

# Problematika těžby

Se zaměřením na důlní  
vody



# Vymezení pojmu

## Horní zákon č. 44/1988 Sb.

- Hlavním kritériem, kterým důlní vody lze charakterizovat, je důlní prostor (ať již povrchový nebo hlubinný), do kterého „všechny podzemní, povrchové a srážkové vody“ vnikly, a to bez ohledu na to, zda se tak stalo „průsakem nebo gravitací z nadloží, podloží nebo boku, nebo prostým vtékáním srážkové vody, a to až do jejího spojení s jinými stálými povrchovými nebo podzemními vodami“.
- Kvalita a množství vody se často liší při zahájení, průběhu a po skončení těžby ložiska - je potřebné vidět různé odborné aspekty, týkající se např. lokalizace a charakteru důlních děl, jejich odvodňovacího účinku a vlivu na změny hydrogeologických a hydrochemických poměrů ložiskového území

# Vymezení pojmu

- Legislativa – střety zájmů - báňské, vodohospodářské, odpadové i environmentální
- **Vodní zákon č. 254/2001 Sb.**
  - Dle vodního zákona č. 254/2001 Sb. jsou důlní vody pro účel tohoto zákona považovány za povrchové nebo podzemní vody a vodní zákon se na ně vztahuje, pokud horní zákon nestanoví jinak. Mohou být vypouštěny do povrchových či podzemních vod, pokud splní podmínky stanovené vodoprávním úřadem.

# Charakteristika důlních vod - analýza

- pH, teplota, zákal, rozpuštěný kyslík (mg/l)
- Eh (mV)
- Konduktivita ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
- TDS (mg/l)
- hlavní kationty ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Si}^{4+}$ , Fe,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ )
- hlavní anionty ( $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{NO}_3^{-}$ )
- (sloučeniny N, kyanidy, TOC, DOC, těžké kovy a metaloidy, bakterie,  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ )

# Změřené pH a klasifikace důlních vod

<b>Název důlních vod</b>	<b>pH</b>
Zásadité	nad 7
Neutrální	7
slabě kyselé	5 – 7
mírně kyselé	3 – 5
velmi kyselé	menší než 3



Multimetr- WTW Multi340i/SET



XRF



ICP-MS



Elementar vario TOC CUBE



Atomový absorpční spektrometr  
Agilent Technologies 200 Series AA, 240FS AA

# Stanovení obsahu iontů ve vodách

## Stanovení $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ a $\text{Mg}^{2+}$

- Atomovou absorpční spektrometrií (AAS)

## Stanovení $\text{Cl}^-$ dle Mohra

- Vzorek vody +  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  -> titrace odměrným roztokem  $\text{AgNO}_3$ . V bodě ekvivalence se žluté zbarvení změní na hnědé, což je chvíle, kdy zreaguje všechen  $\text{Cl}^-$ .

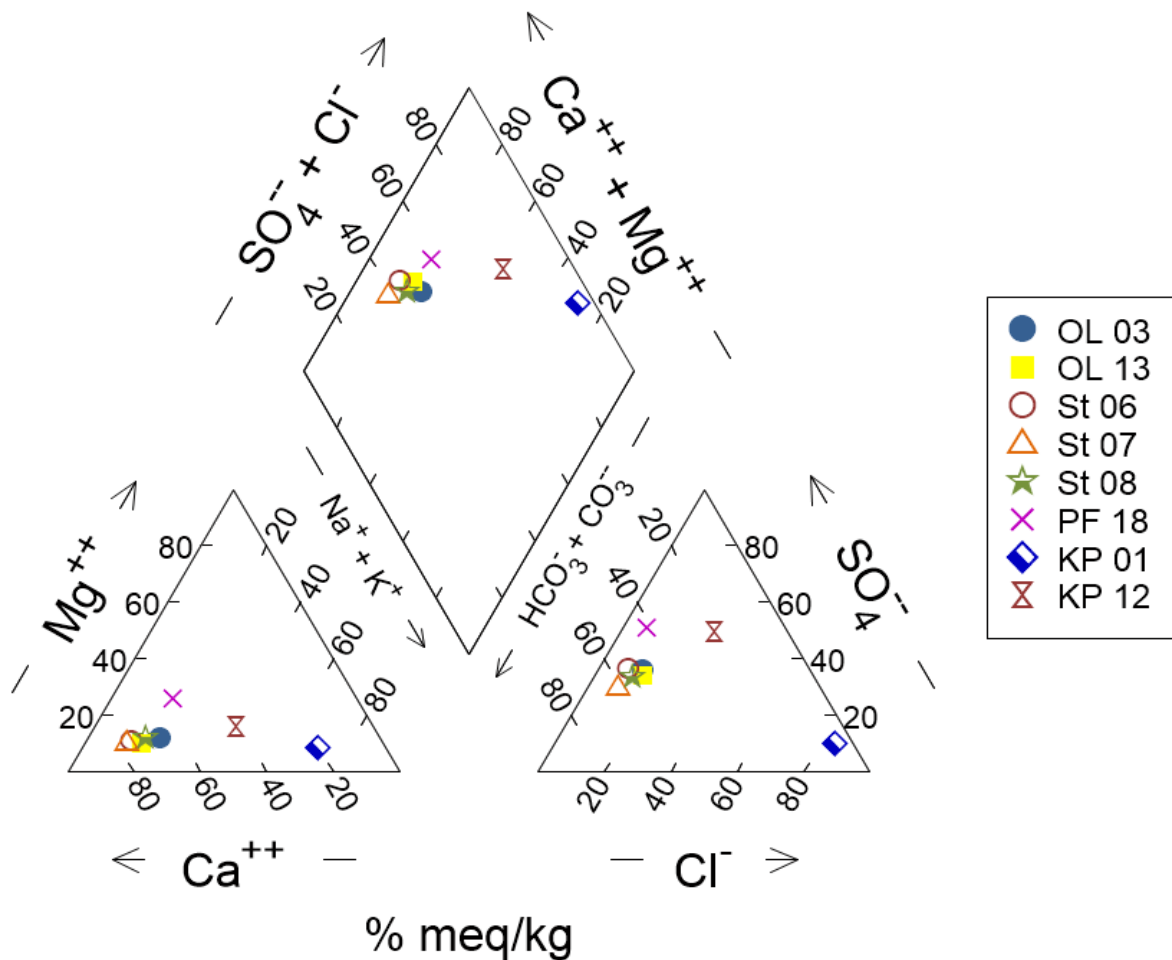
## Stanovení $(\text{HCO}_3)^-$ Grannovou titrací

