

Környezettechnológia kémiai módszerei követelmények

Környezetmérnök MSc képzés, 2020

Tolner László egyetemi magántanár
Környezettudományi Intézet

Tananyag: E-learning

<http://www.tolner.hu/okt/kemalap/>

Barótfi: Környezettechnika (Mezőgazda kiadó 2000)

Követelmények

■ Alapkövetelmény: kémiai alapismeretek

(Függetlenül attól, hogy a félév során említésre került, vagy nem.)

■ Számolási gyakorlatok 5 témakörben

(Egy-egy témakör heti beosztása: 1. bemutató számolás, házi feladat. 2. Házi feladatok megbeszélése, konzultáció. 3. ZH, következő témakör bemutató számolás, házi feladat ... stb.)

■ ZH-k 50 pont (5*10) **Félév elismerés min 26 pont!**

ZH időpontok: 10.01, 10.22, 11.12, 11.26, 12.10

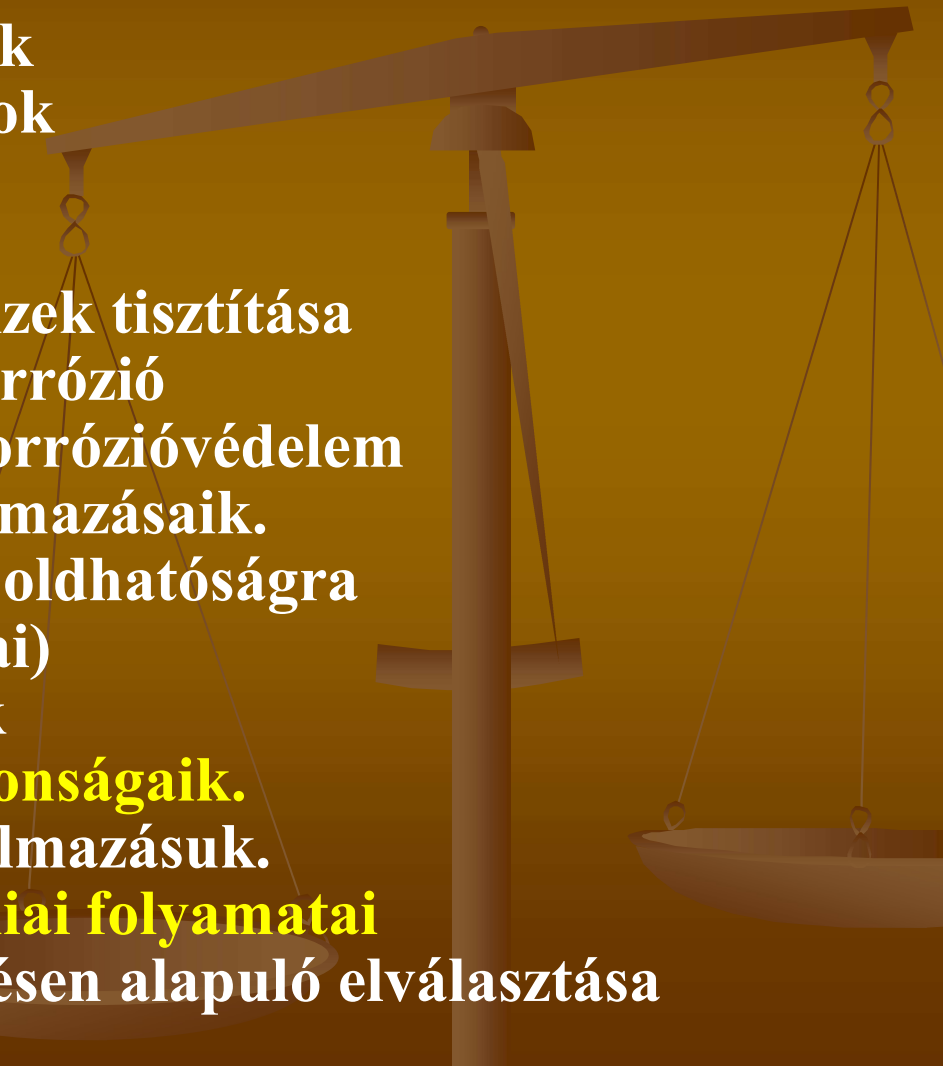
ZH kezdés 10 órakor!

(pótZH max. két témakörből max 20 pont!)

■ Szóbeli vizsga **50 pont**

(10 perces kiselőadás egy-egy összefoglaló tétel alapján: 25 pont.
Kiselőadások közös megbeszélése + azonnali kérdések: 25 pont.)

Korábbi szóbeli vizsgatételek

1. Reakció sebesség, katalízis
 2. **Kipufogógáz-tisztás kémiai folyamatai**
 3. Termikus hulladékkezelési eljárások
 4. **Füstgáz-tisztás kémiai folyamatai**
 5. Homogén kémiai egyensúlyok
 6. Heterogén kémiai egyensúlyok
 7. Oldódás, oldhatóság
 8. Sav bázis egyensúlyok, pH
 9. Nehézfém-tartalmú szennyvizek tisztítása
 10. Redoxireakciók, biológiai korrózió
 11. Elektrokémiai korrózió és korrózióvédelem
 12. Komplex vegyületek és alkalmazásaik.
 13. Komplexképződés hatása az oldhatóságra
 14. Az abszorpció (fizikai, kémiai)
 15. Az adszorpció, adszorbensek
 16. **Kolloid rendszerek és tulajdonságaik.**
 17. Felületaktív anyagok és alkalmazásuk.
 18. **Víz és szennyvíztisztítás kémiai folyamatai**
 19. Szennyezések csapadékképzésen alapuló elválasztása
- 

Szóbeli vizsgatételek kapcsolódásai az összefoglaló tételekhez

Kipufogógáz-tisztás kémiai folyamatai

Reakció sebesség, katalízis.

Redoxireakciók

Füstgáz-tisztás kémiai folyamatai

Redoxireakciók

Az abszorpció (fizikai, kémiai)

Az adszorpció, adszorbensek

Kolloid rendszerek és tulajdonságaik

Szennyezések csapadékképzésen alapuló elválasztása

Felületaktív anyagok és alkalmazásuk

Víz és szennyvíztisztítás kémiai folyamatai

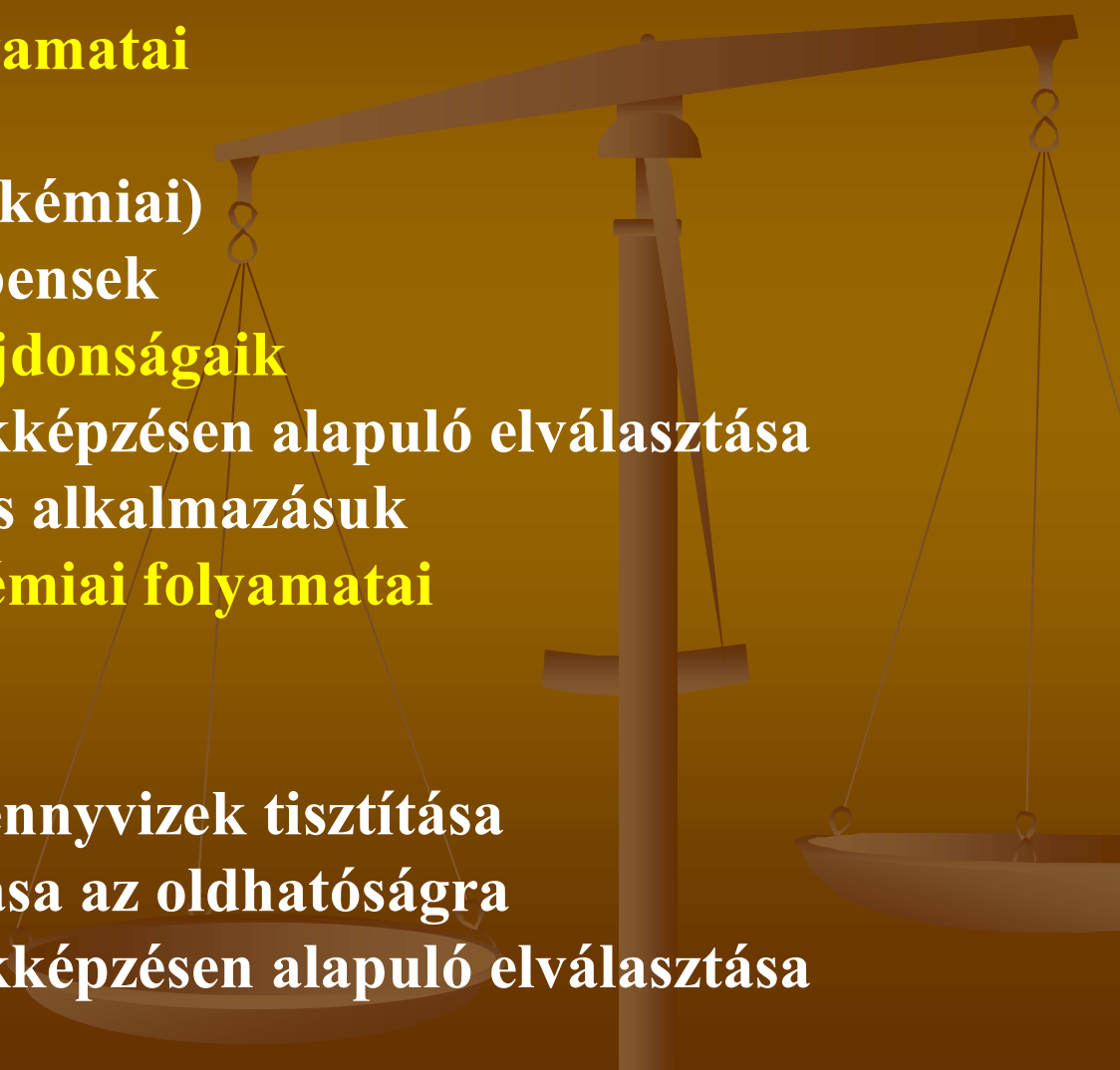
Oldódás, oldhatóság

Sav bázis reakciók, pH

Nehézfém-tartalmú szennyvizek tisztítása

Komplexbépződés hatása az oldhatóságra

Szennyezések csapadékképzésen alapuló elválasztása



A szóbeli vizsgatételek kapcsolódásai a korábbi záróvizsga tételekhez/1

1. Mutassa be a levegő védelmét szolgáló műszaki megoldásokat technológiákban, példákon keresztül!

Füstgáz-tisztás kémiai folyamatai

Kipufogógáz-tisztás kémiai folyamatai

2. Mutassa be a vizek védelmét szolgáló műszaki megoldásokat technológiákban, példákon keresztül!

Víz és szennyvíztisztítás kémiai folyamatai

~~**3. Mutassa be a talajok védelmét szolgáló műszaki megoldásokat technológiákban, példákon keresztül!**~~

~~Redox rendszerek és korrózió~~

17. Kolloid rendszerek, felületi jelenségek az ipari technológiákban.

Kolloid rendszerek és tulajdonságaik.

Felületaktív anyagok és alkalmazásuk.

Az adszorpció, adszorbensek.

