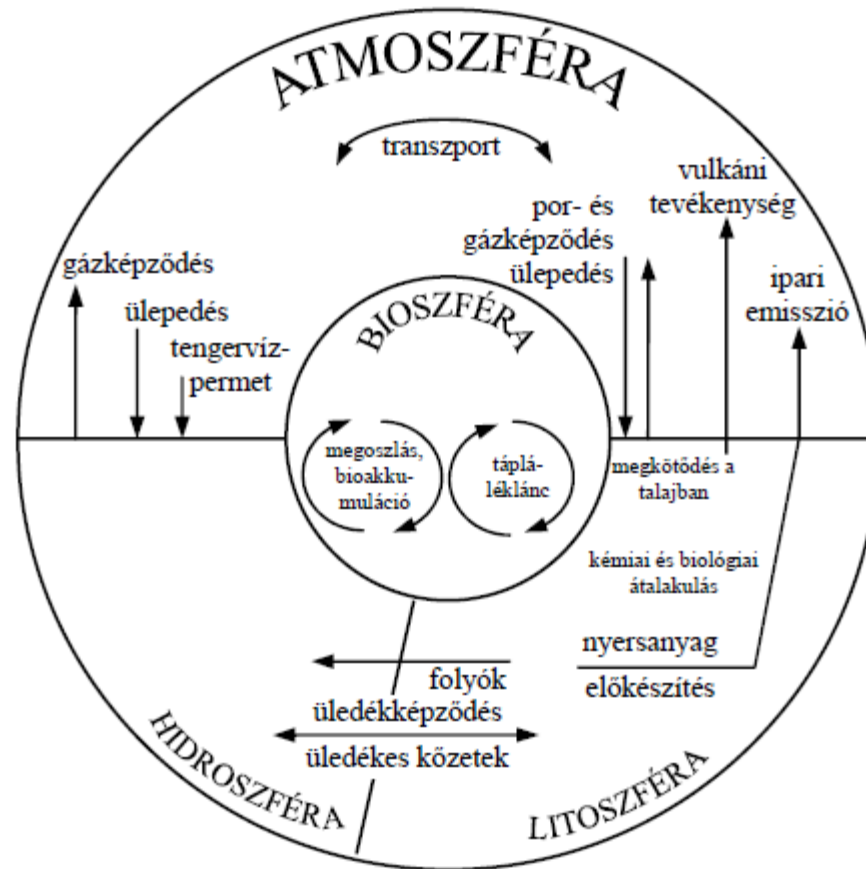


A fémek biogeokémiai körforgása

Biogeokémiai körforgás

- Egy elem **biogeokémiai körforgásán** azt értjük, hogy az adott elem milyen mennyiségben /koncentrációban/ fordul elő az egyes **rezervoárookban**, (atmoszféra, hidroszféra, litoszféra és bioszféra) és milyen mértékű az egyes rezervoárok közötti anyagtranszport.
- Ezen kívül bemutatja azokat a környezeti változásokat, amelyeket a természeti- vagy **antropogén** anyagtranszport hoz létre.
- Pl. ózonlyuk, általános felmelegedés, háttér szennyezés növekedése (perzisztens anyagok!) stb.

A globális fémkörforgás meghatározó anyagáramai

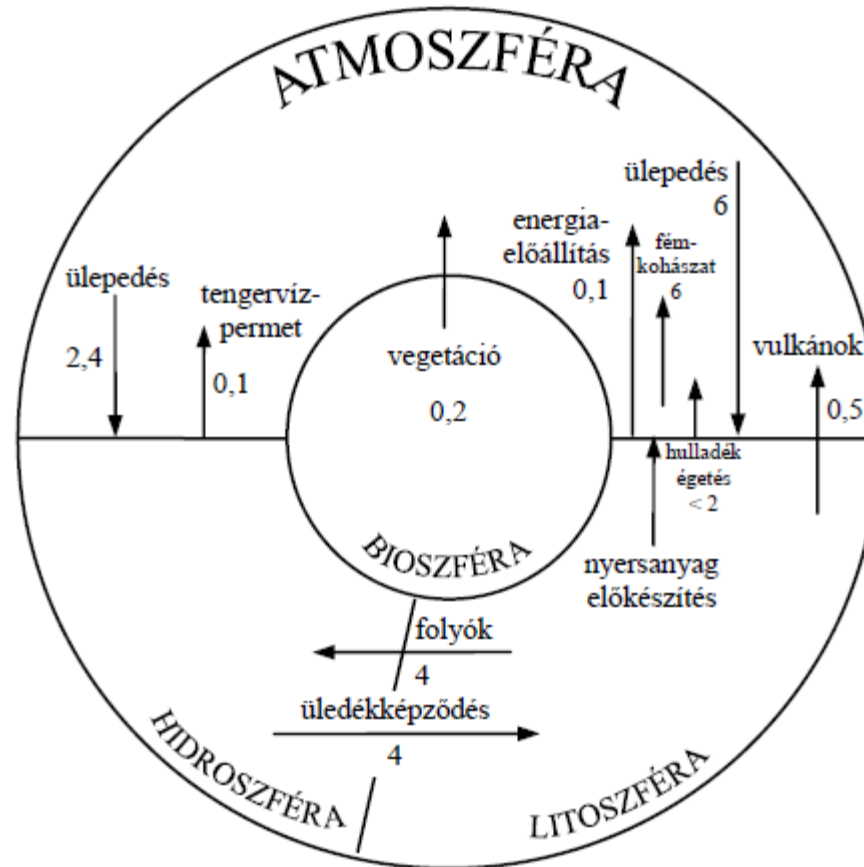


- A fémek **perzisztenciája** a környezetben igen nagy, mivel biológiai vagy kémiai úton nem lebonthatók, éppen ezért transzportjuk az atmoszférában vagy a hidroszférában nagy távolságra is bekövetkezhet.
- A folyamat során mindössze az történik, hogy egyik vegyületük egy másik vegyületté alakul át, s eközben **toxicitásuk megváltozhat**, vagy a talajba, illetve üledékbe kerülhetnek (**immobilizáció**).
- A talaj öntisztulása ily módon nem játszódik le, mivel az agyagásványok, illetve a humusz a fémeket megköti, s azok vízzel kilúgozhatatlanná válnak.
- A fémek nagy perzisztenciájának egyik következménye, hogy a tápláléklánc mentén feldúsulnak, s a lánc végén a fémkoncentráció több nagyságrenddel nagyobb lehet, mint az atmoszférában vagy a hidroszférában mért érték.
- Ebben az esetben az illető növény vagy állat emberi táplálékként nem jöhet számításba. / **Hg**-csávázott vetőmagok, tengeri növények, algák, állatok: halak, kagylók -minamata kór, **Cd**-"itai-itai" betegség-tengeri, vizi élő szervezetek, **Pb**-az előzőekhez hasonlóan ideg károsodást okoz.