- DO 25 ml vzorku vody přidáváme 0,01M HCl do chvíle, kdy dosáhneme bodu ekvivalence, tedy do doby, kdy zreaguje všechen přítomný  $(\text{HCO}_3)^-$ . Množství HCl v bodě ekvivalence (cca pH=4,3) nám udává množství  $(\text{HCO}_3)^-$  ve vzorku.

## Stanovení $(\text{SO}_4)^{2-}$

- Do 100 ml vzorku vody přidáno HCl. Po okyselení byl vzorek umístěn na zdroj tepla a přidán  $\text{BaCl}_2$ . Přidáním  $\text{BaCl}_2$  se sírany za horka srazí a vytvoří sraženinu  $\text{BaSO}_4$ . Sraženina se poté přefiltruje přes hustý filtr. Zbylá sraženina se ve zváženém žíhacím kelímku vyžihá při 900 °C. Po vychladnutí se zváží žíhací kelímek se sraženinou a rozdíl těchto hmotností udává hmotnost síranů. Z rozdílu hmotností se vypočítá obsah síranů.

# Na základě stanovených iontů se voda klasifikuje do hydrochemických typů





# Typy důlních vod dle původu

- **Důlní vody freaticko – atmosférického typu**
  - Největší podíl tvoří vody infiltrované z povrchu, srážkové vody a vody povrchových recipientů. V menším zastoupení jsou to pak vody ložiskové a provozní
  - Celková mineralizace: 300 – 1 000 mg/l
  - Hydrochemický typ: smíšený Ca – Mg – HCO<sub>3</sub> – SO<sub>4</sub>.
  - Typický výskyt: lomy nerudných surovin, štěrkovny a pískovny, jíloviště a kaoliniště, mělké železnorudné doly, rašeliniště
  - Charakteristika: ložiskové vody a produkty zvětrávání hornin neovlivňují hydrogeochemický typ základního zdroje směsných vod.

# Typy důlních vod dle původu

- **Důlní vody alterované freaticko – atmosférického typu**
  - Přes polovinu jsou obsaženy infiltrované vody z povrchu, provozní vody již mají větší zastoupení, nejmenší podíl tvoří vody ložiskové
  - Celková mineralizace: 300 – 1 200 mg/l
  - Hydrochemický typ: smíšený Ca – HCO<sub>3</sub> – SO<sub>4</sub> s podílem specifických iontů, případně se specifickými fyzikálně – sensorickými vlastnostmi
  - Typický výskyt: sádrovcové lomy, doly polymetalických rud, lomy a mělké doly uhelných ložisek
  - Charakteristika: ložiskové vody a produkty zvětrávání hornin **ovlivňují hydrochemický typ základního zdroje směsných vod.**

# Typy důlních vod dle původu

- **Důlní vody provozně technologického typu**
  - Vody provozní jsou zastoupeny v největším, téměř tříčtvrtečním, množství srážkové vody a vody z povrchu jsou obsaženy ve větší míře než vody ložiskové.
  - Celková mineralizace: 300 – 1 000 mg/l
  - Hydrochemický typ: smíšený Ca – Mg – HCO<sub>3</sub> – SO<sub>4</sub>, odpovídající hydrochemickému typu používaných provozních vod
  - Typický výskyt: velmi nízko zvodnělé hlubinné doly polymetalických rud, uhelných ložisek a jiných nerudných surovin, štoly a povrchové doly nad úrovní místní erozní báze.
  - Charakteristika: provozní vody tvoří dominantní podíl směsných důlních vod.