A szóbeli vizsgatételek kapcsolódásai a korábbi záróvizsga tételekhez/2

16. ~~Kémiai ipari technológiai megoldások a környezet védelmében.~~

~~Az abszorpció (fizikai, kémiai):~~

~~Az adszorpció, adszorbensek:~~

~~Szennyezések esapadékképzésen alapuló elválasztása~~

Hőbontás, oxidáció, füstgáztisztítás

~~+ az 1., 2., 3. záróvizsga tételeknél megadottak~~

**Ehhez az 5 záróvizsgatételhez kapcsolódó
összefoglaló tételekből (1,2,3,16,17) kell egyet-
egyet kell kidolgozni a vizsgán prezentálandó
10-15 perces kiselőadásban (5-10 dia).**

Kérésre mailon elküldöm a szükséges előadást ppt-ben is.

A tételek rövid áttekintése

1. Mutassa be a levegő védelmét szolgáló műszaki megoldásokat technológiákban, példákon keresztül!

Füstgáz-tisztás kémiai folyamatai

A mai előadás elején (Kemalap12_20)

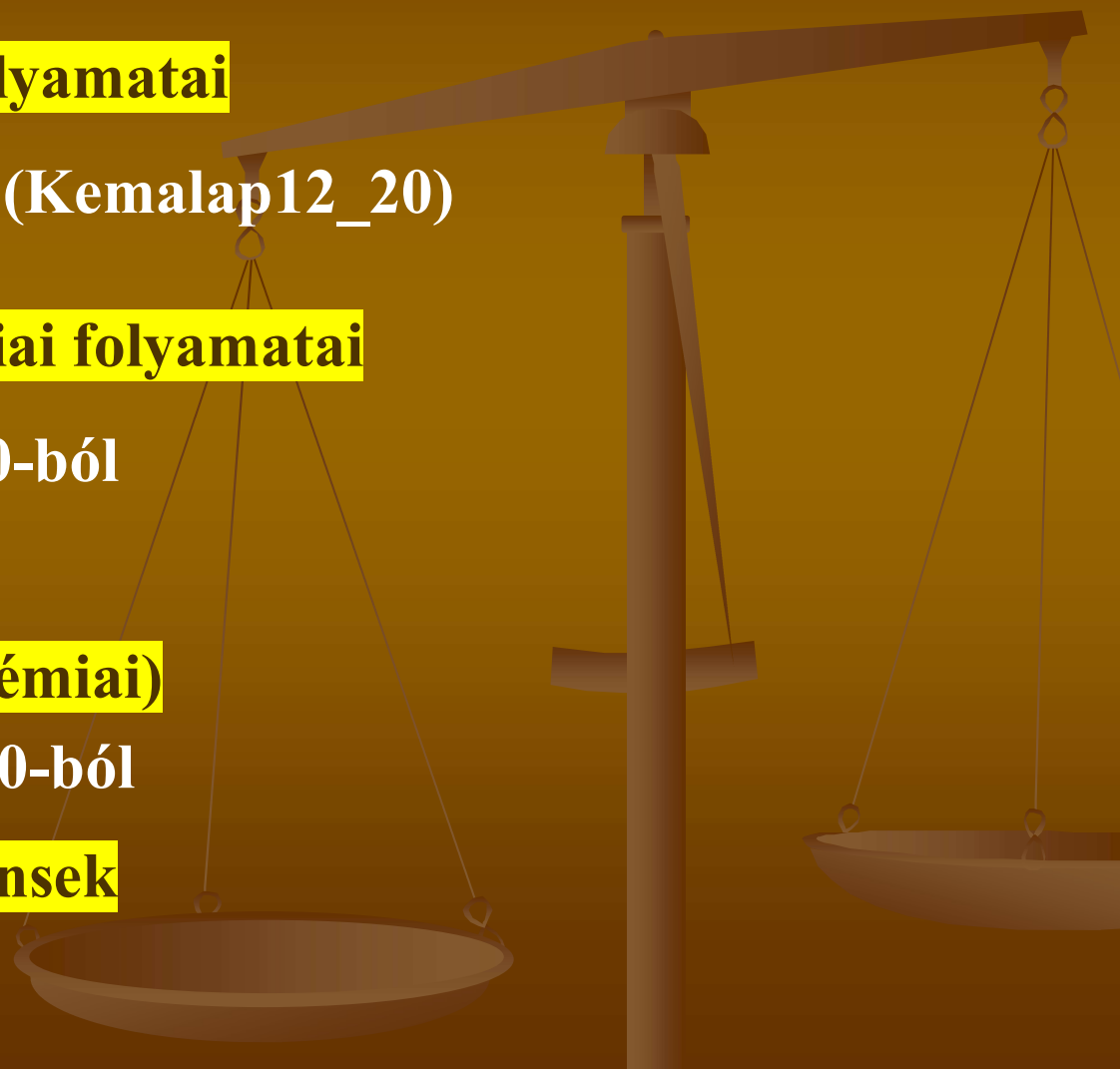
Kipufogógáz-tisztás kémiai folyamatai

Kemalap3_20-ból

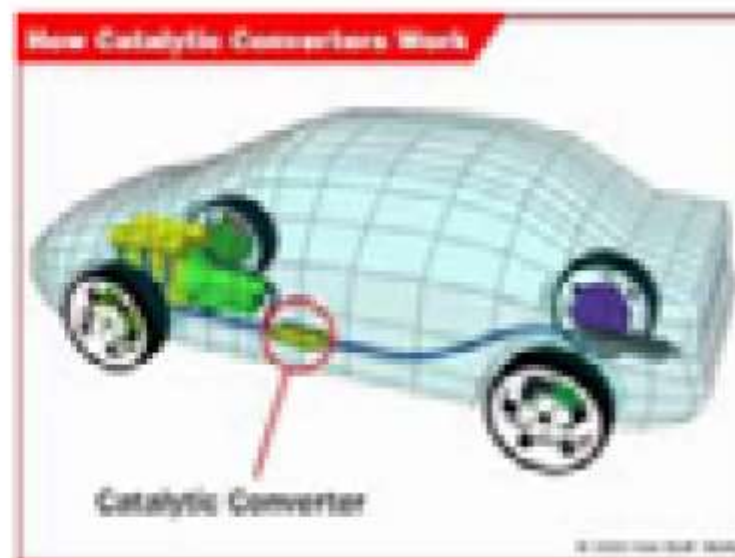
Az abszorpció (fizikai, kémiai)

Kemalap11_20-ból

Az adszorpció, adszorbensek

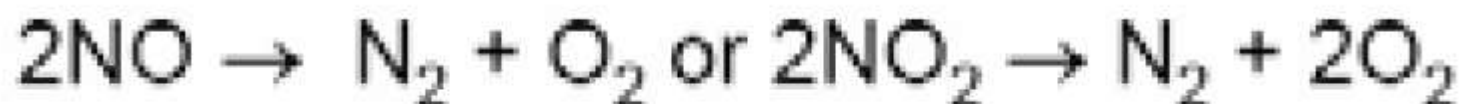


Reduction & Oxidation Catalytic Converter Reactions

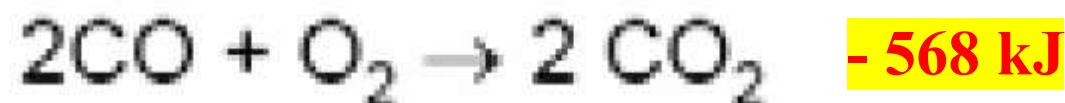


400-800 °C-fok

-181 kJ Reduction Catalysis on Pt/Rh: **- 68 kJ**



Oxidation Catalysis on Pt/Pd:



Exoterm folyamatok!

a., NO redukció (Rh):



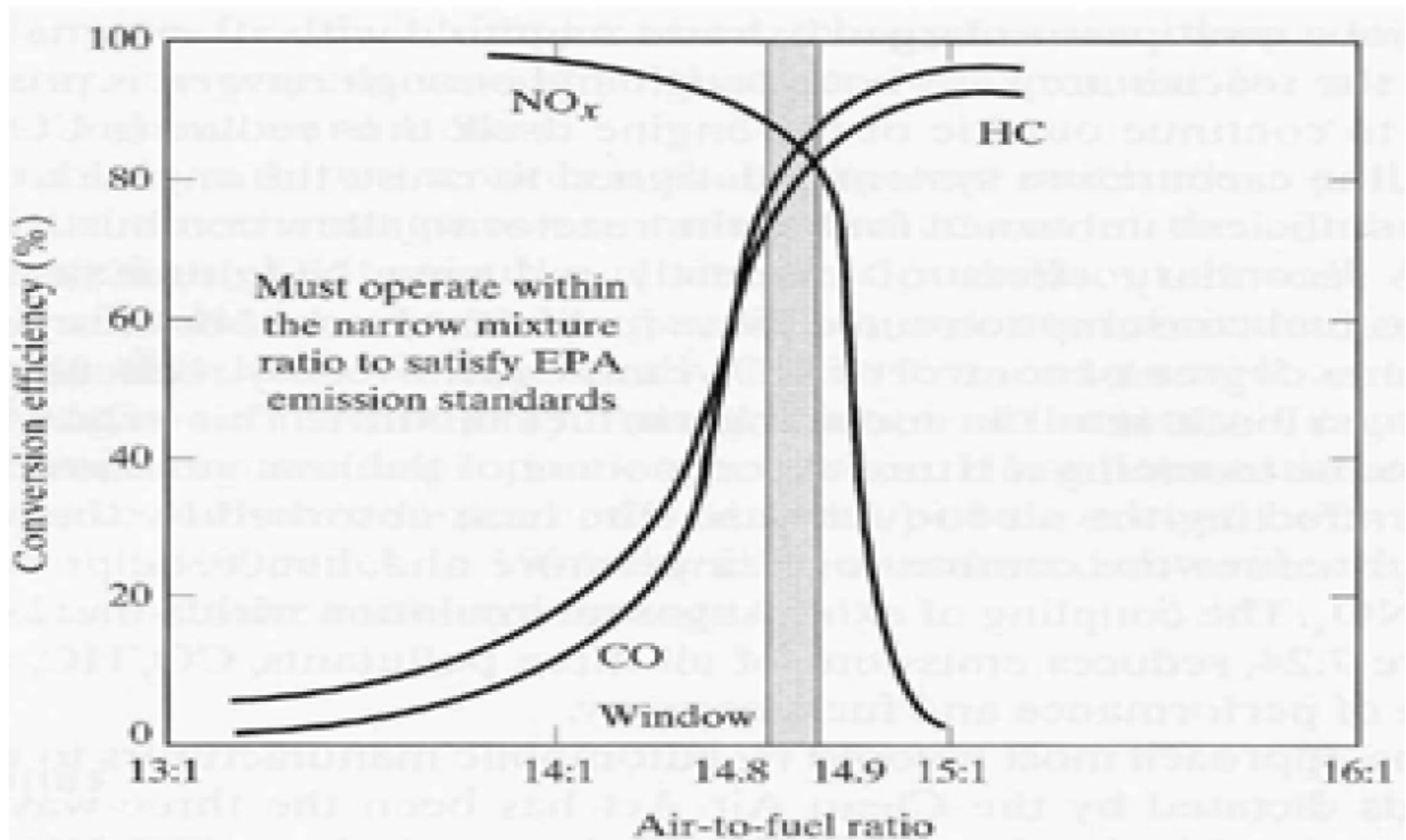
b., oxidáció (Pt és Pd):



kisebb valószínűséggel lejátszódó reakciók:



A tisztítás hatékonysága – levegő:üzemanyag arány kg/kg



optimális arány – elektronikus motorvezérlés

Reakciókinetika

Reakciósebesség



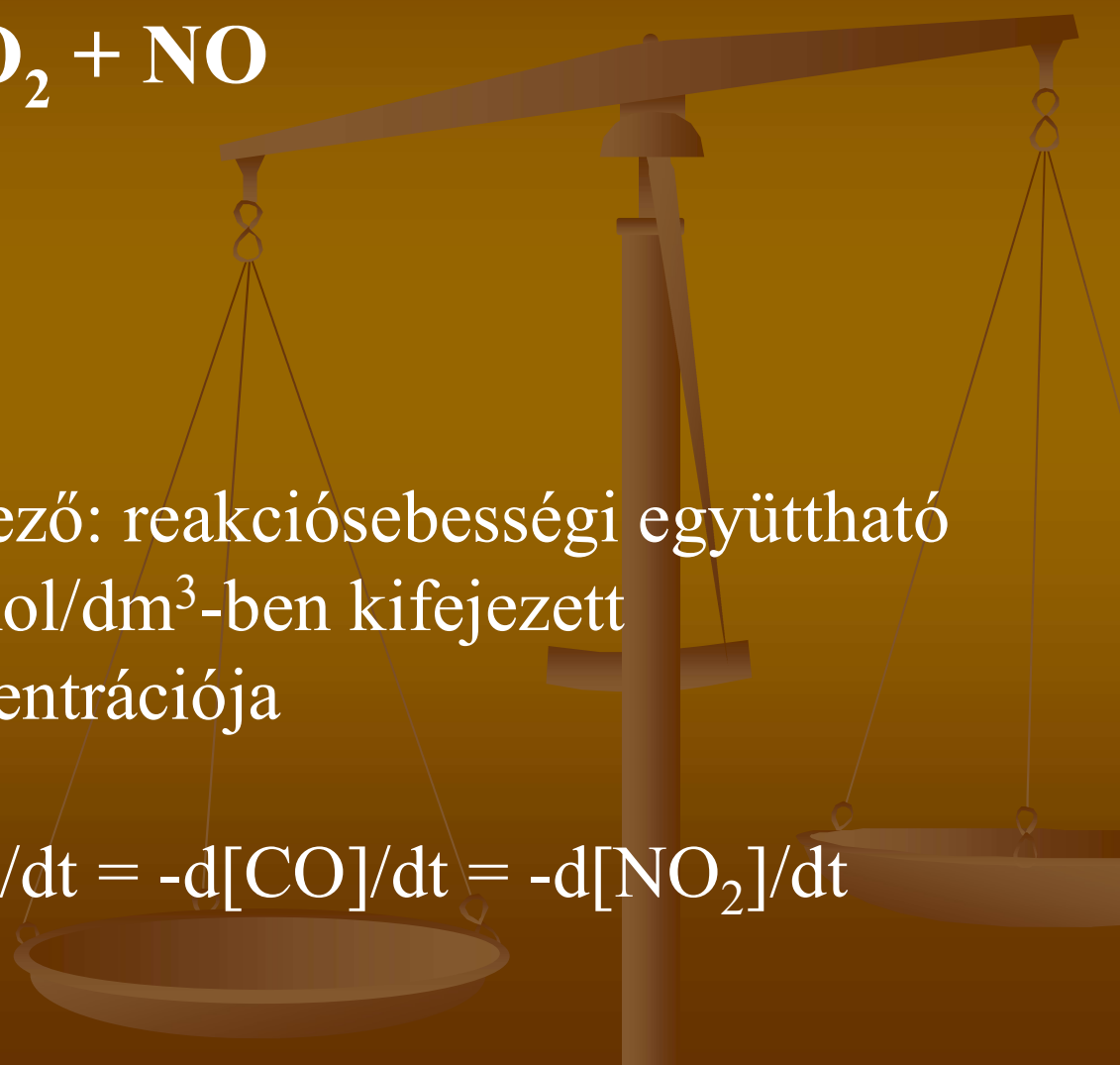
$$v = k[\text{CO}][\text{NO}_2]$$

v reakciósebesség

k arányossági tényező: reakciósebességi együttható

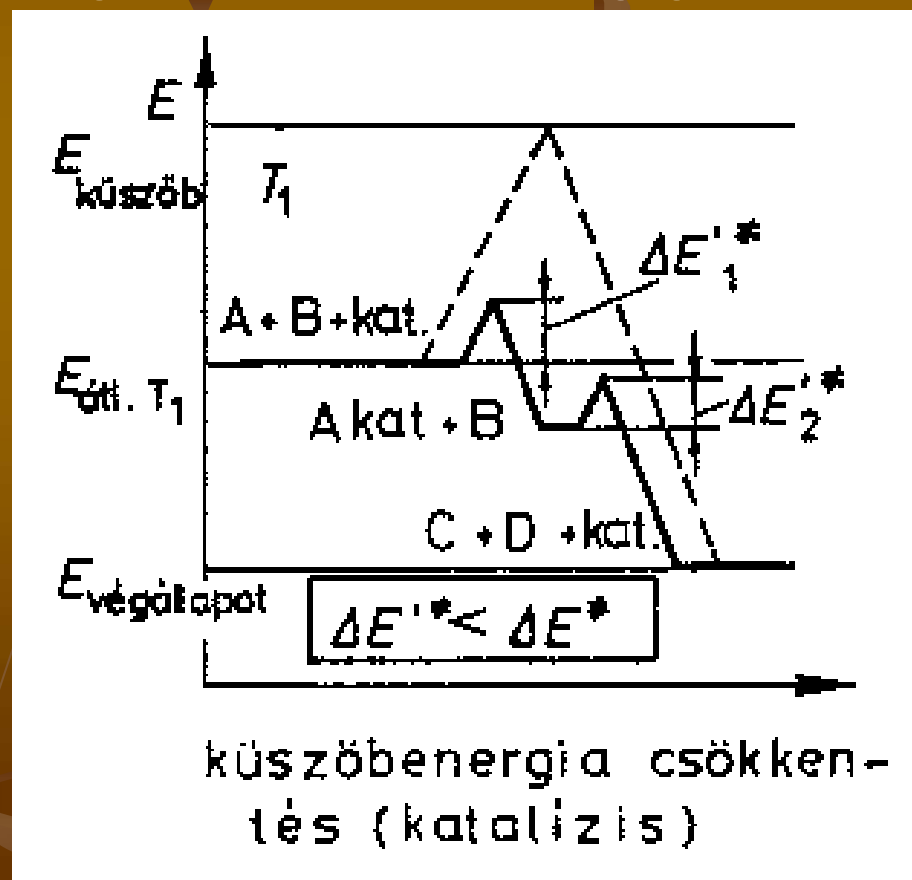
[...] az adott anyag mol/dm³-ben kifejezett
pillanatnyi koncentrációja

$$v = d[\text{CO}_2]/dt = d[\text{NO}]/dt = -d[\text{CO}]/dt = -d[\text{NO}_2]/dt$$



Katalízis

Katalízis: katalizátorok segítségével az aktiválási energia kisebb egységekre bontható. A katalizátor olyan anyag, amely vagy a reakció sebességét változtatja meg, vagy a termodinamikailag lehetséges de kinetikailag gátolt reakciót lehetővé teszi.



Abszorpció

- *Fizikai abszorpció (fiziszorpció)*
- *Kémiai abszorpció (kemiszorpció)*

Savas gázok megkötése Ca(OH)_2 , CaCO_3 szuszp.

- *Fizikai abszorpció*, amikor a gázkomponens csak egyszerűen „oldódik” az abszorbensben. Ilyenkor a komponens oldódását az egyensúlyi viszonyok, tehát a gáz parciális nyomása és folyadékban lévő koncentrációja szabják meg („Henry-törvény”).

pl.:

széndioxid oldódása vízben,

szerves oldószergőzők elnyeletése vízben.

REVERZIBILIS – MEGFORDÍTHATÓ
REGENERÁLHATÓ

ADSZORBENSEK

Olyan nagy felületű anyagok, melyek felületükön jelentős mennyiségben képesek más anyagokat a felületükön megkötni.

- Sok apró szemcséből állnak
- Porózus anyagok

Aktív szén, Lignitkoks, Szilikagél, Zeolit

A megkötő felület az adszorbens, a megkötött anyag az adszorptívum.

Az adszorpciót befolyásoló tényezők :

- **hőmérséklet** (T emelésével nő a részecskék hőmozgása, csökken az adszorpció)
- **nyomás** (növelése növeli az adszorpciót) (gáz!)
- **adszorbens minősége** (lyukacsos , érdes felület kedvez, illetve a felület polaritása is befolyásol, „hasonló a hasonlót köt meg” elv)
- **oldószer minősége:** részint ő maga is lehet adszorptívum, részint az adszorbeálódó anyag oldhatóságát befolyásolja.

A tételek rövid áttekintése

2. Mutassa be a vizek védelmét szolgáló műszaki megoldásokat technológiákban, példákon keresztül!

Víz és szennyvíztisztítás kémiai folyamatai

Ivóvíz vas és mangántalanítás levegőztetéssel:

$\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Mn}(\text{OH})_3$ csapadék ülepítés

Ivóvíz arzénmentesítés adszorpcióval

Pl.: vörösiszap, mint adszorber



7. Oldódás, oldhatóság

Vegyület	Oldhatósági szorzat	Vegyület	Oldhatóság g/100g víz)
<u>AgCl</u>	$1,77 \cdot 10^{-10}$	<u>AgNO₃</u>	220
<u>BaSO₄</u>	$1,08 \cdot 10^{-10}$	<u>CuSO₄</u>	21
<u>CaCO₃</u>	$3,36 \cdot 10^{-9}$	<u>FeCl₃</u>	92
<u>CaSO₄</u>	$4,93 \cdot 10^{-5}$	<u>KMnO₄</u>	6,5
<u>HgS</u>	$2,00 \cdot 10^{-54}$	<u>KNO₃</u>	32
<u>PbSO₄</u>	$1,58 \cdot 10^{-8}$	<u>NH₄NO₃</u>	192
<u>FePO₄</u>	$1,3 \cdot 10^{-22}$	<u>NaCl</u>	36
		<u>NaOH</u>	109

$$L = 1,3 \cdot 10^{-22} = [\text{Fe}^{+++}] \cdot [\text{PO}_4^{---}]$$

$$[\text{PO}_4^{---}] = \sim 10^{-11} \text{ mol/dm}^3 \sim 10^{-9} \text{ g/dm}^3 = 10^{-6} \text{ mg/dm}^3 \text{ (ppm)}$$

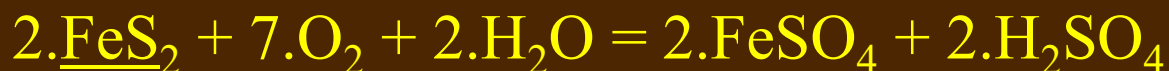
Szennyvíz foszfátmentesítése

Nehézfém tartalmú, savas meddőhányó csurgalékvíz és bányavíz



Látható: $\text{Fe}(\text{OH})_3$ barna csapadék
nem toxikus

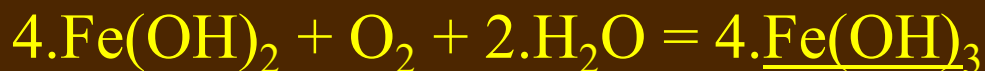
Pirit oxidációja



Vasszulfát hidrolízise:



$\text{Fe}^{++} > \text{oxidáció} > \text{Fe}^{+++}$:



**A szennyvíztisztítás egyik meghatározó lépése
a levegőztetés -> $\text{Fe}(\text{OH})_3$ csapadék képződés**

Nem láthatók: toxikus nehézfém ionok
 Sn^{++} , Pb^{++} , Cu^{++} , Zn^{++} stb.