A cink és a kadmium

- A természetben a cink és kadmium a higannyal együtt fordul elő
- Míg a cink gyakorisága a földkéregben 76 ppm a kadmiumé 0,16 ppm.
- A cink- és kadmiumvegyületek mobilitását a hidroszférában hidroxidjaik, karbonátjaik és szulfátjaik oldhatósága s az oldhatóságnak a pH-változás és komplexképződés hatására bekövetkező módosulása határozza meg.
- Míg a cink biológiai szempontból esszenciális elem, és igen sok enzim lényeges alkotórésze, a kadmiumvegyületek mérgezőek.
- A szulfidkénhez való hasonlóan nagy affinitásuk következtében a Cd a Zn-t az enzimekből kiszorítja, ezáltal dezaktiválja! (mérgezés)
- Igen jelentős az antropogén Cd emisszió. (galvanizálás)

A kadmium biogeokémiai körforgása (anyagáram kt/év Cd)



A kadmium (Cd)

Természetbeni előfordulása és biogeokémiai körforgása

- **Litoszféra**

elemi állapotban nem fordul elő
vegyületeiben a cink kísérő kőzeteként

pl.: CdS

greenockit (kadmium szulfid)

- **Hidroszféra**

Előfordulása az oldhatóságától (vegyület) függ, amelyet:
pH, komplexképző sajátság is befolyásol

CdCO_3 (kadmium-karbonát) rosszul oldódó vegyület

Cd(OH)_2 (kadmium-hidroxid) rosszul oldódó vegyület

→ Ha a pH csökken → mobilizálódnak:



- Óceánok felületi rétegében aerob körülmények között → kloro komplexeket képez

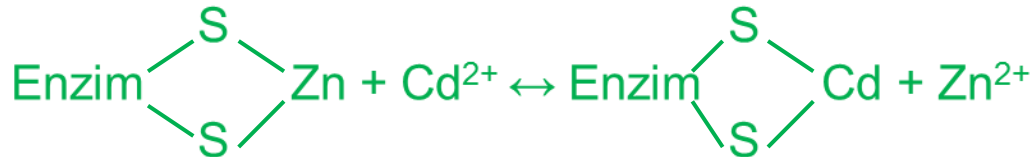


→ azonban ha a környezet redukáló jellegű lesz, pl.: H_2S jelenlétében →



Rosszul oldódó vegyület keletkezik → így a Cd remobilizálódhat, de CdSO_4 formában újra mobilizálódik

- **Atmoszféra:** elsősorban antropogén úton
 - 2/3-a pl.: a Zn és Cu feldolgozása során
 - szeméttégetés
 - műtrágya gyártás
 - egyéb források
- Toxicitása:
 - **Mérgező (idegméreg)**, enzimeket dezaktiválja, mert a cink helyére beépül az enzimekben

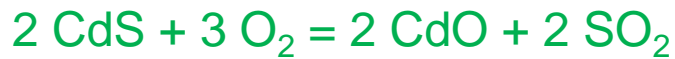


- itai-itai kór

- főként a vízben oldható vegyületek mérgezőek, pl.: $\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$

- **Előállítás:**

pörköléssel:



(greenockit)



- **Kémiai tulajdonságai:**

- O₂-vel: $2 \text{ Cd} + \text{ O}_2 = 2 \text{ CdO}$ (sárga, kadmium-oxid)

- amfoter jellegű

- H₂O-zel: oxidréteget képez → passzíválódik

- **Alkalmazása**

- CdO: sárga alapozó festékek

- CdS

- korrózióvédelemben

A cink (Zn)

Természetbeni előfordulása és biogeokémiai körforgása

- **Litoszférában:**

- Hg-al, Cd-al együtt

ZnS : szfalerit $ZnCO_3$: cinkpát

- biológiailag esszenciális elem, az enzimek alkotóeleme
- nehézfémek közé tartozik

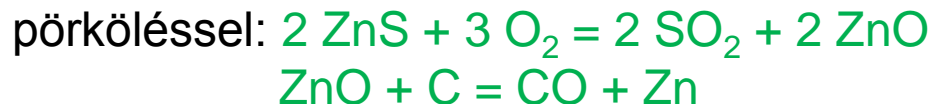
- **Atmoszférába:**

- vulkáni tevékenység
- érckitermelés
- ipari tevékenységek
- egyéb módon kerül

- **Hidroszférában:**

- hidroxidok, karbonátok formájában van jelen, oldhatóságuk a pH és az L függvénye;
- komplexképzésre hajlamosak

- **Antropogén előállítása:**



- **Alkalmazása:**

- szárazelem gyártás

- ötvözet : Zn-Cu: sárgaréz

- korrózióvédelem: horganybádog

(hiszen O_2 -vel reagálva passzívréteg alakul ki)



- **Kémiai tulajdonságai:**

amfoter elem: $\text{Zn} + 2 \text{HCl} = \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$



tetrahidroxo-cinkát(II)-ion

- **Oxidja:**

ZnO : cink(II)-oxid (amfoter tulajdonságú)

„cinkfehér” → festékgyártás

→ gyógyászat, kozmetika

- **Hidroxidja:**

Zn(OH)_2 : cink(II)-hidroxid (amfoter tulajdonságú)



- **Sói:**

$\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: higroszkópos fehér kristályok