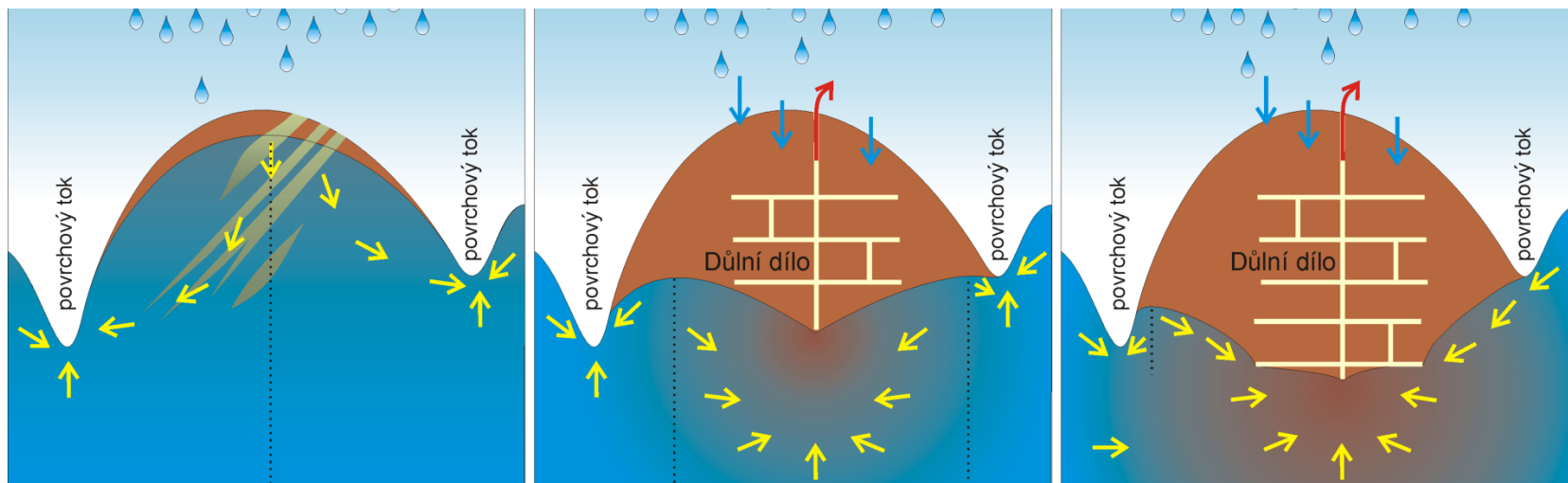
# Typy důlních vod dle původu

- **Důlní vody ložiskového typu**

- Největším podílem jsou zastoupeny vody ložiskové, v menší míře se pak vyskytují vody infiltrované z povrchu.
- Celková mineralizace: 1 000 – 10 000 mg.l<sup>-1</sup>
- Hydrochemický typ: základní výrazný Na – Cl – SO<sub>4</sub> s podílem specifických iontů, případně se specifickými fyzikálně – sensorickými vlastnostmi
- Typický výskyt: hlubinné doly polymetalických rud, hlubinné doly uhelných ložisek, těžba evaporitů
- Charakteristika: produkty zvětrávání hornin, ložiskové a mimoložiskové vody utváří hydrochemický typ směsných vod
- Důlní vody jsou charakteristické svým pH. Nízké pH a zvýšenou aciditu důlních vod způsobuje především oxidace téměř všudypřítomných sulfidů, nízké pH ale není podmínkou!

# Vliv HG podmínek na množství a charakter důlních vod

- Vztah ložiska k podzemním a povrchovým vodám a atmosférickým srážkám
- Množství čerpaných důlních vod závisí na mnoha faktorech, jedním z nich je poloha ložiska vůči místní erozní základně



# Vliv HG podmínek na množství a charakter důlních vod

- Petrografické a hydrogeologické vlastnosti hornin v okolí ložiska

- velmi slabá ( $k_f < 10^{-8}$  m/s)
- slabá ( $k_f = 10^{-8} - 10^{-6}$  m/s)
- dobrá ( $k_f = 10^{-6} - 10^{-4}$  m/s)
- velmi dobrá ( $k_f > 10^{-4}$  m/s)

- Tektonické poměry v okolí ložiska ve vztahu k podzemním vodám
- Inženýrsko-geologické vlastnosti hornin ložiska a okolí ve vztahu k vodám
  - Horniny jsou stabilní X rozbředavé/bobtnavé X

# Vliv HG podmínek na množství a charakter důlních vod

Chemická charakteristika	Referenční zkušební metoda	XA1	XA2	XA3
<b>Podzemní voda</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	EN 196-2	≥ 200 a ≤ 600	> 600 a ≤ 3 000	> 3 000 a ≤ 6 000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 a ≥ 5,5	< 5,5 a ≥ 4,5	< 4,5 a ≥ 4,5
CO <sub>2</sub> [mg/l] agresivní	EN 13577	≥ 15 a ≤ 40	> 40 a ≤ 100	> 100 až do nasycení
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l]	ISO 7150-1	≥ 15 a ≤ 30	> 30 a ≤ 60	> 60 a ≤ 100
Mg <sup>2+</sup>	ISO 7980	≥ 300 a ≤ 1 000	> 1 000 a ≤ 3 000	> 3 000 až do nasycení
<b>Rostlá zemina</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/kg] <sup>a)</sup>	EN 196-2 <sup>b)</sup>	≥ 2 000 a ≤ 3 000 <sup>c)</sup>	> 3 000 <sup>c)</sup> a ≤ 12 000	> 12 000 a ≤ 24 000
kyselost podle Baumann Gully [ml/kg]	ČSN EN 16502	> 200	v praxi se nepoužívá	

h

# Chemické složení důlních vod dle způsobu dobývání

- **Vody z hlubinných šachet**

- bývají neutrální nebo slabě alkalické. U hlubinných uhelných (především hnědouhelných) šachet jsou důlní vody často kyselé, mají vysoký obsah síranů, iontů železa a dalších rozpuštěných látek.

- **Vody z povrchových lomů**

- vykazují nízké pH jako důsledek vyluhování a oxidace přítomných složek

Důlní vody čerpané z povrchových nebo hlubinných dolů jsou zatíženy zvýšenými obsahy iontů  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , RL, NL a kyselým pH, především jako důsledek oxidace sulfidů železa (pyrit, markazit) a přechodu jejich rozpustných složek do roztoku. Mezi nejhojnější typ důlních vod patří kyselé důlní vody, které mají nízkou hodnotu pH a vysoké obsahy železa, zinku, mědi, olova a jiných kovů. Mají nedostatek organických látek a velmi silné korozivní účinky, které rozpouštějí i strojní zařízení a po výtoku z dolu nepříznivě okyselují povrchové vody



# Vliv těžby na povrchové a podzemní vody

- Změna hydrologického režimu
- Propojení zvodnělých kolektorů
- Kontaminace podzemních vod
- Jaký další vliv?