Az oldhatóvá válás folyamata hasonló:



A fémhidroxidok

$$[\text{OH}^-] = 10^{-14}/[\text{H}^+] \quad \lg[\text{OH}^-] = -14 - \lg[\text{H}^+]$$

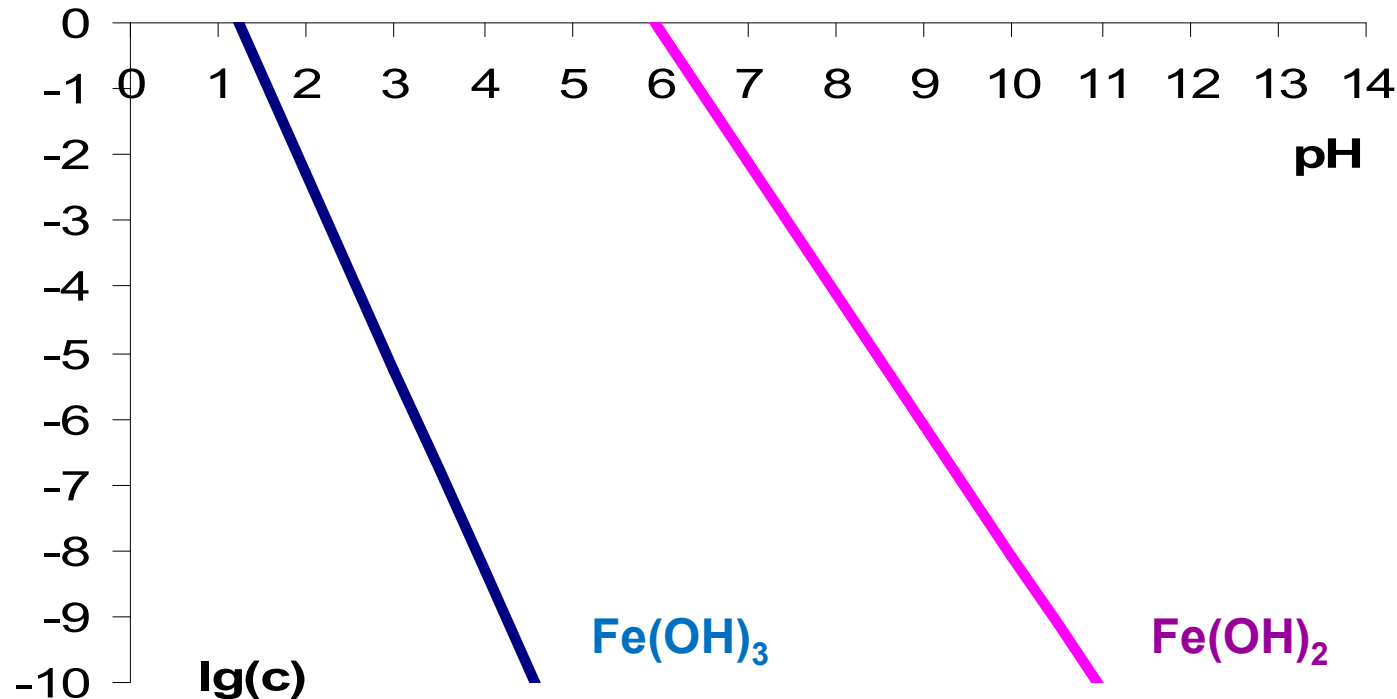
oldhatósága függ a pH-tól és a redox állapottól

$$L = [\text{Fe}^{3+}].[\text{OH}^-]^3 = 1,7 \cdot 10^{-39} \quad [\text{Fe}^{3+}] = 1,7 \cdot 10^{-39} / [\text{OH}^-]^3$$

$$\lg[\text{Fe}^{3+}] = -38,77 - 3 \cdot \lg[\text{OH}^-] = 3,23 - 3 \cdot (-\lg[\text{H}^+])$$

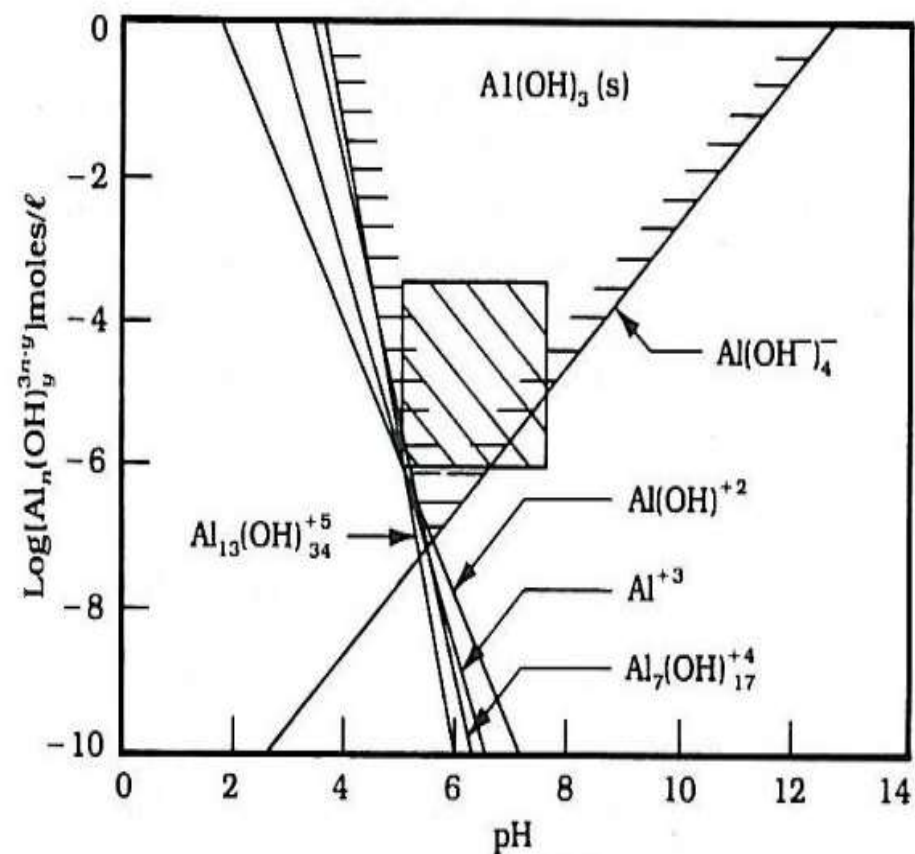
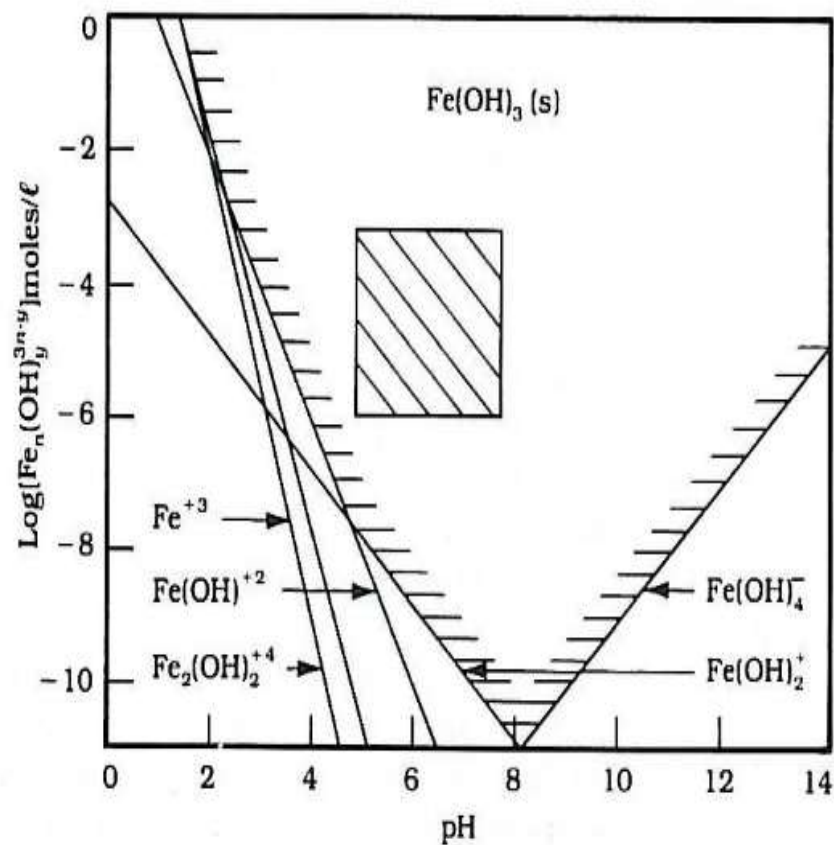
$$L = [\text{Fe}^{2+}].[\text{OH}^-]^2 = 4,9 \cdot 10^{-17} \quad [\text{Fe}^{2+}] = 4,9 \cdot 10^{-17} / [\text{OH}^-]^2$$

$$\lg[\text{Fe}^{2+}] = -16,31 - 2 \cdot \lg[\text{OH}^-] = 25,69 - 2 \cdot (-\lg[\text{H}^+])$$