→ színezékgyártás

→ heves kémiai reakciókhoz, mert vízelvonó tulajdonságú

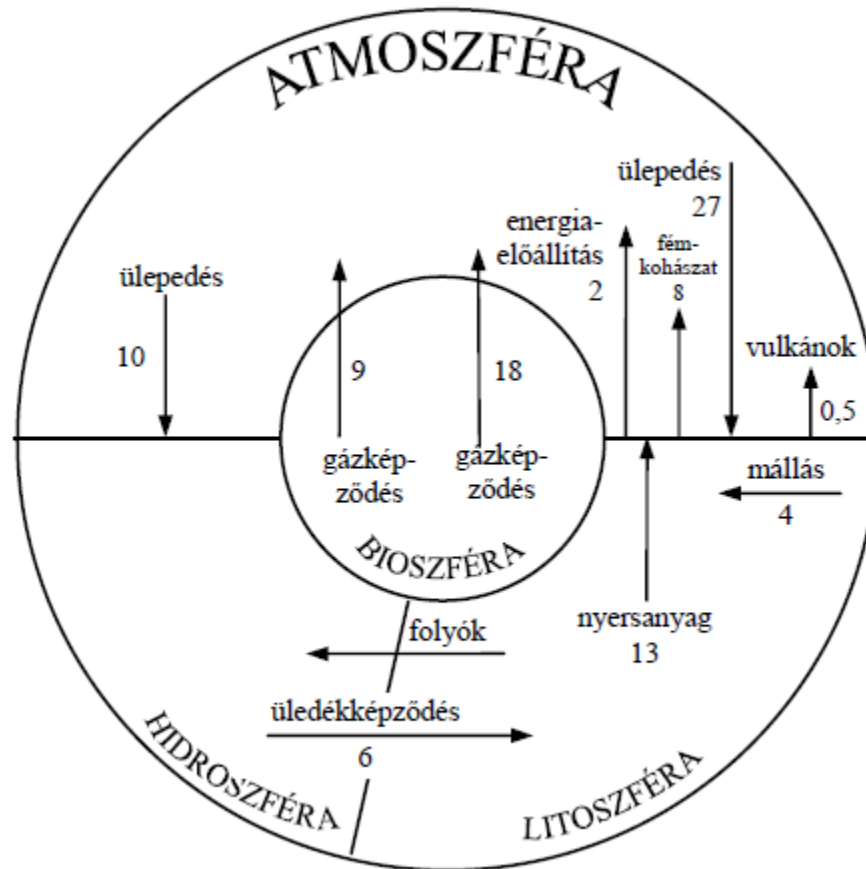
ZnS : fedőfesték

$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: fehérgálic

→ textilipar

→ faimpregnálás, stb.

A higany biogeokémiai körforgása (anyagáram kt/év Hg)



A higany (Hg)

Természetbeni előfordulása és biogeokémiai körforgása

- **Litoszféra**

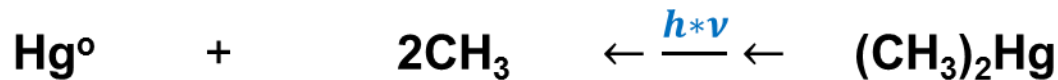
→ apró „cseppek” formájában

→ vegyületeiben

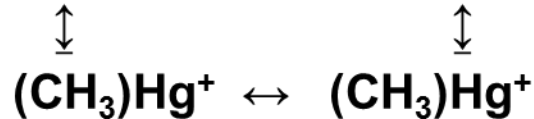
leggyakoribb érce: HgS cinnabarit Higany(II) szulfid

Üledék—Hidroszféra—Atmoszféra (kémiai és biokémiai folyamatok)

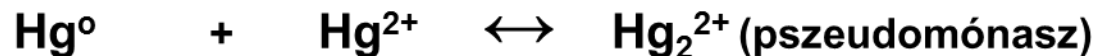
- **Atmoszféra**



- **Hidroszféra** $\text{Hg}^{\circ} \leftrightarrow \text{Hg}^{2+} \leftrightarrow \text{(CH}_3\text{)}_2\text{Hg}$



- **Üledék** $\text{Hg}^{\circ} \leftrightarrow \text{(CH}_3\text{)Hg}^+ \leftrightarrow \text{(CH}_3\text{)}_2\text{Hg}$ lipofil felhalmozódik a vízi élőlényekben



A biometilezést anareob körülmények \updownarrow között kobalamin végzi
HgS

- **Hidroszférában**

Előfordul még a közeg redoxi sajátságától függően

→ felszíni vizekben

→ Hg^{2+}

→ más

→ Hg^{2+} vagy Hg^0

→ redukáló

→ Hg^0 , HgS_2^{2-} kénes komplex formájában

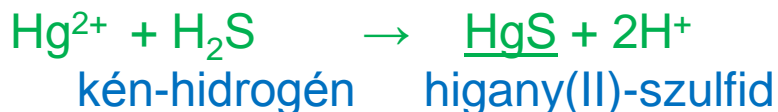
($\text{Hg}^0 \leftrightarrow \text{Hg}^{2+} + 2 e^-$: oxid. ; red. egyenlete)

- Tengervízben a pH és pCl értékétől függően →

HgCl_2 , HgCl_3^- , HgCl_4^{2-} , ... → **higany (II)-vegyületek**

A higany(I)-vegyületek köztitermékként szerepelnek

- Remobilizálódhat:



- **Előállítása:**



- **Alkalmazása:**

- elektrokémia, elektrotechnika
- katalizátor
- fogászat (amalgám), gyógyászat
- fungicid

- **Kémiai tulajdonságai:**

- csak erélyes oxidáló savakban oldható:



- fémes karakterű

- **Oxidjai:**



- hidroxidjai nincsenek, mert rögtön oxiddá alakulnak át

- **Sói:** +1; +2 oxidációs fokkal szerepelhet

Hg_2Cl_2 : higany(I)-klorid, kalomel

Hg_2I_2 : higany(I)-jodid

komplexbépzése:



dikálium-[tetrajodo-merkurát]

HgCl_2 : higany(II)-klorid

mérgező, mert jól oldódik vízben

Az ón (Sn)

Természetbeni előfordulása és biogeokémiai körforgása

- **Litoszféra**
- elemi állapotban nem található meg
- vegyületeiben:
- legfontosabb érce
- **SnO₂** ónkő; kassziterit
- **Atmoszférában és hidroszférában is megtalálható**

- főként antropogén beavatkozások miatt:
- **SnO₂** → $\frac{\text{mállás}}{\text{antropogén foj.}}$ → pedoszféra,
atmoszféra
- Hidroszféra
- fito- és zoo plankton
-

- **Toxicitása:**
- a szervetlen vegyületeié kisebb mint az As, Pb, Cd vegyületeké
- patkányok számára eszenciális elem
- szerves vegyületei mérgezők!
- **Szerves vegyületek kialakulása:**
- természetben: Sn^{4+} \rightarrow $\frac{\text{pszeudomonas}}{\text{biometilezés}}$ \rightarrow **di-, trimetil**
- Sn^{2+} \rightarrow $\frac{\text{metilkobalamin}}{\text{biometilezés}}$ \rightarrow **vegyületek**
- antropogén: **műanyag gyártás során adalék**
- **R_2Sn , R_3Sn** mérgezők, de gyorsan bomlanak

- **elemi állapotban allotróp módosulatai:**

α-ón: szürke ón (13,2 °C alatt)

β-ón: fehér ón (szobahőmérsékleten)

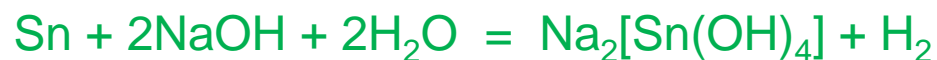
γ-ón: (161 °C felett)

- **előállítás:** $\text{SnO}_2 + 2\text{C} = \text{Sn} + 2\text{CO}$ redukcióval

- **kémiai tulajdonságai:**

---oxigénnel passzíválódik

---amfoter elem



dinátrium-tetra hidroxó sztannit(II)

- **oxidjai:** SnO ón(II) oxid

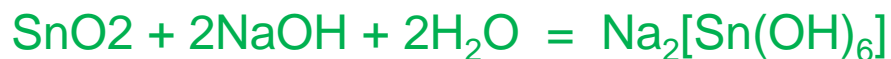
SnO₂ ón(IV) oxid

- **Tulajdonságai:** SnO: amfoter:



nátrium trihidroxo sztannit(II)

- **Tulajdonságai:** SnO₂: amfoter: lúgokban só keletkezik



nátrium hexahidroxo sztannát(IV)

- **Hidroxidja:** Sn(OH)₂ Ón(II) hidroxid könnyen megy komplexbe!