# Další negativní/pozitivní dopady těžby na krajinu?



Kostel sv. Petra z Alkantary



Halda Ema

# Může mít těžba i kladný vliv na ŽP?



**Vodní nádrž Kozinec**



**Jezero Milada (Chabařovické jezero)**



# Turistické lákadla spojená s bývalou těžbou



Lom Velká Amerika

# Důlní vody - mikrobiologická aktivita

- Zdroje energie (heterotrofní x autotrofní)
- Teplota (psychrofilní x mesofilní x termofilní)
- pH (ideální 5 - 8,5 – výjimečně žijí i v 1,5 – acidofilní bakterie - Acidithiobacillus, alkalické v 9-10)
- Kyslík (aerobní x anaerobní (redukce síranů na sulfidy) x fakultativní x mikroaerofilní)

- Bakterie mají účinek
- Redukují  $\text{Fe}^{3+}$  -> rozpouštění goethitu, jarositu,  $\text{Fe}^{3+}$  arzeničnanů atd..(skorodit)
- Jiné bakterie oxidují  $\text{Fe}^{2+}$  a sráží  $\text{FeOH}$ , některé sráží ferrihydrit, schwertmannit, hydrozinkit, ...
- některé produkují kyslík, některé redukují síran na sulfid, některé akumulují kovy ve svém těle (tvorí negativně nabitě sacharidy tvořící biofilmy)
- odumřelé organismy na dně bazénů navíc vytváří redukční podmínky

# Procesy v důlních vodách

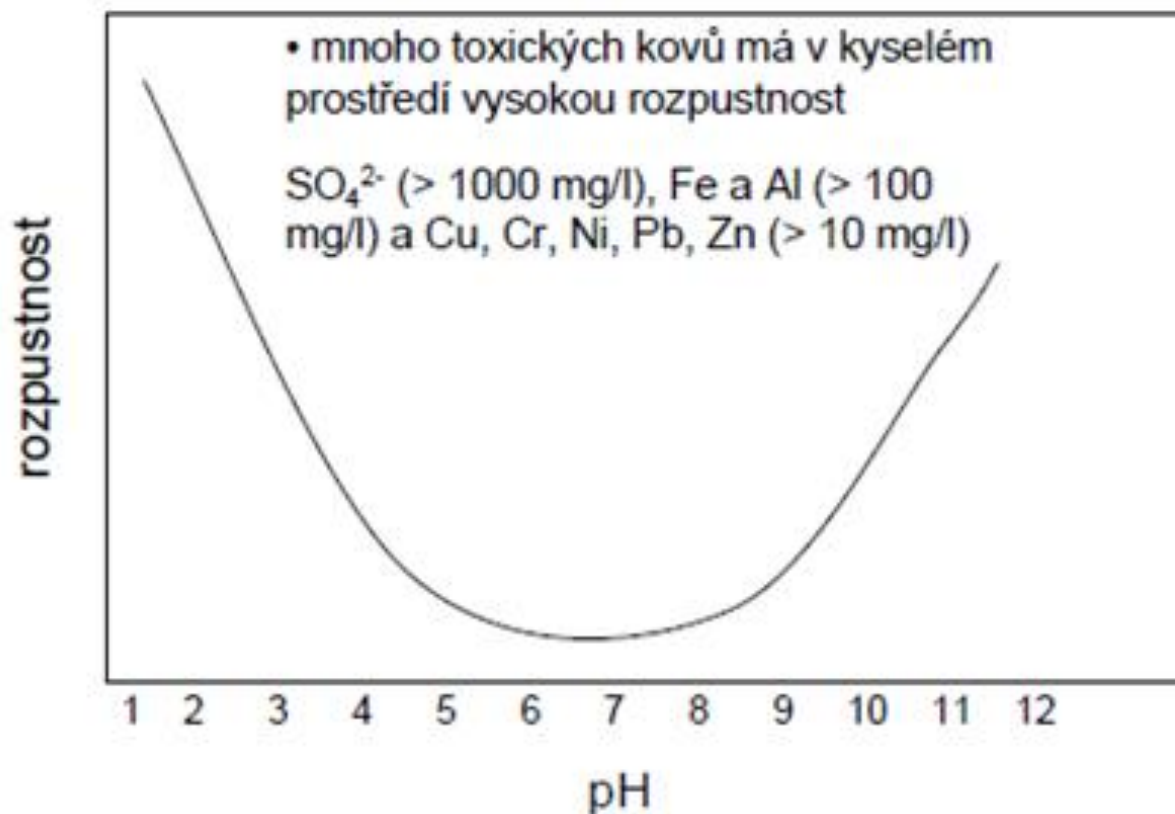
- odstraňování rozpuštěných minoritních prvků během srážení minerálů
- vlivem adsorbce a substituce např. substituce velkých iontů (Al, Cr, Ga, V, Mn, Co, Pb, Zn, Ni, Cd) za Fe v goethitu nebo (Cu, Zn, Pb, As, K, Na, Ca) v jarositu

# ADSORBCE A DESORBCE

- nahromadění rozpuštěného iontu na povrchu pevné látky - (ad)sorbentu
- organický nebo anorganický sorbent s pozitivním nebo negativním povrchovým nábojem přitahující kationty nebo anionty
- obecné pravidlo: sorbenty adsorbují více aniontů při nižším pH a kationty při neutrálním pH
- při nízkém pH se nejlépe adsorbuje As a Mo
- při neutrálním pH se nejlépe adsorbuje Zn, Cd, Pb a Ni
- sorbce závisí na (1) pH roztoku, (2) přítomnosti komplexotvorných ligandů, (3) koncentraci rozpuštěného iontu a (4) teplotě