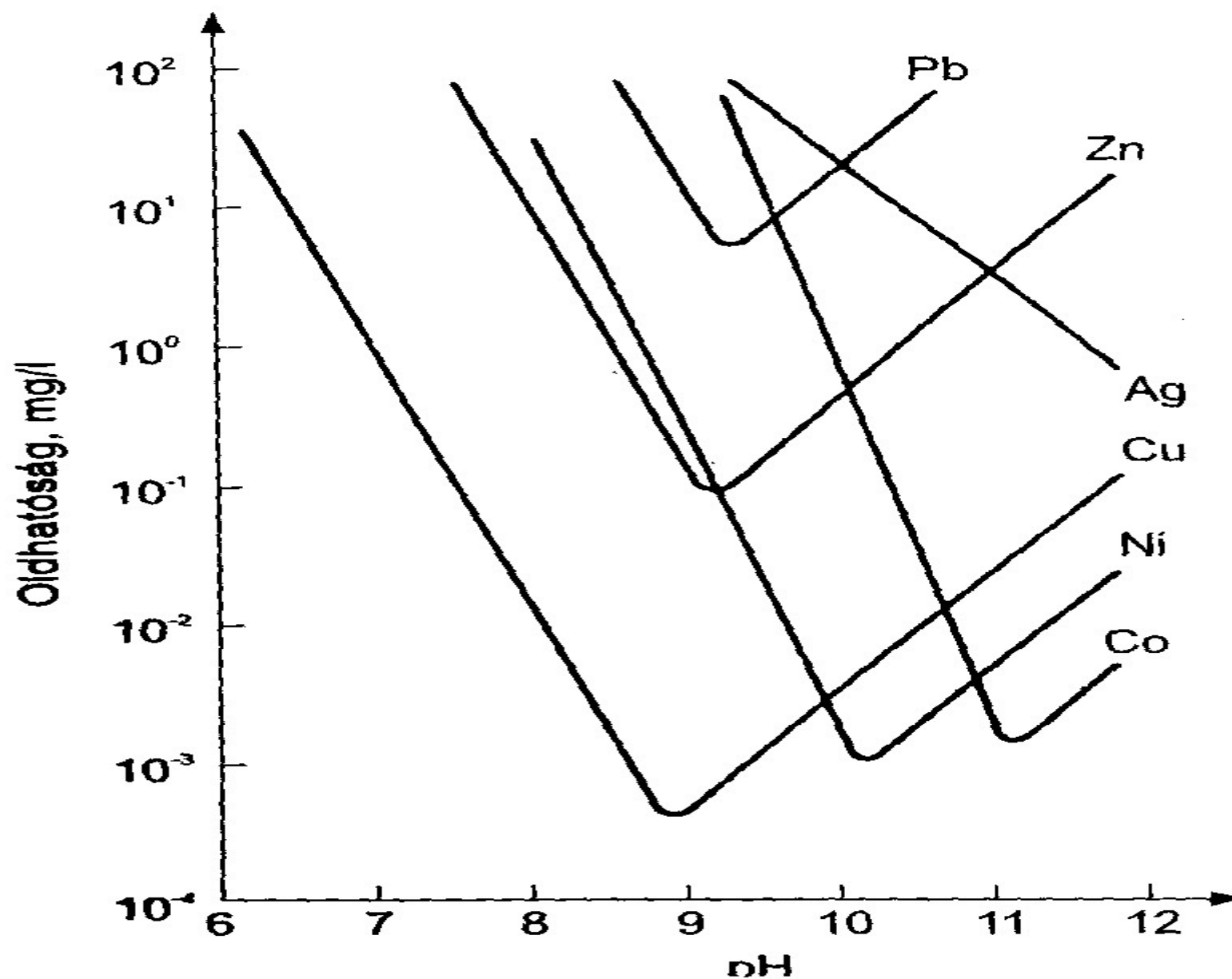


Fémhidroxidok oldhatósága

Komplexbépződés befolyása



Vas-hidroxid és alumínium-hidroxid oldhatósága a pH függvényében (Reynolds és Richards 1996)



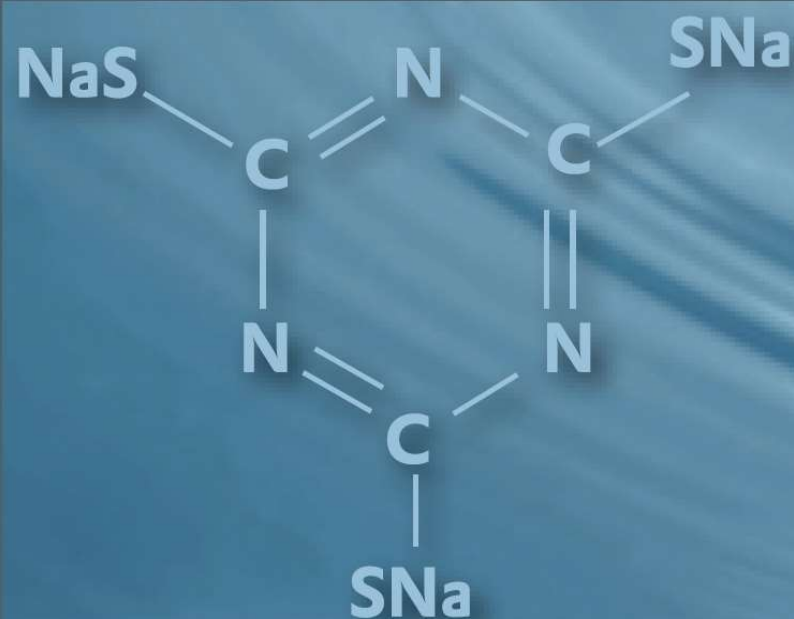
5.51. ábra. Néhány nehézfém-hidroxid oldhatósága a pH-értéke függvényében

Komplex szennyezők kicsapátása

- Lúgos bontás – hidroxo komplex
- Komplexképződési egyensúly
 - szabad komplexképző eltávolítása (másik fázis, oxidáció)
 - Erősebb csapadékképző komplex

Trimercapto-s-triazin

tmt 15® szennyvizekben oldott, komplex kötésű, egy- és kétértékű nehézfémek (pl. ólom, kadmium, réz, nikkel, higany, ezüst) kicsapására, mivel ezeket komplexképző anyagok jelenlétében nem lehet hidroxidok formájában kicsapni.



Szennyezések csapadékképzésen alapuló elválasztása

Kolloid szennyezők eltávolítása (koaguláció)

Részecskék **elektromos töltésének csökkentése**

pH függvényében – H^+ ill OH^- ionok megkötődése
(izoelektromos pont)

Védőkolloidok (szerves makromolekulák, detergenssek)

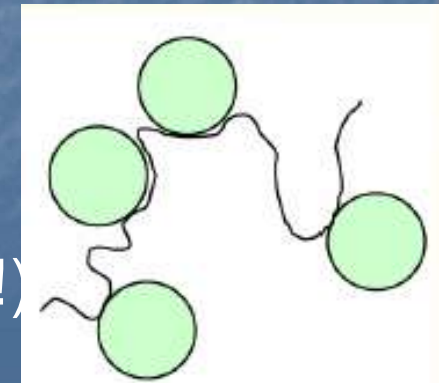
elbontás (mikrobiológia – eleven iszap)

detergens **megkötés** polielektrolittal

Hídképző flokkuláció polimerrel

alacsony koncentrációban

(magasabb koncentrációban védőkolloid!)



1. Koaguláció - flokkuláció

A koaguláció és flokkuláció fontos lépése az ivóvíz- és iparivíz- tisztításnak és az ipari szennyvizek tisztításának. Itt a polielektrolit feladata a szervesetlen fémsó koaguláns mellett a kialakult mikropelyhek flokkulálása, nagyobb, ülepíthető flokkok kialakítása.

A fázisszétválasztás típusai:

- Ülepítés
- Flotálás
- Szűrő kondicionálás



2. Iszapvíztelenítés

Az iszapok víztelenítéséhez a gravitációs sűrítésnél jelentősen nagyobb térfogatcsökkenést és szárazanyagtartalmat érhetünk el a polielektrolitokkal történő kondicionálással.

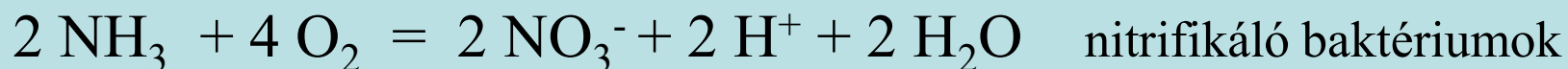
Az iszapvíztelenítés típusai:

- Gravitációs sűrítés
- Gépi iszapvíztelenítés



Néhány nitrogén redox folyamat

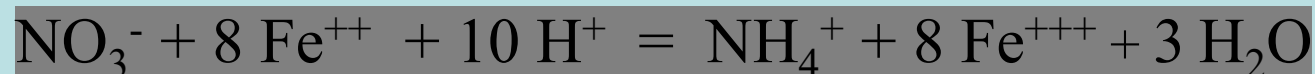
Nitrifikáció



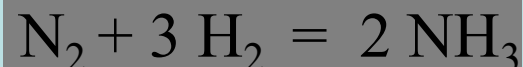
Denitrifikáció a szennyvíz-tisztításban



Nitráttartalom meghatározás kénsavas roncsolatból



Ammóniagyártás



Ammóniumnitrát tűz és robbanásveszélyessége



A tételek rövid áttekintése

~~3. Mutassa be a talajok védelmét szolgáló műszaki megoldásokat technológiákban, példákon keresztül!~~

Redox rendszerek és korrózió

Kemalap6_20-ból



Redoxireakciók

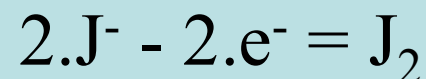
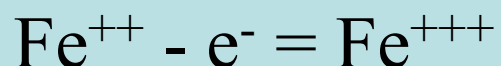
Redoxireakció: elektronátadási folyamat

Oxidáció: „oxigénnel való reakció”

a szén elégetése, rozsdásodás (a fémek oxidációja)

alkohol $\rightarrow$ aldehid $\rightarrow$ karbonsav

elektronleadás (oxidációs szám nő)



Redukció: „oxigén leadás”

Fémek előállítása oxid érceikből (Fe_3O_4 , Al_2O_3)

„hidrogénezés” olefin $\rightarrow$ parafin, margaringyártás

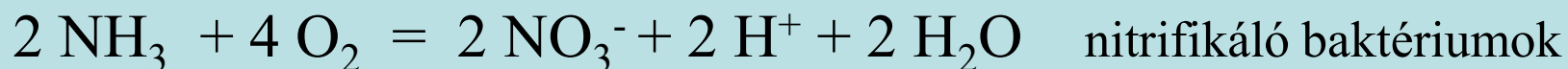
elektronfelvétel (oxidációs szám csökken)



Egy anyag csak akkor oxidálódhat, ha a leadott elektronokat egyidejűleg egy másik anyag felveszi

Néhány nitrogén redox folyamat

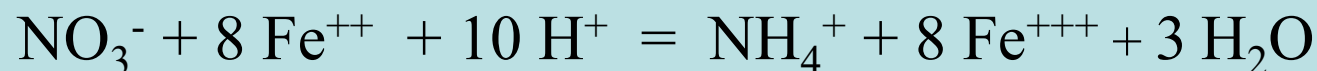
Nitrifikáció



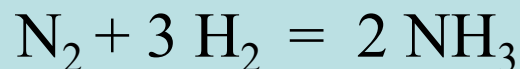
Denitrifikáció a szennyvíz-tisztításban



Nitráttartalom meghatározás kénsavas roncsolatból



Ammóniagyártás



Ammóniumnitrát tűz és robbanásveszélyessége

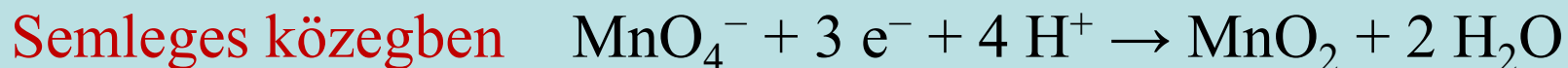
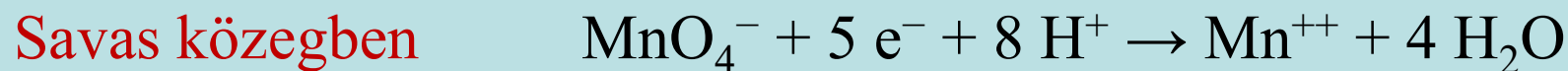


Néhány redox folyamat

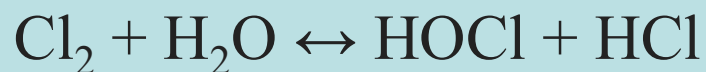
Talaj szervesanyag-tartalmának meghatározása (Tyurin módszer)



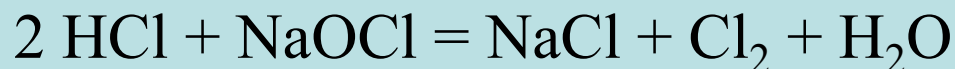
Kálium-permanganát (KMnO_4) oxidáló hatása