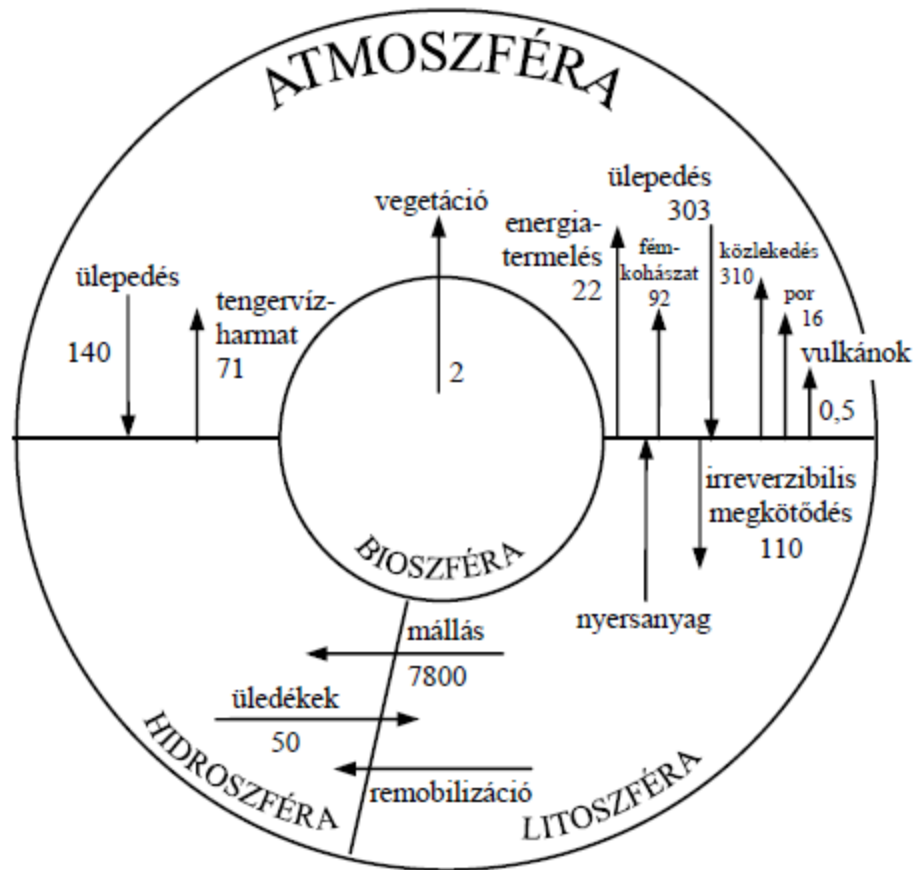
- **Sói:** SnCl₂ Ón(II) klorid, hirolizál $\text{SnCl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Sn}(\text{OH})\text{Cl} + \text{HCl}$

SnCl₄ Ón (IV) klorid



erélyes redukálószer az Sn(II)

Az ólom biogeokémiai körforgása (anyagáram: kt/év Pb)



Az ólom (Pb)

Természetbeni előfordulása és biogeokémiai körforgása

- **Litoszféra:**

- elemi állapotban nem fordul elő
- vegyületeiben igen; legfőbb ásványai:

PbS : galenit (ólom-szulfid)

PbCO_3 : cerusszit (ólom-karbonát)

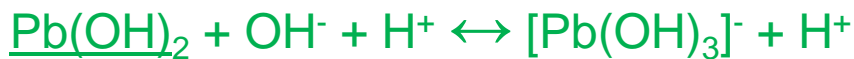
PbCrO_4 : vörös ólomérc (ólom-kromát)

PbSO_4 : anglezit (ólom-szulfát)

- **Hidroszféra:** kis koncentrációban van jelen a Pb^{2+} , mert vegyületei kevésbé vízoldhatók

- H_2O -ban: $\text{Pb} + 2 \text{H}_2\text{O} = \underline{\text{Pb(OH)}_2} + \text{H}_2$
ólm(II)-hidroxid, alig oldható csapadék,
azonban az oldhatósága nő \rightarrow pH növekedésével
 \rightarrow CO_2 konc. növekedésével

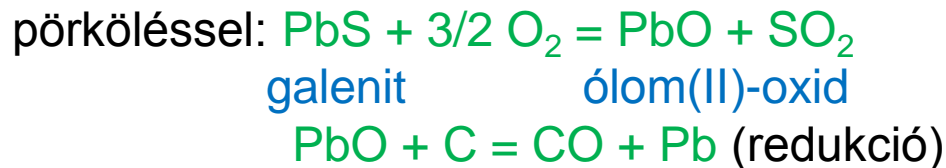
ekkor:



(tengervízben kloro-komplexek, édesvízben hidroxi, HCO_3^- , SO_4^{2-} komplexek)

- **Bioszféra:** a mobilis Pb 5 %-át tartalmazza
- **Atmoszféra:**
 - antropogén beavatkozások során kerül ide:
 - energiatermelés, vaskohászat;
 - üzemanyag felhasználás → kiülepedik → hidroszféra
 - pedoszféra
 - bioszféra
 - vulkáni működés, tengerpermet
- **Antropogén források:**
 - vízvezetékek ólomból voltak ($\text{Pb} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow$)
 - motorhajtóanyagok összetételének javítására alkalmazták (1999 ápr.-ig)
 - szerves ólomvegyületek, pl: $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$, ólom-tetraetil
 - szerves alkil-ólm-vegyületek →
- **Pb toxikus hatása:**
 - a jól oldódó szervetlen Pb–vegyületek, alkil-ólm-vegyületek mérgezőek
 - a Pb affinitása nagy az O és S atomokhoz → az Pb az enzimekben a kötés kialakítására képes koordinációs helyeket elfoglalja
 - az Pb akkumulálódik az élő szervezetekben

- **Pb ipari előállítás:**



- **Kémiai tulajdonságai:**

- O_2 -vel reagálva → oxidréteg (passziválja a fémet)
(PbO)



- híg HCl , $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ passziválódik PbCl_2 (fehér)
 PbSO_4 (fehér réteg)

- lúgok nem oldják

- **Pb oxidjai:**

PbO : ólom(II)-oxid

alkalmazás: ólomüveg, szappankészítés

PbO_2 : ólom(III)-oxid

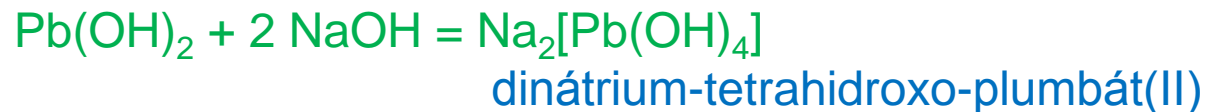
alkalmazás: akkumulátor Pb katódjának bevonására

$\text{Pb}_3\text{O}_4 : 2\text{PbO} : \text{PbO}_2$: mínium
(legstabilabb!)

alkalmazás: vörös színű; lenoljjal keverve festék (alapozó)

- **Pb hidroxidjai:**

$\text{Pb}(\text{OH})_2$: ólom(II)-hidroxid → amfoter tulajdonságú, lúgokban esetleg komplexképző lehet



- **Sói:**

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$: ólom-nitrát (vízben oldódó!)