# Rozpustnost toxických prvků v závislosti na pH



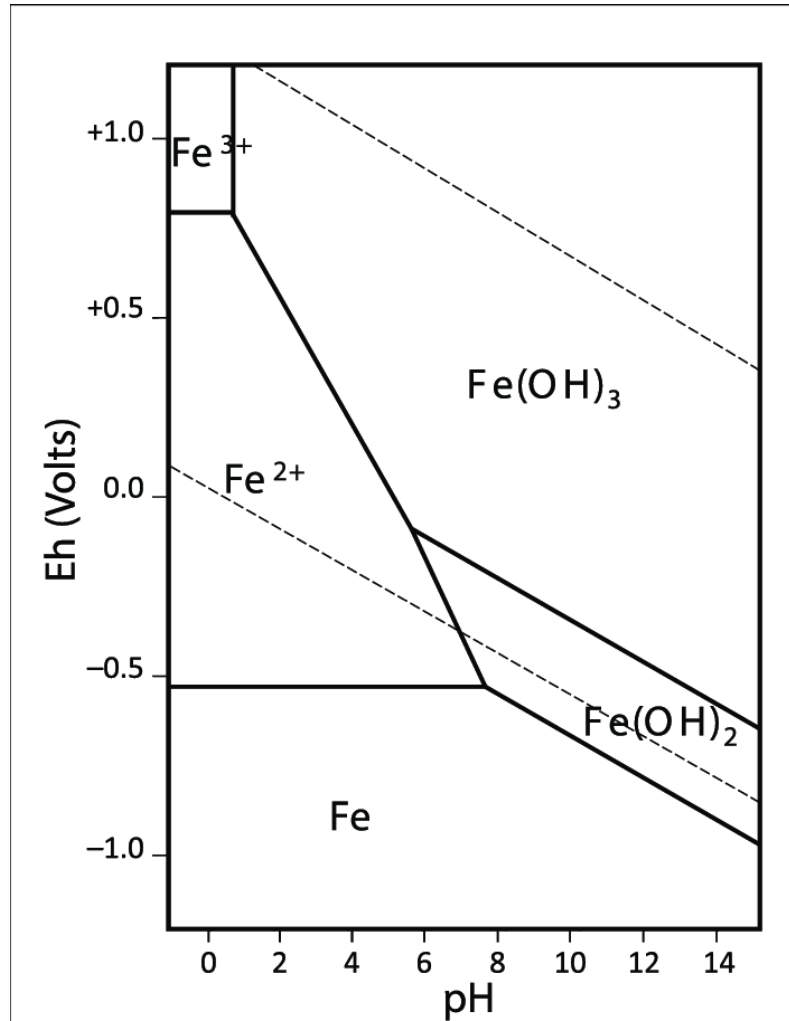
- při nízkém pH se nejlépe adsorbuje As a Mo
- při neutrálním pH se nejlépe adsorbuje Zn, Cd, Pb a Ni

# Eh-pH podmínky

- Oxidačně-redukční potenciál (Eh) ovlivňuje mobilitu prvků, které se vyskytují ve více oxidačních stavech
- kovy (Cr, Mo, Se, V, U) jsou více mobilní v oxidovaném stavu (např.  $U^{6+}$ ,  $Cr^{6+}$ ) než v redukovaném ( $U^{4+}$ ,  $Cr^{3+}$ )
- metaloid As je více mobilní v redukovaném stavu ( $As^{3+}$ ) než v oxidovaném stavu ( $As^{5+}$ )
- vytváří se Eh-pH diagramy

- Eh-pH podmínky
- nejvyšší koncentrace rozpuštěných kovů je obvykle v oxidačních prostředích s nízkým pH (vysoká rozpustnost sekundárních minerálů, slabá adsorbce)
- neutralizace (míšení vod, interakce s alkalickým materiálem) vede k sorbci kovů na nově vzniklé sekundární minerály a sediment
- neutrální až alkalické vody však mohou obsahovat vysoké koncentrace kovů (Cd, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Se, U, Zn) a metaloidů (As, Sb)