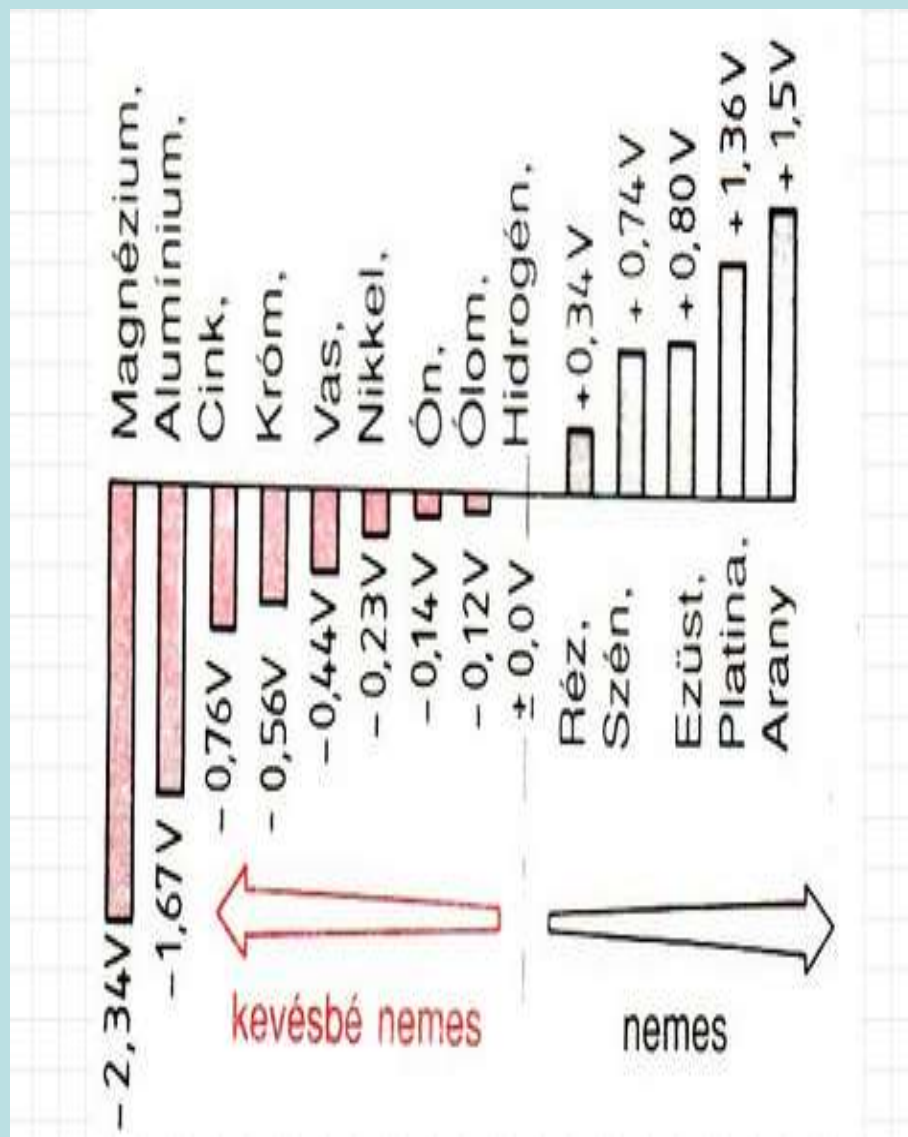
Fertőtlenítés klórral, hypo-val, klórmésszel



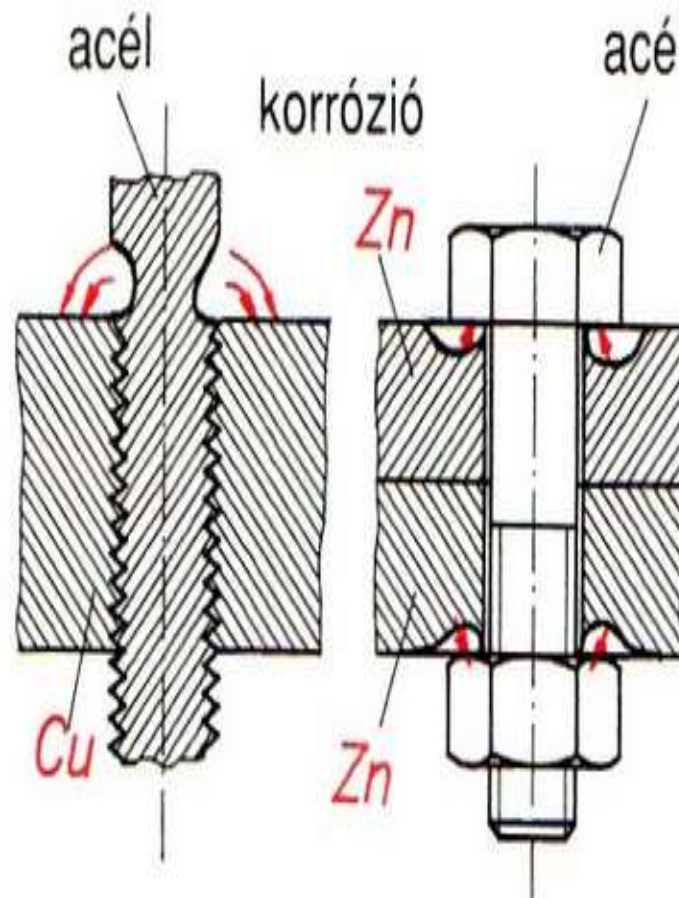
A hypo és a sósav reakciójából klórgáz keletkezik!



Elektrokémiai korrózió két fém csatlakozásakor



5) **Kontaktkorrózió:** Különböző anyagú fém alkatrészek összeszerelésénél az érintkezési felületeken jön létre. Ebben az esetben mindig a **kevésbé nemes fém károsodik**. Kontaktkorrózió alakul ki pl. réz, vagy horgany lemezek acél csavarral való kötése esetén.



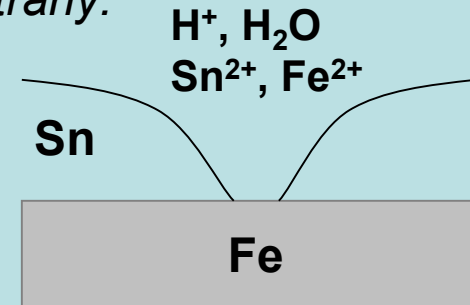
Korrózióvédelem

Passzív:

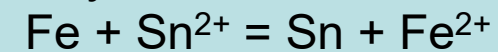
festék, v. nagy ε^0 -ú fém (pl. Sn),
vagy tömör oxidréteg (pl. Al_2O_3)

kis ε^0 -ú fém

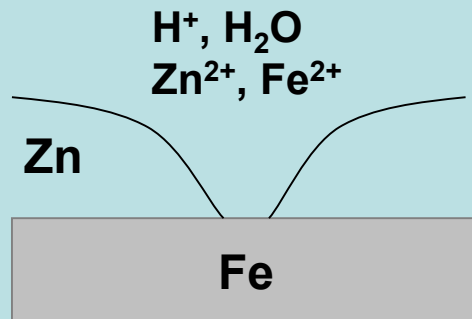
hátrány:



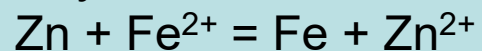
helyi elem:



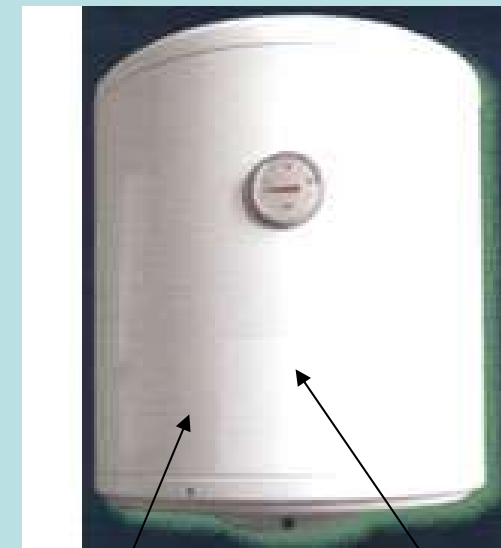
Aktív:



helyi elem:



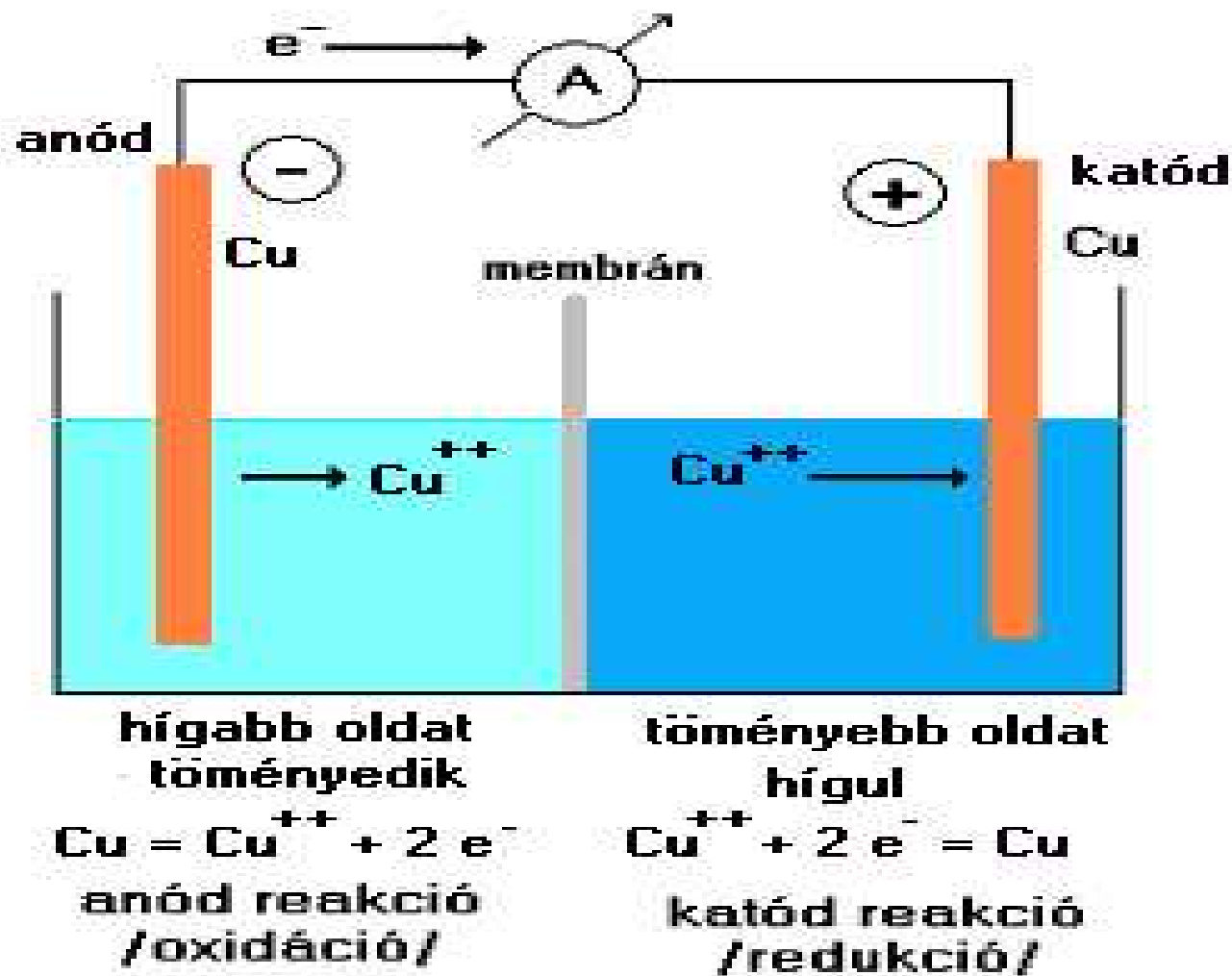
Védő anód



Fe

belül zinkrúd

Koncentrációs elem

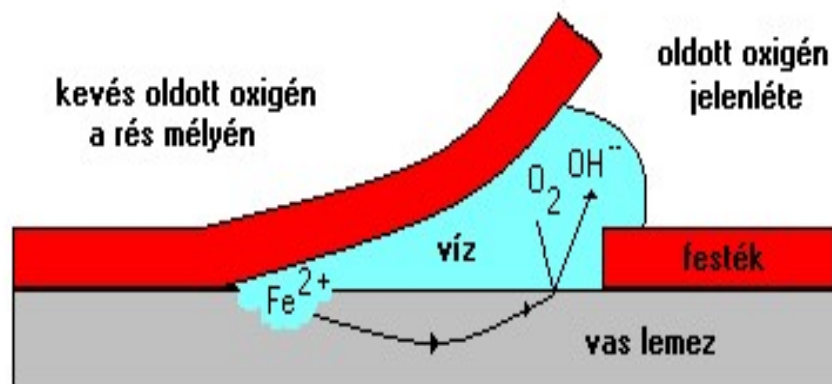


$$E_{\text{cella}} = E^0 + (RT/zF) * \ln[\text{tömény}] - E^0 - (RT/zF) * \ln[\text{híg}]$$