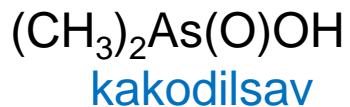
$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$: ólom-acetát (textilfestésnél alk.)

Az arzén (As)

Természetbeni előfordulása és biogeokémiai körforgása

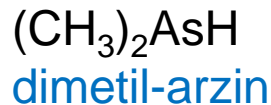
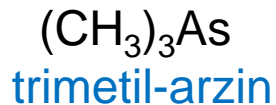
- **Litoszféra:**
 - elemi állapotban nem található meg
 - vegyületeiben:
 - legfőbb ásványai: As_2S_3 : auripigment
 - As_4S_4 : realgár
 - FeAsS : arzenopirit
 - As_2O_3 : arzenit
 - illetve foszfát-ércekben is jelen van
- **Körforgása:** redox-körforgás

Atmoszféra

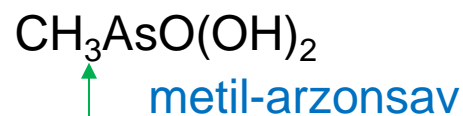
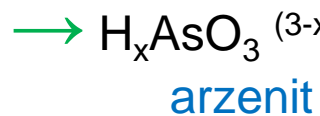
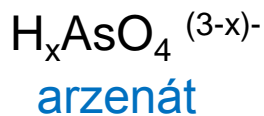


O_2

O_2



Hidroszféra



Talaj

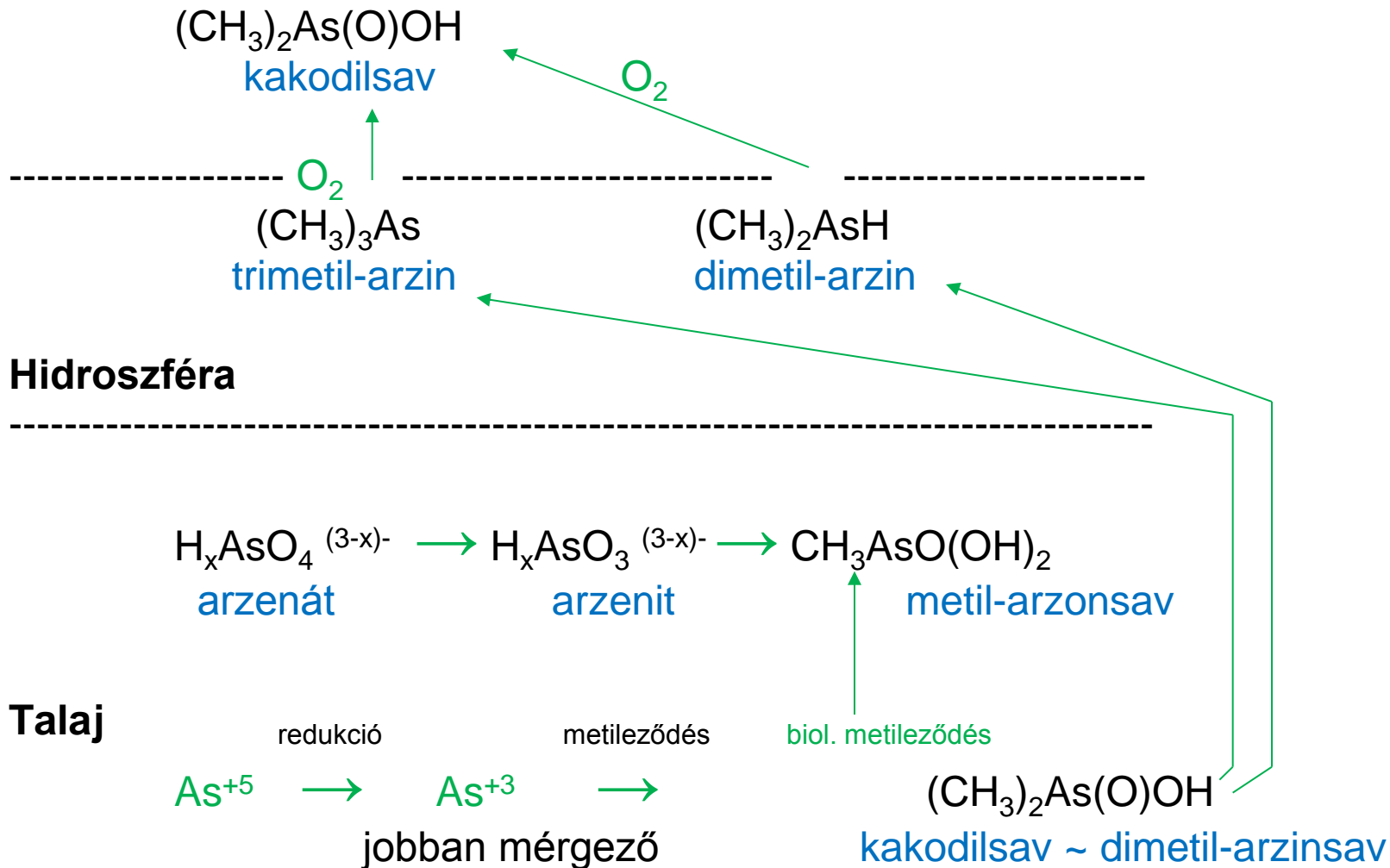
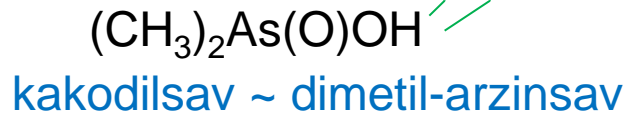
redukció

metileződés

biol. metileződés



jobban mérgező



- **Toxicitása:**

-nagy az affinitása a szervezetben lévő SH (-tiol) csoporthoz,
→ az SH csoportot tartalmazó enzimeket blokkolja!

MÉRGEZŐ!!