# Eh-pH diagram

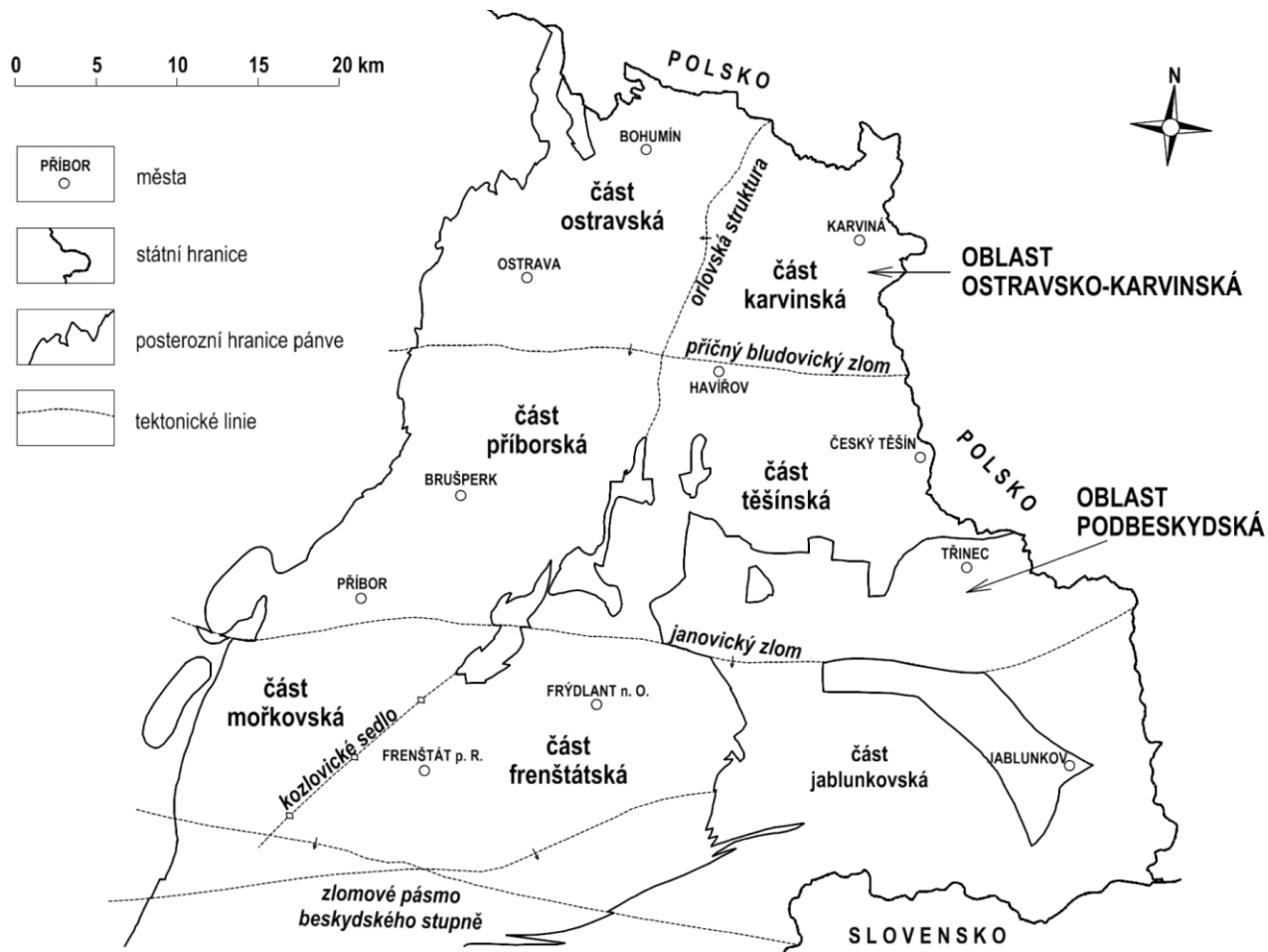


# Nyní přejdeme na problematiku důlních vod v oblasti OKD

- Úvod do Ostravsko-karvinské oblasti
- Pustíme si krátký dokument:

[https://www.youtube.com/watch?v=XCJNfGxSSY0&t=554s&ab\\_channel=PSANEC](https://www.youtube.com/watch?v=XCJNfGxSSY0&t=554s&ab_channel=PSANEC)

# Hornoslezská uhelná pánev



	litostratigrafické jednotky		význačné uhlé sloje a horizonty	
stephan		arkóza kwaczalská		
westphal	jen na polském území		w . libiaskie	
			w . laziskie	
			w . orzeskie	
			vrstvy doubravské	sloj 962
namur	souvřství karvinské	vrstvy sušské	sloj 804	
		vrstvy sedlové	sloj 747	← Hubert
		vrstvy porubské	sloj 605	
		vrstvy jaklovecké	sloj 504	← Prokop
		vrstvy hrušovské	sloj 499	← Gaebler
	souvřství ostravské	vrstvy petřkovické	sloj 403	
		vrstvy hrušovské	sloj 385	← Barbora
		vrstvy jaklovecké	sloj 301	
		vrstvy hrušovské	sloj 255	← Enna
		vrstvy petřkovické	sloj 102	← Františka
visé	hradecko kyjovické souvřství	vrstvy petřkovické	sloj 099	← Nanetta
		vrstvy kyjovické	sloj 009	← Štúr

# Typy důlních vod v rámci OKD

## Vody kvartérních zvodní (Q)

- Fluviální, glaciofluviální a glacialakustrinní sedimenty
- Průlinové kolektory – nezpevněné písky a štěrkopísky
- Voda atmosférického původu, mělkého oběhu, vadózního původu
- Oxidační prostředí
- Typ Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>
- Dotace do důlních děl pouze v místech vycházejícího karbonu na povrch („karbonské okno“)

## Vody zvodní spodnobádenského pokryvu karbonu - vrstvy skawińské (Tb)

- Vody svrchního zvodněného písčitého komplexu pelitické facie (Tb1)
- Vody spodního zvodněného písčitého komplexu pelitické facie (Tb2)
  - Fosilní mořská voda
  - Stagnující systém s napjatou hladinou, omezená hydraulická spojitost kolektorů
  - Mocnost pouze několik metrů, vydatnost 0,3 l/s, koef. filtrace 10<sup>-8</sup> až 10<sup>-7</sup> m/s
  - Typ Na-Cl, zvýšený obsah I a Br, proplyněné CH<sub>4</sub>



# Typy důlních vod v rámci OKD

## Vody ze štěrkopísčitých a písčitých bazálních klastik spodního bádenu („detrit“) – vrstvy děbowiecké (Tbk)

- Vyvinuty v hlubokých depresích paleoreliéfu – výmoly (hlavní dětmarovický výmol a hlavní bludovický výmol)
- Fossilní mořské vody, napjatá hladina
- Mocnost 150 (horní úsek) – 50 m
- Čerpání->proudění->porušení původní zonálnosti detritu
- Vody v obou výmolech sváděny do VJŽ a VJJ
- Hydraulická vodivost  $10^{-8}$  až  $10^{-5}$  m/s
- V Z části nižší mineralizace (typ Na-HCO<sub>3</sub>, proplyněno CO<sub>2</sub>), v osní a V části výmolů vyšší mineralizace (typ Na-Cl, proplyněno CH<sub>4</sub>)