$$E_{\text{cella}} = (RT/zF) * \ln \frac{[\text{tömény}]}{[\text{híg}]} = 0,02568 * \ln \frac{[\text{tömény}]}{[\text{híg}]} \quad (25^\circ\text{C})$$

Dr. Bajnóczy Gábor BME

Koncentrációkülönbség okozta korrózió (alározsdásodás)



kiszáradás után a nagytérfogatú korróziós termék felszakítja a festékréteget

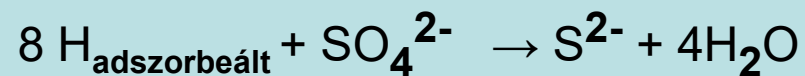


Biológiai korrózió

Biológiai folyamat által előidézett elektrokémiai korrózió

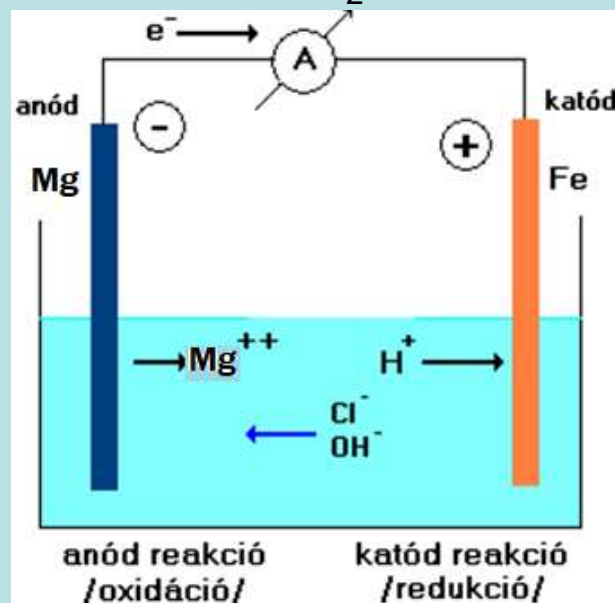
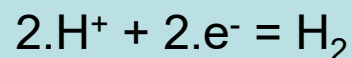
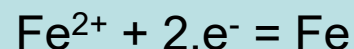
Szulfátredukáló baktériumok:

oxigénmentes környezetben a katódon képződő hidrogént használják fel szulfát redukcióra



A képződő szulfid megtámadja fémet és laza fém-szulfidot képez

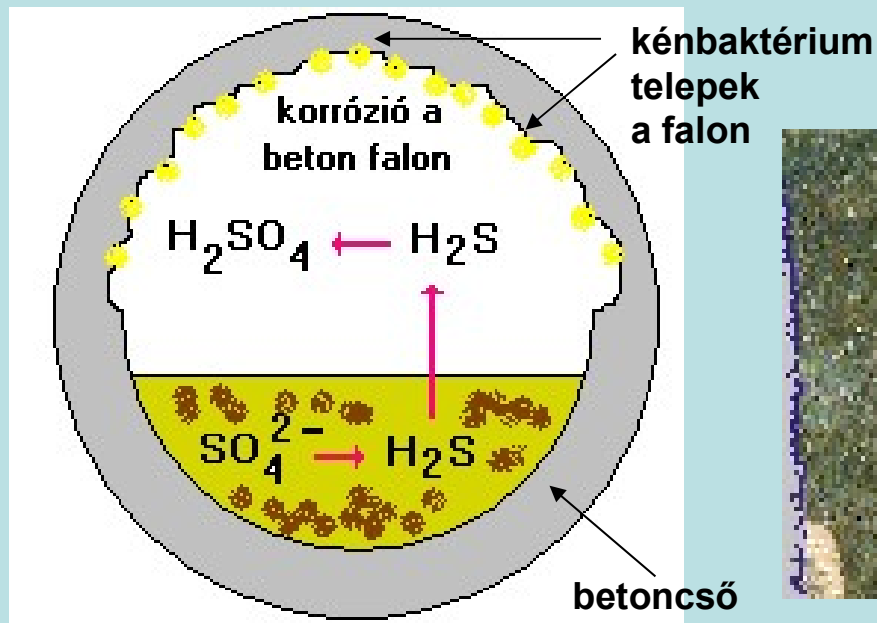
A katódon adszorbeálódott hidrogént, amely fékezi a korróziót eltávolítja, így a korrózió gyorsul



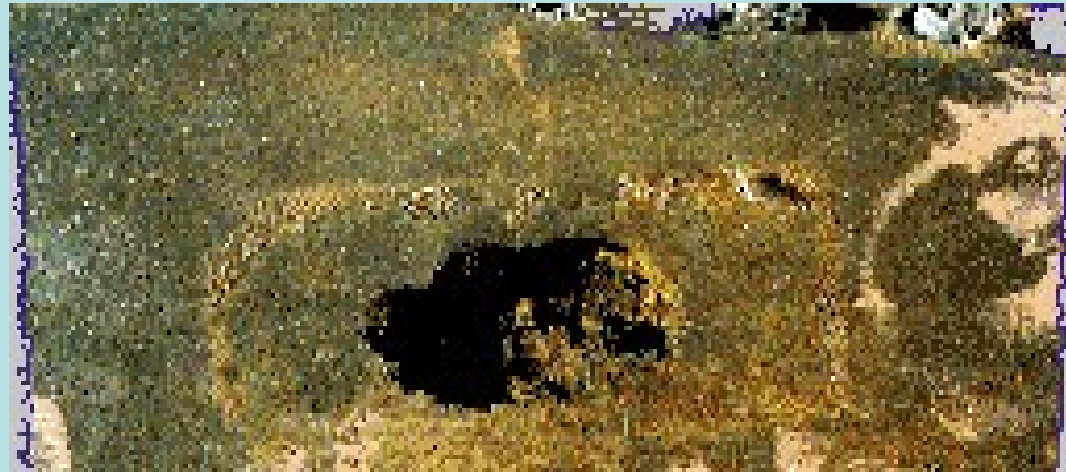
Fűtőolaj tartály kilyukadt fala.
Gyakori korróziót okoz az olajiparban.

Biológiai korrózió

A kénbaktérium oxigén tartalmú környezetben szulfid-iont kénsavvá tud oxidálni



BETON
csatorna csövek korróziója



Korrózió a földgáz vezetéken
A csőben van víz és hidrogén-szulfid, amelyet a kénbaktérium kénsavvá oxidál. A képződő sav miatt lyukad ki a cső.

A tételek rövid áttekintése

17. Kolloid rendszerek, felületi jelenségek az ipari technológiákban.

Kolloid rendszerek és tulajdonságaik.

Felületaktív anyagok és alkalmazásuk.

Kemalap10_20

Az adszorpció, adszorbensek.

Kemalap11_20



A tételek rövid áttekintése

16. ~~Kémiai ipari technológiai megoldások a környezet védelmében.~~

~~Az abszorpció (fizikai, kémiai).~~

~~Az adszorpció, adszorbensek.~~

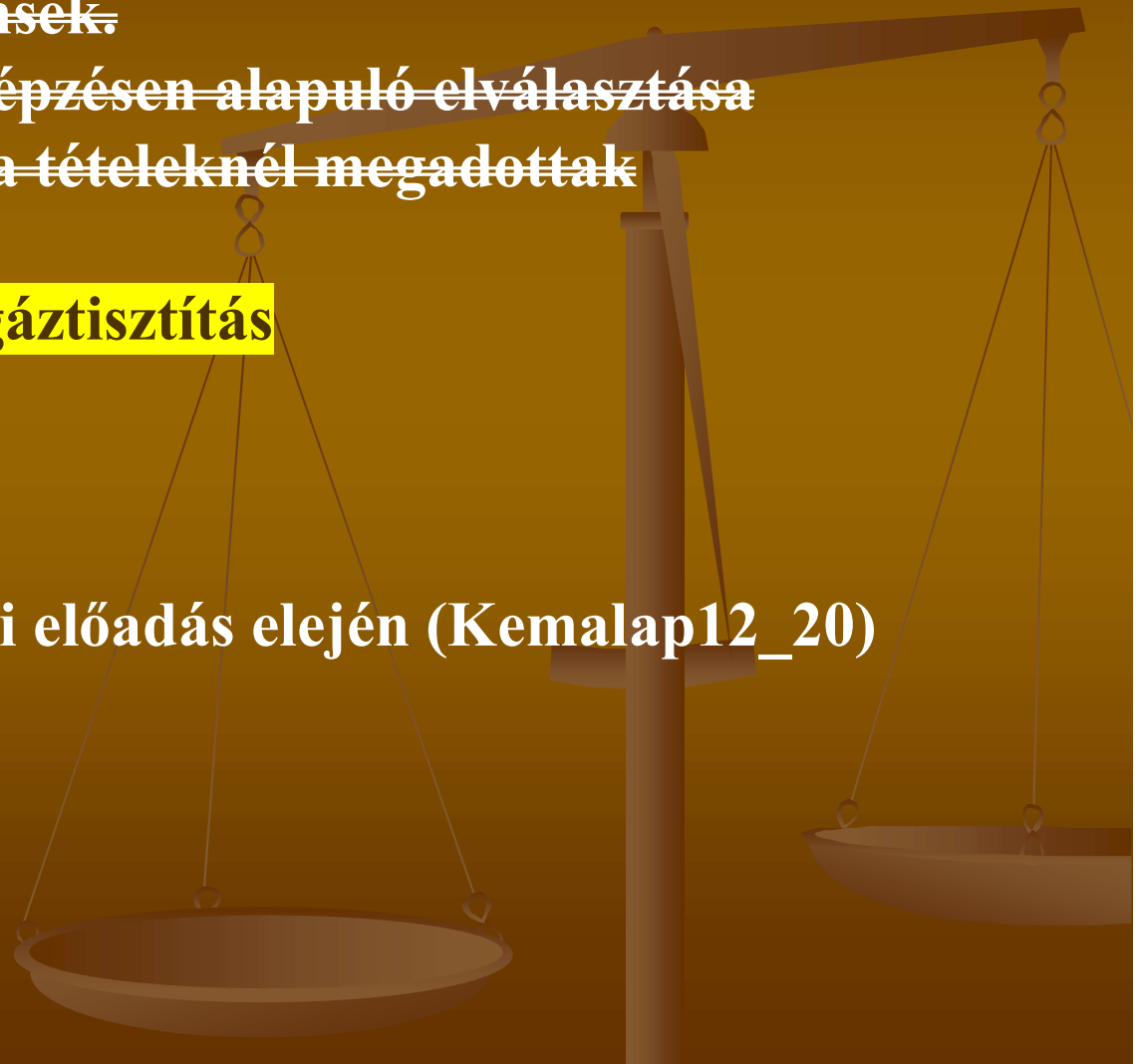
~~Szennyezések esapadékképzésen alapuló elválasztása~~