- Előfordulása: $\overset{+3}{\text{AsO}_3^{3-}}$ (arzenit-ion) $\overset{+5}{\text{AsO}_4^{3-}}$ formában (arzenát-ion)

- **Atmoszféra:**

- ércok kohósítása útján
- energiaelőállítás
- cementipar

- **Előállítása:**

pörköléssel $2 \text{As}_2\text{S}_3 + 9 \text{O}_2 = 2 \text{As}_2\text{O}_3 + 6 \text{SO}_2$
auripigment



- **Egyéb:**

- elemi állapotú módosulatai:

- (nem mérgezőek, hanem a vegyületei)

- As_4 : sárgaarzén (molekularácsos)

- feketearzén (atomrácsos)

- szürkearzén (fémrácsos → legstabilabb)

- **Felhasználása:**

- ötvözőelemként

- egyéb

- **Hidroxidjai:**

- $2 AsH_3 + 3 O_2 = As_2O_3 + 3 H_2O$ égés egyenlete

- arzén-hidrid: mérgező

- **Oxidjai**

- As_2O_3

- arzén-trioxid

- (fehér, szilárd, mérgező)

- oxosavai**

- H_3AsO_3

- arzenéssav

- $H_3AsO_4 \cdot 0,5 H_2O$

- arzensav

- sói**

- AsO_3^{3-}

- arzenitek

- :+3

- AsO_4^{3-}

- arzenátok

- :+5

A króm (Cr)

Természetbeni előfordulása és biogeokémiai körforgása

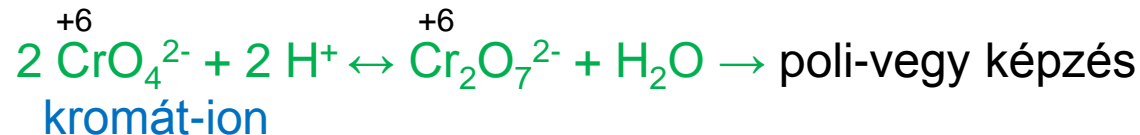
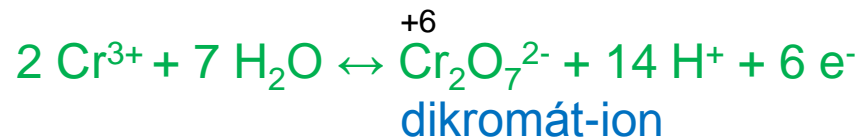
- **Litoszféra:**

FeCr_2O_4 : FeO : Cr_2O_3 kromit, krómvaskő

PbCrO_4 vörös ólomérc

- **Hidroszféra:**

- ox. foka: +3, +6



A +6-os ox. fokúak mérgező vegyületek

- **Atmoszféra:**
 - mállás
 - antropogén beavatkozással: ipari porokkal → kiülepedés → pedoszféra
- **Alkalmazása:**
 - felületnemesítés
 - bőripar

Egyéb

- **Oxidjai, hidroxidjai:**

+2:

CrO króm(II)-oxid

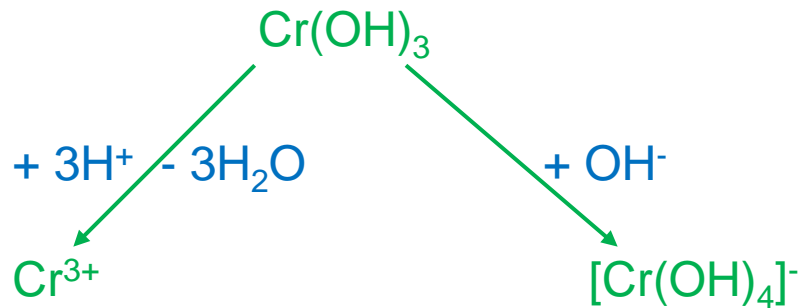
Cr(OH)_2 króm(II)-hidroxid

+3:

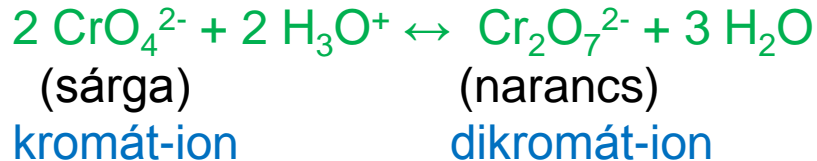
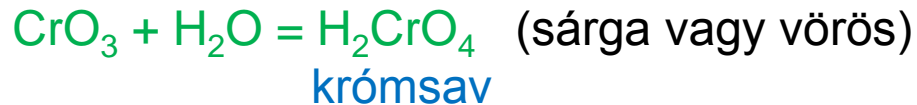
Cr_2O_3 króm(III)-oxid (üveg, porcelánfestékek)

Cr(OH)_3 króm(III)-hidroxid (zöld → vízben

oldhatatlan, de amfoter tulajdonságú)



+6: CrO_3 króm(VI)-oxid

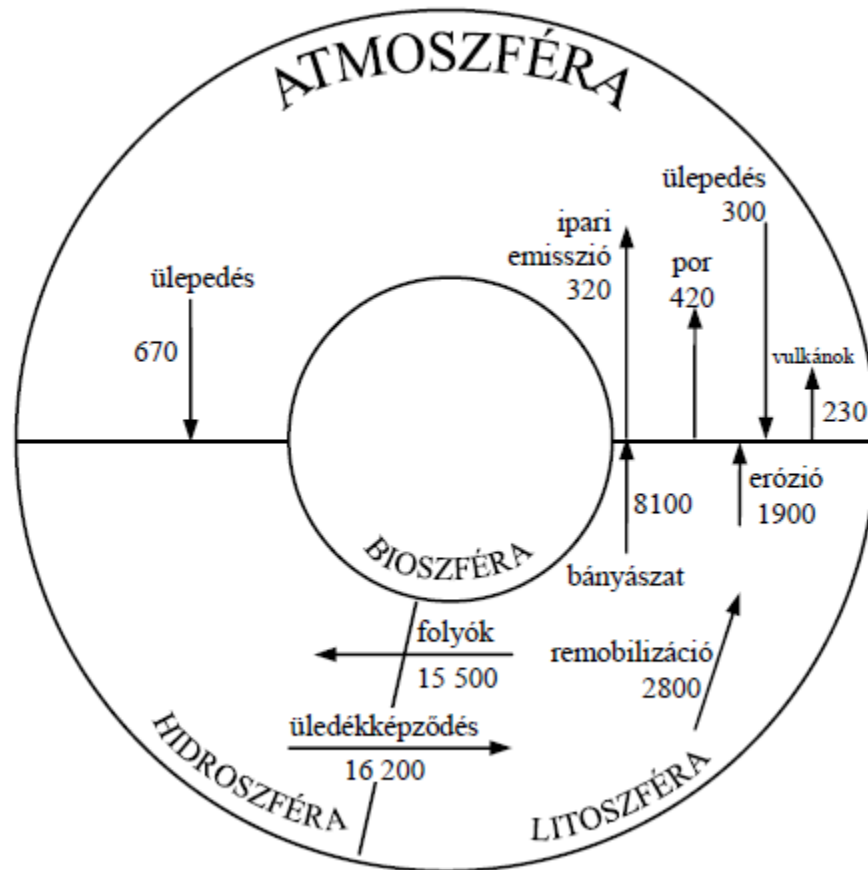


erős oxidálószerrek!