# Typy důlních vod v rámci OKD

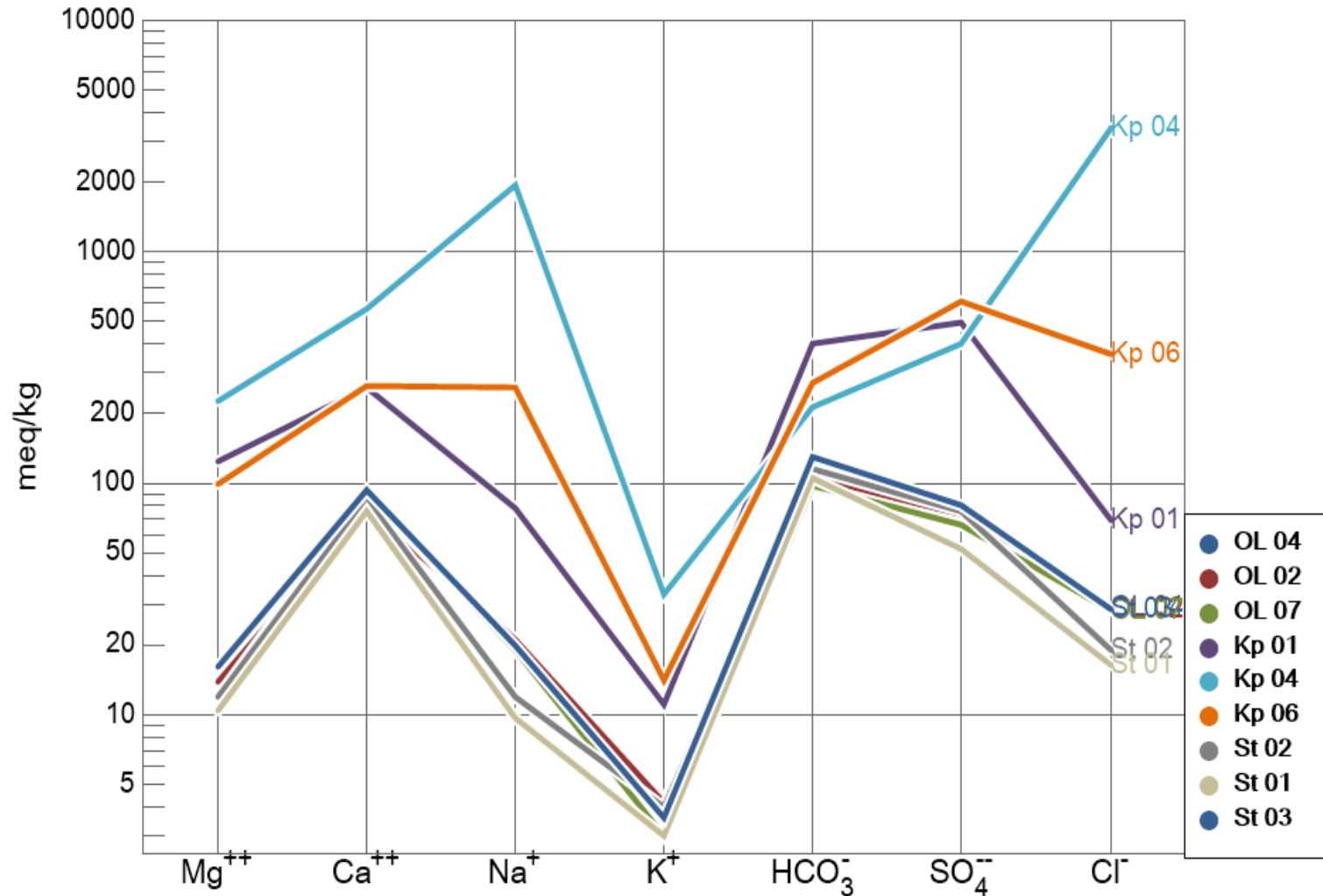
## Vody puklinových systémů zvětralinového pláště karbonu (C1)

- koeficient filtrace  $10^{-8}$  až  $10^{-6}$  m/s
- Hydrochemické složení stejné jako u bazálních klastik
- Směsné vody

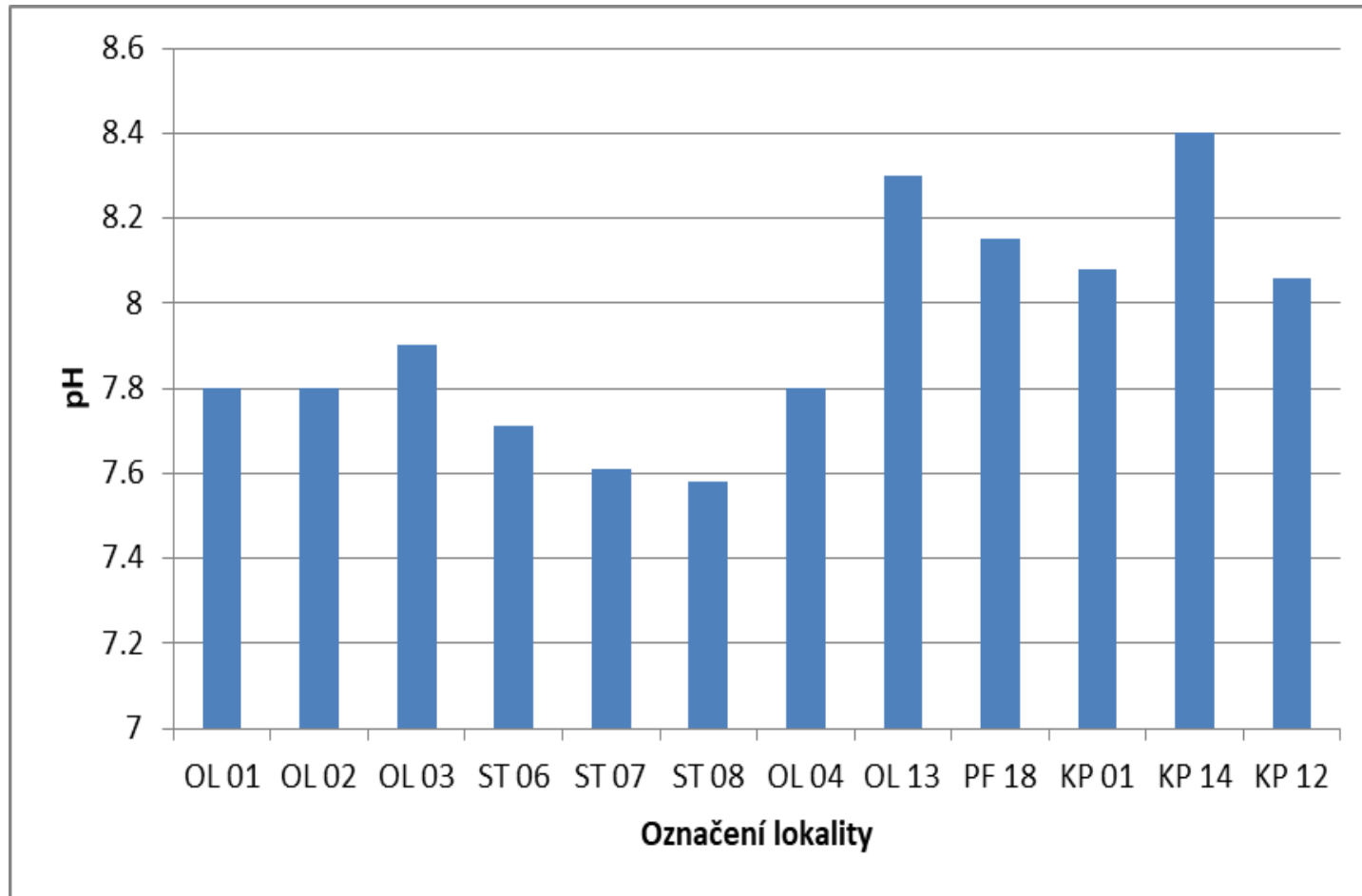
## Vody puklinových a zlomových systémů svrchního karbonu a hlubšího podloží produktivních pánevních sedimentů (C)