~~+ az 1., 2., 3. záróvizsga tételeknél megadottak~~

Hőbontás, oxidáció, füstgáztisztítás

Kemalap2_20-ból

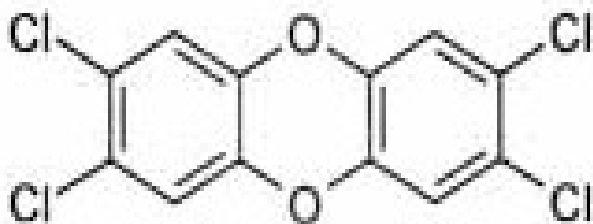
Füstgáztisztítás a mai előadás elején (Kemalap12_20)



Égés során keletkező toxikus anyagok

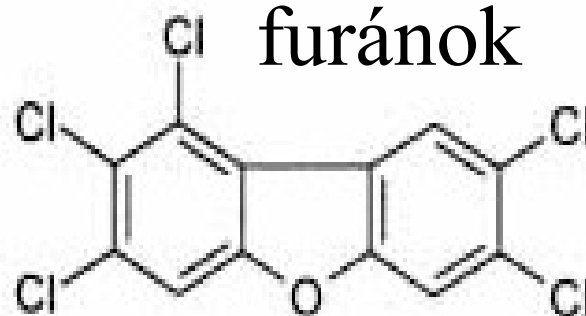
PCDD/PCDF (Poliklór- dibenzodioxin, dibenzofurán)

dioxinok



tetraklór-dibenzo-dioxin (TCDD)

furánok



pentaklór-dibenzo-furán (PCDF)

700-800 °C-on klórtartalmú anyagok (PVC) jelenlétében.
Elkerülhetők 1200 °C feletti égetéssel, gyors hűtéssel.

NO_x

1300 °C felett: $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{NO}$

Dízel motor, Villámlás

Tökéletlen égés

Kevés oxigén, alacsony hőmérséklet



Fűtési balesetek, kohó, belsőégésű motorok

Részleges levegőhiány - tökéletlen keveredés

Toxikus gázok (CO, H₂S)

Széngáz – a CO szagtalan – H₂S intenzív szag

PAH (policiklusos aromás szénhidrogének),

Koromképződés

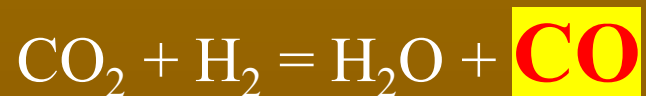
Füst

Szénhidrogén szintézis napenergiával

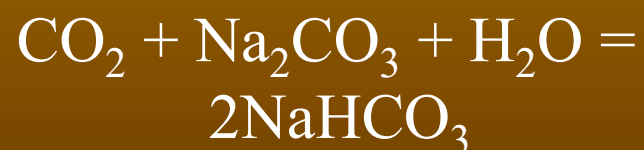
Fischer–Tropsch-eljárás $\text{CO} + 2 \text{H}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{-(CH}_2\text{)-}$ metilén gyök

Alapanyagok:

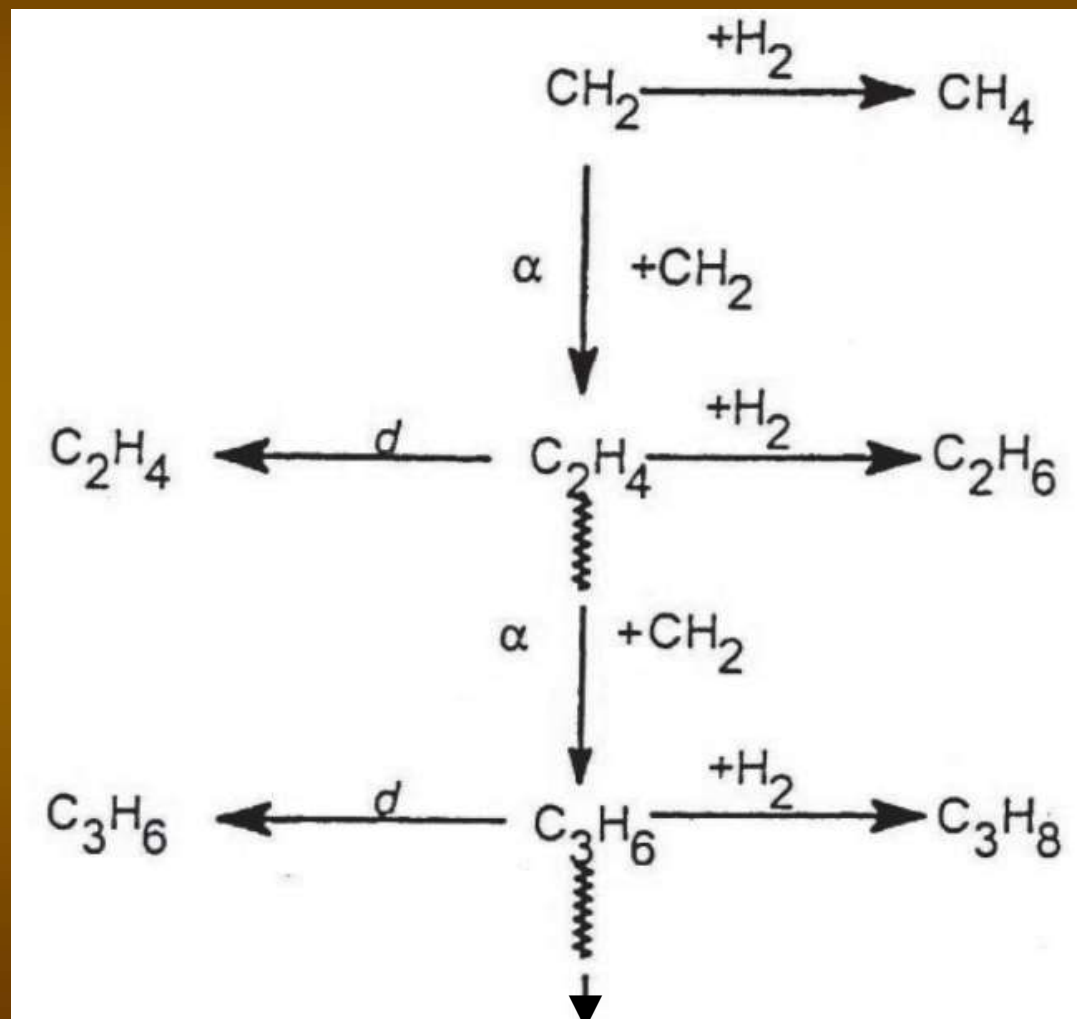
H_2 – vízbontással
nap és szélenergia
időszakos elektromos
energia többlet



CO_2 kivonás füstgázból



100 °C-on a CO_2 felszabadul



The Fischer–Tropsch Process: 1950–2000. Catalysis Today, Vol. 71.
No. 3–4. 227–241. alapján

http://www.vmtt.org.rs/mtn2016/471_481_Kiss.pdf

A termikus hulladékkezelési eljárások

Tüzelés

- Levegőbevezetés: légfelesleg tényező > 1
- Tüzelési hőmérséklet: 900-1200 °C
- Keletkező reakció termékek: füstgáz, kiégett salak
- Füstgáz főbb komponensei: CO_2 , H_2O , O_2 , N_2

A vegyes kommunális hulladék égetés során nagy mennyiségű (inert) salak keletkezik. A pernye veszélyes hulladék. Az összetett füstgáztisztítás nemcsak költséges, hanem veszélyes hulladékokat is termel.

A szelektíven gyűjtött műanyag hulladék, vagy a kommunális hulladékból szeparált másodlagos tüzelőanyag (RDF) cementgyárakban és szénérőművekben energetikailag hasznosítható.



A műanyag hulladékok a
vegyes kommunális
hulladékból is szeparálhatók.

RDF Refuse **D**erived **F**uel



Pirolízis

A **hőbontás (pirolízis)** a szerves anyagú hulladék lebontása levegőtől elzárt kívülről fűtött reaktorban. A reaktor rendszerint forgó dob, vagy keverőcsigával ellátott henger.

A hőbontás során a szerves hulladékból háromféle termék:

- **pirolízis gáz** (kis szénatomszámú szénhidrogén, főleg metán) jelentős részben a reaktor fűtésére, és gázmotorral elektromos energia termelésre használják.
- **folyékony termék** (pirolízis-olaj, kátrány, szerves savakat tartalmazó vizes oldat)
- **szilárd végtermék** (piroliziskokszt) keletkeznek.

A keletkező termékek aránya és összetétele függ a reakció feltételeitől:

hőmérséklet
reakcióidő,
szemcsenagyság,
keveredés

A hőbontás alaptípusai: (a hőmérséklet növelésével több gáz)

- kis- és középhőmérsékletű eljárások (450-600 °C)
- nagyhőmérsékletű eljárások (800-1100 °C)
- nagyhőmérsékletű salakolvasztások eljárások (>1200 °C)

A salakolvasztásos eljárás célja a gáznemű végtermék-kihozatal növelése, másrészt a környezettel szemben teljesen közömbös, kiégett maradékanyag biztosítása (az olvasztott salakgranulátum gyakorlatilag bárhova lerakható)

A végtermék hasznosítható:

- **energiahordozó**ként (fűtőgáz, tüzelőolaj, koksz),
- **vegyipari másodnyersanyag**ként (pl. a gázterméket szintézisgázzá konvertálva metanol előállítás, pirolízis olajból motorhajtóanyag)
- egyéb célokra (**talajjavítás** szilárd, szénben dús maradékkal; **fakonzerválás** vizes maradékkal; granulált salakolvadék **építőipari adalékanyag**ként stb.)

Megfelelő gazdasági körülmények között a pirolízis lehet az a technológia, amellyel az óceánokon úszó szemétszigetek tankhajókkal olajfinomítókba szállítható pirolízis olajjá alakíthatók.

Elgázosítás

Gázosító közeg: oxigén és vízgőz

Elgázosítási hőmérséklet: $> 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$

Keletkező reakciótermékek: éghető gáz, folyékony salak

Gázösszetétel: $\text{CO}, \text{H}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$

Plazmatechnológia

•**Első lépcső:** magas hőmérsékletű pirolízis (salakolvasztó kamrában), ahol a szükséges energiát plazmaégő biztosítja.

A plazmaív egyenáramú feszültségforrás hatására a salakfürdő és a plazmaégő között alakul ki.

- Hőmérsékletek:

- Plazmaív: kb. $20000\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Salakolvadék: kb. $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$

•**Második lépcső:** a pirolízis gáz tökéletes elégetése
 $1200 - 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on