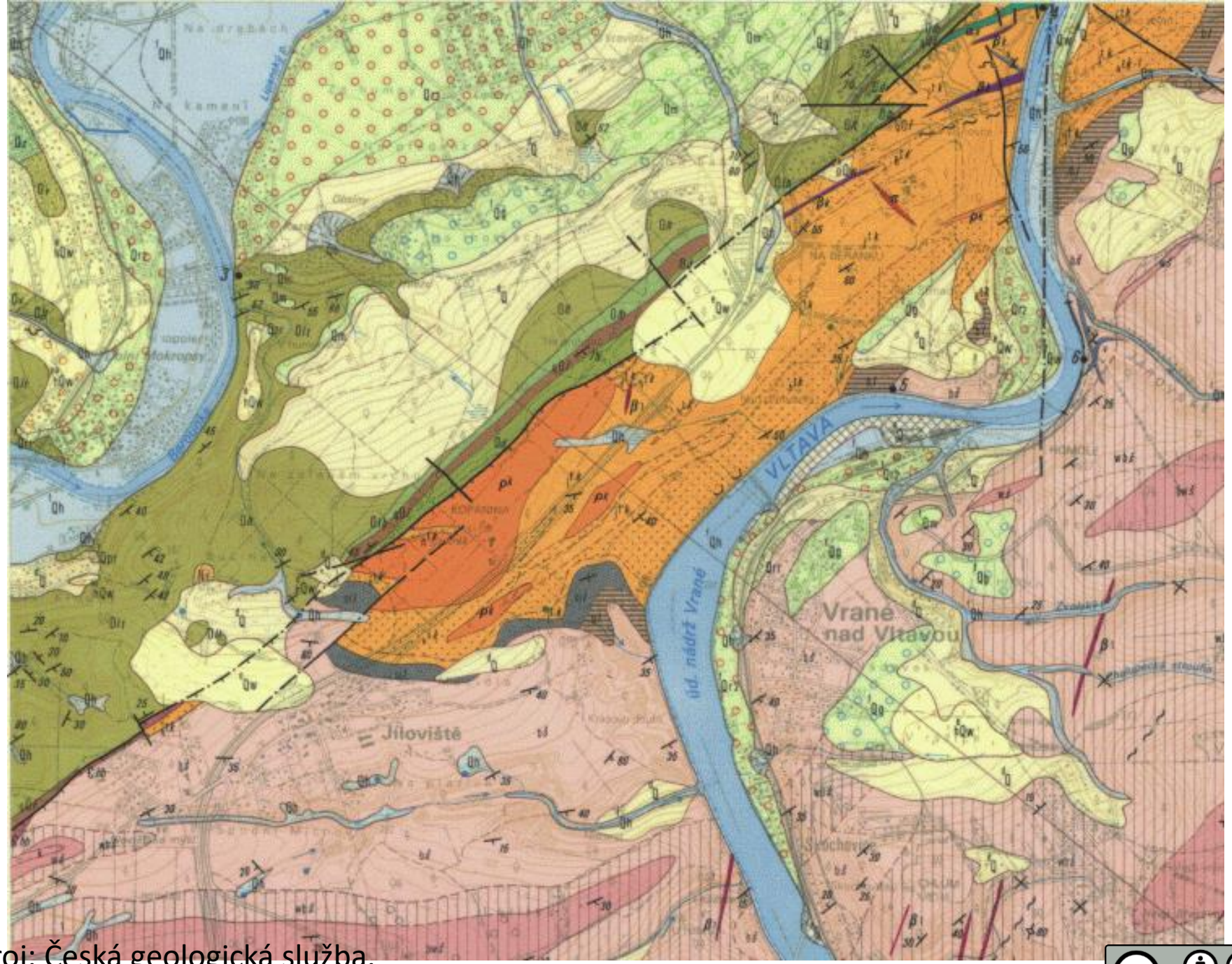
CC BY SA



Zdroj: Česká geologická služba.
Geovědní mapa, 1:50 000.