- Sói:**

$\text{KCr(SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$: krómtimsó (kettős só)
 (bőrcserzésre alkalmazzák)

A mangán körforgása (GARRELS, MACKENZIE és HUNT szerint; anyagáram: kt a⁻¹ Mn)



A mangán (Mn)

Természetbeni előfordulása és biogeokémiai körforgása

- **Litoszféra:**

MnO_2 :	barnakő	(mangán(IV)-oxid)
Mn_2O_3 :	braunit	(mangán(III)-oxid)
$\text{MnO}(\text{OH})$:	manganit	(mangán-oxid-hidroxid)
Mn_3O_4 :	hausmannit	(mangán(IV)-oxid)
MnCO_3 :	mangánpát, rodokrozit	(mangán karbonát)

Előforduló oxidációs fokai

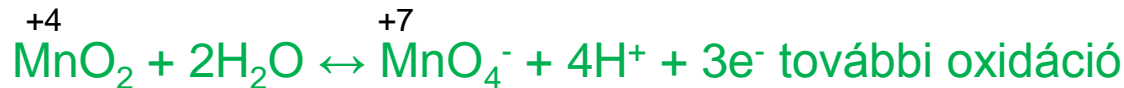
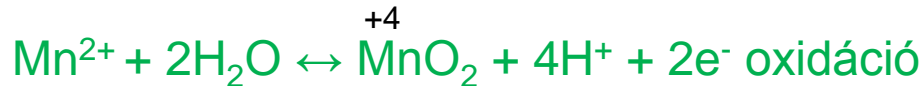
+1; +2; +3;	→ vegyületeik bázisképzők
+4; +5	→ vegyületeik amfoter jellegűek
+6; +7	→ vegyületeik savas jellegűek

- **Hidroszféra:**

- tengeralatti vulkánkitörésből

- óceánokban 1 kg-os mangán-oxi-hidrát rögök

(mag: agyag; kőzettörmelék) + (oxihidrát) ezek
mellett: Co^{2+} ; Ni^{2+} ; Pb^{2+} ; ...



oxidáló körülmények között → nyíl irányába

redukáló körülmények között ← nyíl irányába

- **Előállítása:**

- oxidból aluminotermiás úton → tiszta fém;

- mangán sóoldatok elektrolízisével

- oxidból, karbotermiás úton → (szennyezett) fém

- **Alkalmazása:**

- ötvözőelem pl: **Ca-Mn-Ni manganin**

- acélgyártásnál

- **Kémiai tulajdonságai:**

- öngyulladásra hajlamos:



kettős oxid: $\text{ MnO} \cdot \text{ Mn}_2\text{O}_3$

- hevesen reagál a következőkkel



- savakban oldódik, lúgokban nem!



mangán-klorid

- **Oxidjai, hidroxidjai:**

+2 $\text{ MnO} :$ (mangán(II)-oxid)

$\text{ Mn(OH)}_2 :$ (mangán(II)-hidroxid) $\rightarrow \text{ MnO(OH)}_2$ (levegőn)

+3 $\text{ Mn}_2\text{O}_3$ (mangán(III)-oxid) (vízben oldhatatlan)

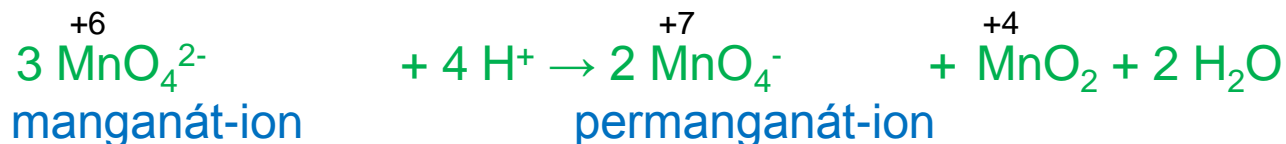
+4 $\text{ MnO}_2 :$ (mangán(IV)-oxid)

levegőn: $3 \text{ MnO}_2 \rightarrow \text{ Mn}_3\text{O}_4 + \text{ O}_2$

+6 : oxidja nincs, hanem oxoanionja:

MnO_4^{2-} : manganát-ion

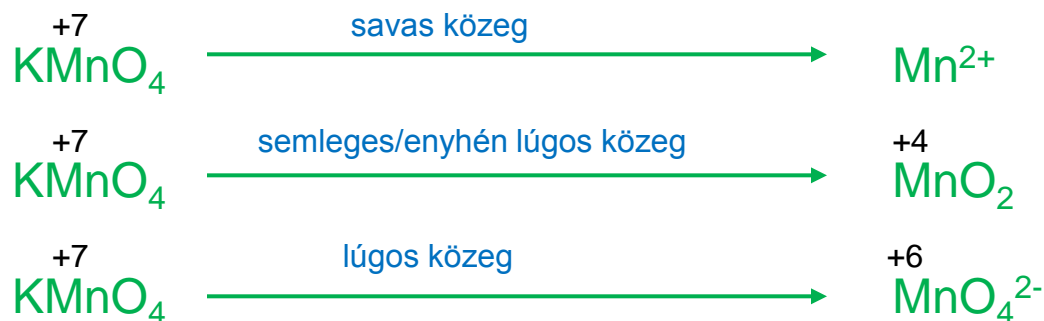
ez csak lúgos oldatokban, vagy sókban létezik, savas közegben diszproporcionálódik:



sói pl: K_2MnO_4 : kálium-manganát

KMnO_4 : kálium-permanganát (hipermangán)
erősen oxidáló hatású

KMnO_4 viselkedése a közeg pH-jának függvénye:



+7 : Mn_2O_7 : mangán-heptoxid

A vas (Fe)

Természetbeni előfordulása és biogeokémiai körforgása

- **Litoszféra:**

Fe_2O_3 : hematit (vas(III)-oxid)

Fe_3O_4 : magnetit ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)

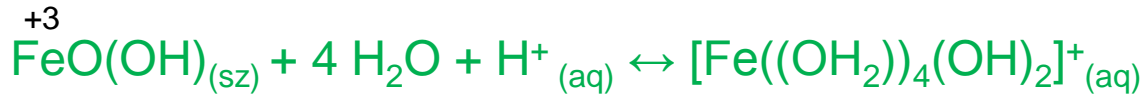
$\text{FeO}(\text{OH})$: barnavasérc, limonit

FeCO_3 : vaspát, sziderit

FeS_2 : pirit

- **Hidroszféra:**

$\text{Fe}(\text{OH})_2$; $\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{FeO}(\text{OH})$ formátlan