- Jedná se o Na-Cl vody s mineralizací přes 100 g/l
- Vysoká teplota – homotermy
- Vzácně v důlních prostorech

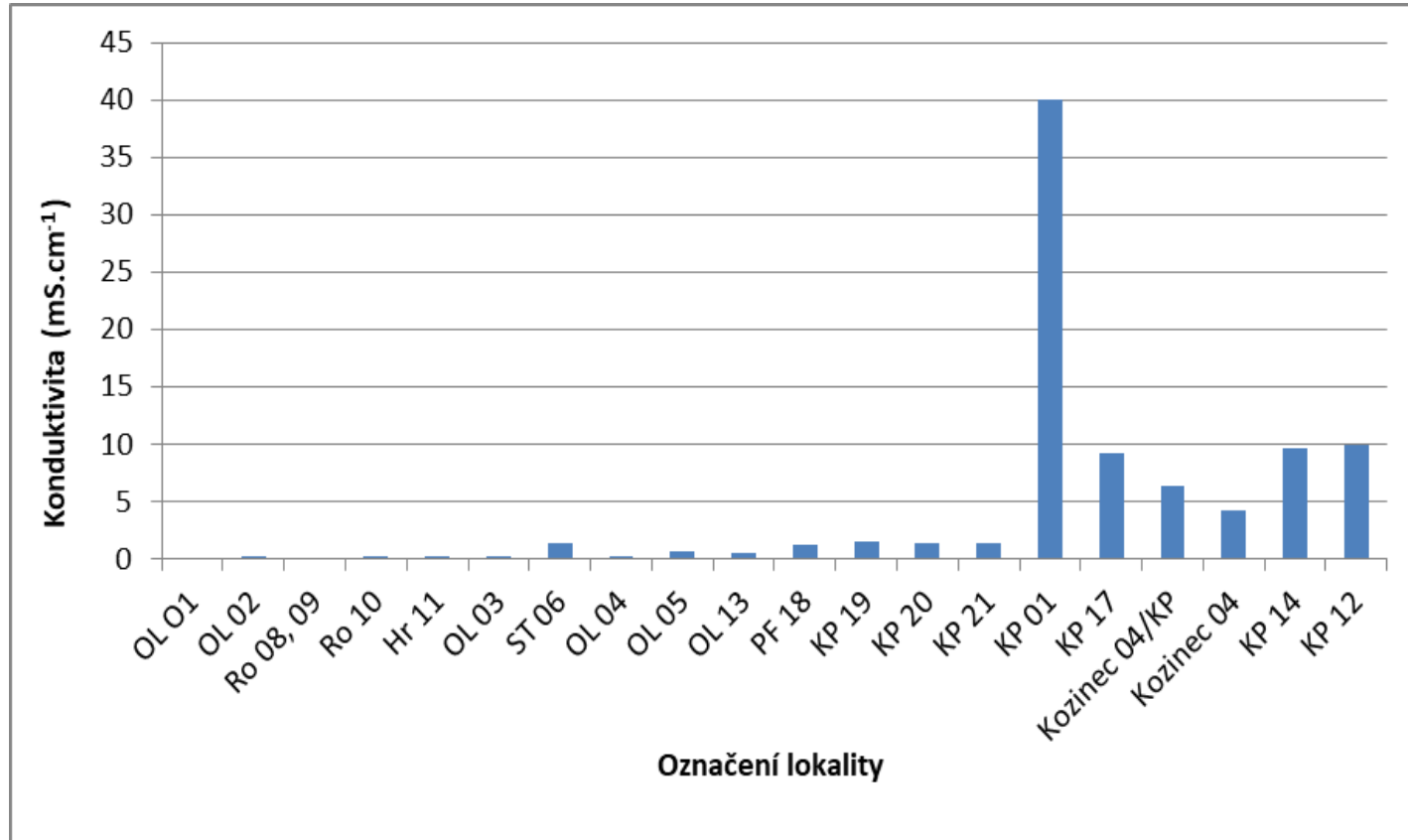
# Hydrochemické typy vod v HP



# pH řek v oblasti HP



# Konduktivita



# Shrnutí

- Každý zvlášť si vyplní doplňovačku a potom mi řeknete odpovědi 😊