List 12-421 JZ kvadrant

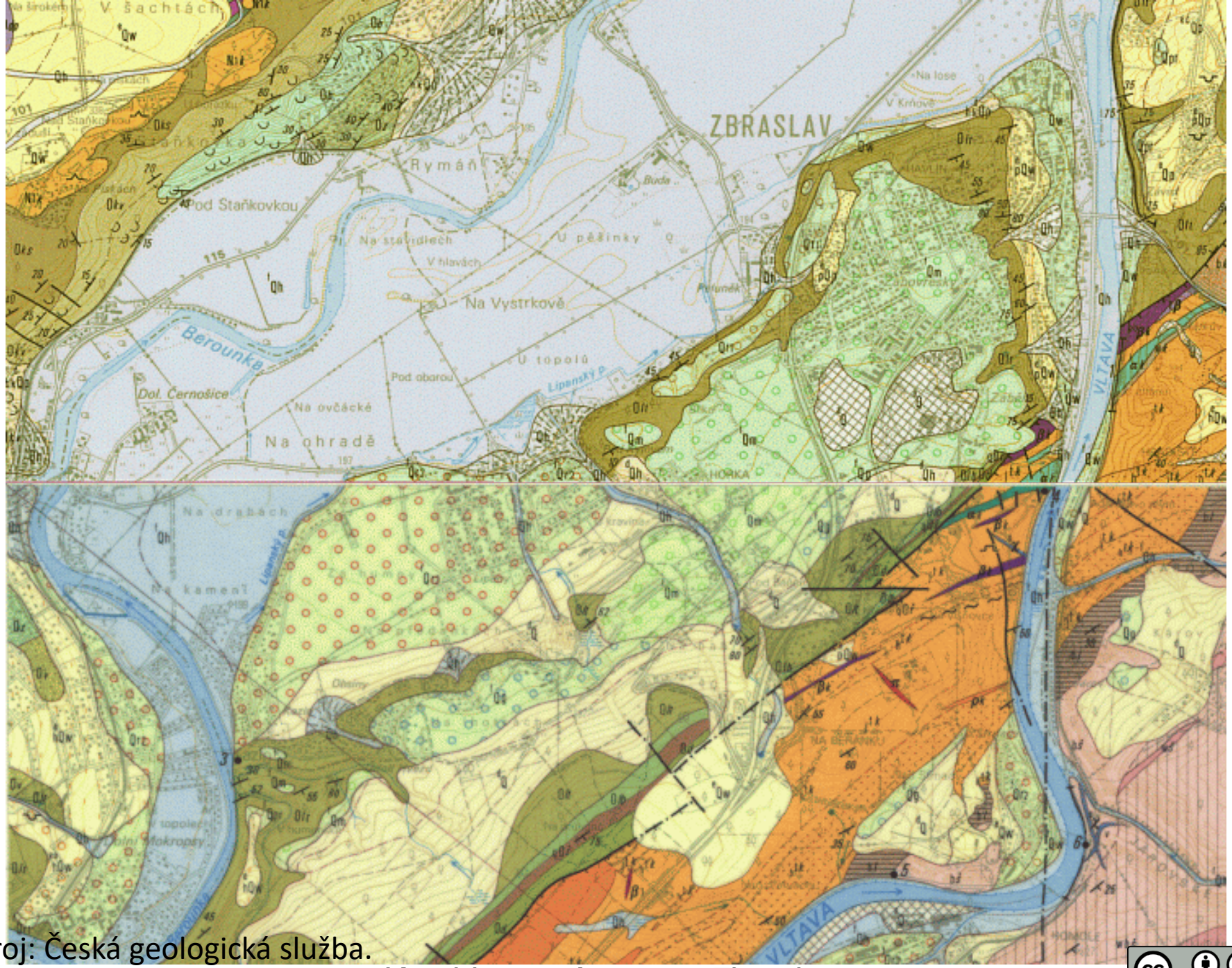
CC BY SA



Zdroj: Česká geologická služba.
Geovědní mapa, 1:50 000.