Fe^{2+} ; Fe^{3+} redox. rendszer : $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$

- **Bioszféra:**

- fontos: a hemoglobin alkotóeleme

- **Antropogén előállítása:**



- **Kémiai tulajdonságai:**

- O₂-vel: oxidréteg → passzívál



- cc. savak is passzíválják

- kénnel: $\text{Fe} + \text{S} = \text{FeS}$

- klórral: $2 \text{Fe} + 3 \text{Cl}_2 = 2 \text{FeCl}_3$

- **Alkalmazása:**

- Fe-gyártás, acélgyártás

- öntöttvas: 1,7 – 4 % C-tartalmú Fe

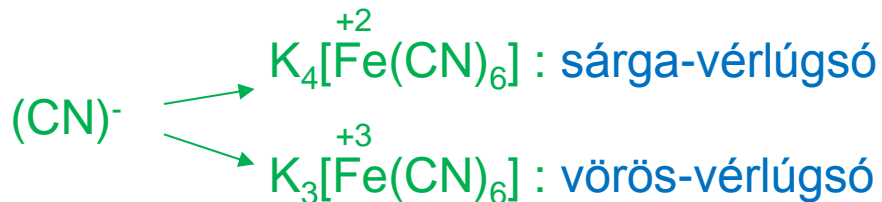
- acél: 1,7 % < C-tartalmú Fe

- Oxidjai, hidroxidjai:**

+2	:	FeO :	vas(II)-oxid	(fekete)	
		Fe(OH) ₂ :	vas(II)-hidroxid	(zöld)	→
+3	:	Fe ₂ O ₃ :	vas(III)-oxid	(vörös)	
		Fe ₃ O ₄ : FeO·Fe ₂ O ₃	vas(III)-oxid	(kettős-oxid)	rögtön átalakul
		Fe(OH) ₃ :	vas(III)-hidroxid	(vörösbarna)	←

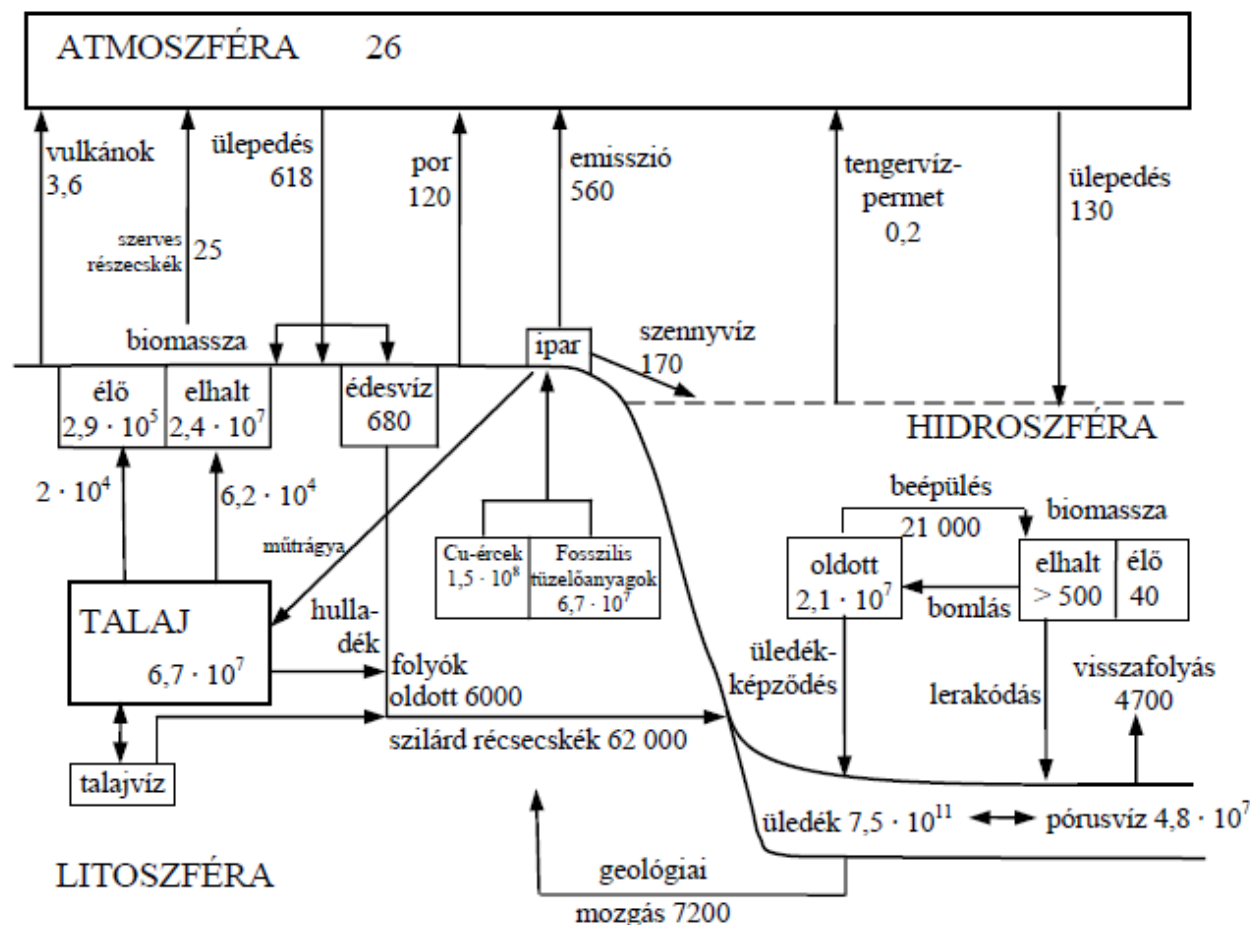
- Sói:**

FeCl₃ : vas(III)-klorid (pácolásra, festékgégyártás, gyógyszeripar)



Fe₂(SO₄)₃ : vas(III)-szulfát (textilipar, pác k.)

3.45 ábra. A rézciklus NRIAGU szerint
 (anyagmennyiség: 10^8 g Cu; anyagáram: 10^8 g a⁻¹ Cu)



A réz biogeokémiai körforgását tekintve, noha egyes előfordulási helyek (rezervoárok) létezésének felderítése még várat magára, az ismert rezervoárok közötti anyagáramokat kielégítő pontossággal ismerjük. Hasonlóan jó adatokkal rendelkezünk

A higanytól eltérően a réz valamennyi organizmus számára virtuálisan létfontosságú elem. Számos nehézfém ama jellegzetességét mutatja, hogy kis koncentrációban a növekedéshez alapvetően szükséges, míg nagy koncentrációban mérgező. Különösen a proteinekbe épül be, ahol a ligandum N-, S- és O-donoratomjával alakít ki kölcsönhatást (MOORE, RAMAMOORTHY). Másik élettani

- **Köszönöm a figyelmet!**