List 12-423 SZ kvadrant

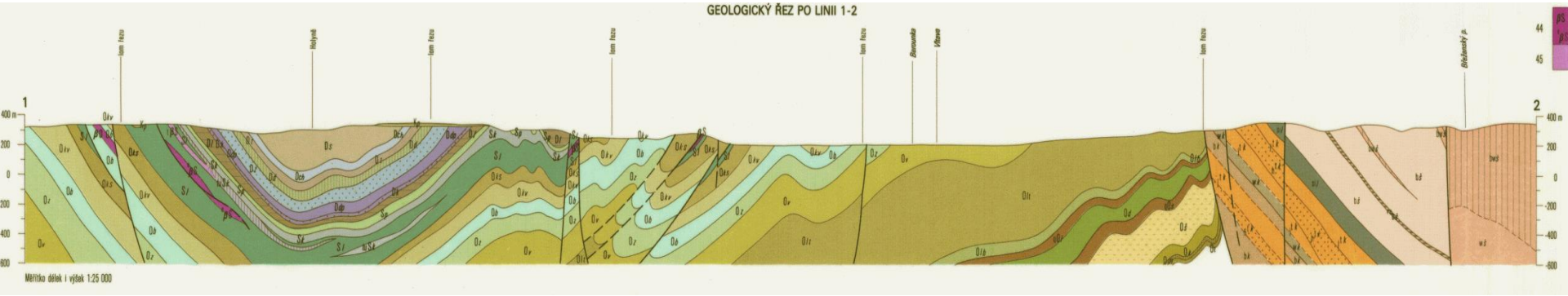
CC BY SA



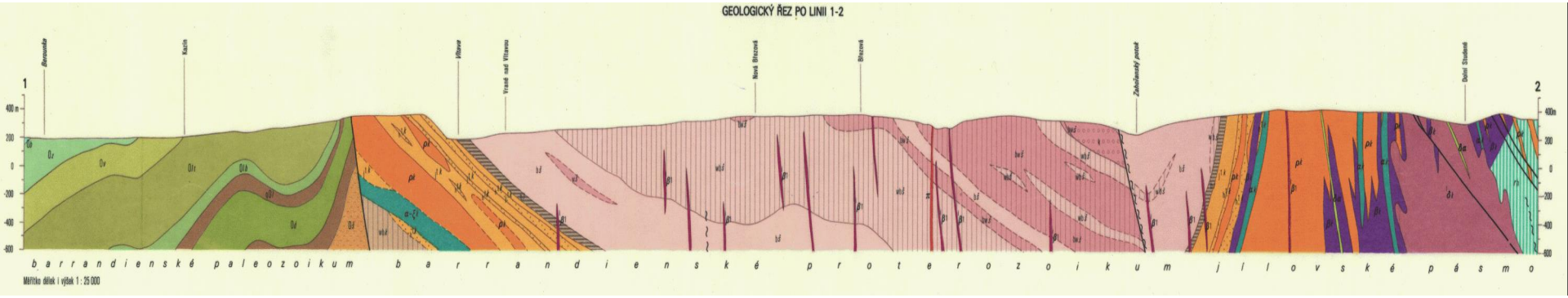
Zdroj: Česká geologická služba.
Geovědní mapa. 1:50 000.

Kombinovaná mapa - Zbraslav

CC BY SA



Příčný řez List 12-421



Příčný řez List 12-423

Zdroj: Česká geologická služba. Geovědní mapa. 1:50 000.

CC BY SA

Zdroje

- Červený, P. Matematická geografie v otázkách a odpovědích. Plzeň: ZČU v Plzni, 2000. 68 s. ISBN 80-7082-629-0.
- Čapek, R. Matematická geografie. Praha, 2. vydání, 2001. 83 s. ISBN 8024602237.
- Hartvich, F.: Cvičení z matematické geografie. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, 2008.
- Jakeš, P.: Planeta Země. Praha, Mladá fronta, 1984. 413 s.
- Čábelka, M.: Úvod do GPS, Praha: Akademie kosmických technologií oblast Galileo, GMES, 2008.

CC BY SA