MAGYAR MÉRNÖK KAMARA

VEGYÉSZMÉRNÖK TAGOZAT

KORRÓZIÓVÉDELMI TECHNOLÓGIAI TERVEZÉS

FÉMEK KATÓDOS, VALAMINT FÉMEK ÉS BETONOK PASSZÍV KORRÓZIÓVÉDELME

Felkészülő Vizsgaanyag Tervezői Jogosultság Megszerzéséhez

Készítette:
Zanathy Valéria

Ellenőrizte:
Varga Géza

Veszprém, 2022

Tartalom

Bevezetés ... 3
1. Általános kérdések a korrózióról és korrózióvédelemmel kapcsolatban ... 3
2. Korrózió elleni védelem fajtái ... 4
3. Fémek katódos korrózióvédelme ... 4
3.1. Az elektrokémiai korrózió értelmezése ... 8
3.2. Elektrokémiai korrózió szükséges és feltételei ... 8
3.3. A talaj korróziós értékelésére vonatkozó hatályos (2022.09.28.) szabványok: ... 10
3.4. Korróziósebességet módosító katódos védelmi szint, illetve talajellenállás változás 11
3.5. Katódos védelmi rendszer ... 21
4. Fémek és beton bevonatos korrózióvédelme ... 27
4.1. Fémek ... 30
4.2. Fémek korrózióvédelme bevonatokkal ... 34
4.2.1. Szervetlen nem fémes bevonatok ... 34
4.2.2. Fémbevonatok ... 35
4.2.3. Tűzihorganyzás ... 37
4.2.4. Szerves bevonatok ... 37
4.2.5. Kötőanyag, filmképzők ... 37
4.2.6. Pigmentek ... 41
4.2.7. Oldószerek, hígítók ... 42
4.2.8. Adalékanyagok ... 43
4.2.9. Tixotrópia ... 43
4.3. A filmképzés folyamata ... 43
4.3.1. Fizikai filmképzés ... 44
4.3.2. Kémiai filmképzés ... 45
4.4. A filmek tönkremenetele ... 45
4.5. Festékanyagok csoportosítása ... 46
4.6. A bevonatrendszerek kialakítása ... 47
4.7. Tűzgátló festékek ... 53
4.8. Acélszerkezetek korrózió elleni védelmének tervezése ... 54
4.9. Beton, vasbeton ... 55
4.10. Fizikai korrózió ... 56
4.11. Kémiai korrózió ... 57

Bevezetés

A korrózióvédelmi technológiai tervezési részszakterülethez a Mérnöki Kamara Vegyészmérnöki Tagozatán belül a Korróziós Szakosztály a jogosultsági vizsgához segédanyagot és kérdéseket állított össze.

Az épített környezetben alkalmazott szerkezeti anyagok sokrétűek, ezek minősége használat során a környezet hatására romlik, használati értékük csökken. A szerkezeti anyagok elveszthetik eredeti funkciójukat, különböző súlyos veszélyt jelenthetnek a környezetre. A szerteágazó szerkezeti anyagok közül a fémek és a beton védelmével kapcsolatos rövid ismereteket és ezekhez kapcsolódó kérdéseket foglaltuk össze (fa és műanyag szerkezetek védelmével nem foglalkoztunk). A rendelet szerint korrózióvédelmi technológiai tervezést vegyészmérnök, biomérnök, környezetmérnök, korrózióvédelmi szakmérnök diplomával rendelkezők végezhetnek, megfelelő gyakorlat elsajátítása után. E rövid összeállításban nincs mód a korrózióvédelem széles területét átfogóan tárgyalni, hiszen több tudományt, szakterületet érintő, interdiszciplináris tudomány a korrózióvédelem. A korróziós szakmában dolgozók egy-egy részszakterületen rendelkeznek elmélyült, szakmailag megalapozott ismeretekkel.

A Vegyészmérnöki Tagozat döntése értelmében a korrózióvédelem tervezést három részszakterületre bontottuk:

- fémek katódos védelme
- fémek és beton passzív védelme
- fémek inhibitoros védelme

1. Általános kérdések a korrózióról és korrózióvédelemmel kapcsolatban

Általában a korrózió a szerkezeti anyagoknak a környezet hatására spontán módon végbement károsodása (egy természetes folyamat, az energiaminimumra való törekvés eredménye), amely a szerkezeti anyag és a környezeti fázis közötti határfelületen létrejött kémiai, elektrokémiai, fizikai-kémiai és biológiai kölcsönhatások összetett eredménye.

Fémkorrózió: Fizikai-kémia és mikrobiológiai kölcsönhatás a fém és környezete között, amely változást eredményez a fém tulajdonságaiban és amely gyakran vezet a fém, a környezet, illetve az ezekből álló technikai rendszer funkcionális jellemzőinek romlásához.

Beton tönkremenetele: A megszilárdult betont, betonterméket, vasbeton vagy feszített vasbeton szerkezeti elemet használata során a mechanikai és fizikai károsító hatásokon kívül kémiai korróziós hatások is érhetik.

2. Korrózió elleni védelem fajtái

Általános korrózió elleni védekezés módszerek:

- Megfelelő szerkezeti anyag kiválasztása
- Közeg agresszivitásának csökkentése
- A szerkezeti anyag alkalmas anyaggal történő elzárása a közegtől

Fémek korrózió elleni védelme:

- Megfelelő fém, ötvözet kiválasztása
- Objektum tervezésekor korróziós gócok kialakulásának elkerülése
- Közeg agresszivitásának csökkentése
- Elektrokémia védelem
- Inhibitoros védelem
- Védőbevonatok alkalmazása

Beton tönkremenetele elleni védelem:

- Beton összetevőinek kiválasztása az elvárt szilárdságnak és a környezetnek megfelelően
- Adalékanyagok alkalmazása
- Utókezelő szerek alkalmazása
- Védőbevonatok alkalmazása

3. Fémek katódos korrózióvédelme

Fémek korróziója

A fémek a természetben általában vegyületek formájában fordulnak elő (alacsonyabb energiaszintet jelent). A fémeket érceikből energia-befektetéssel lehet előállítani, magasabb energia szintre kerülnek. A fémekből sokféle szerkezetet, tárgyat állítunk elő. A környezetben a fémek alacsonyabb energiaszintre törekednek, a környezetben lévő különböző anyagokkal vegyületeket alkotnak, így a kohókban befektetett energia felszabadul. Ez viszont azzal jár, hogy szerkezeti anyagként tönkremennek.

A fémkorrózió: fizikai-kémia kölcsönhatás a fém és környezete között, amely változást eredményez a fém tulajdonságaiban és amely gyakran vezet a fém, a környezet, illetve az ezekből álló technikai rendszer funkcionális jellemzőinek romlásához.

Kémiai korrózió
Kémiai korrózió esetén a korrodáló szerkezeti anyag és a vele érintkező korrozív közeg komponensei között, - azaz a fázishatáron, - elektromos töltésátmenet nem következik be. Természetesen itt is a korrodálódó anyag oxidációjáról van szó, azonban ez az oxidáció nem jár elektromos töltések térbeli szétválásával. Kémiai korrózió a fémek savakban történ oldódása, a fémes szerkezeti anyagok gázokkal, - nedvesség kizárása mellett, - történő kölcsönhatása.

Elektrokémiai korrózió
Elektrokémiai korrózióról akkor beszélünk, ha a korrodáló szerkezeti anyag oxidációja és az „oxidáló” anyag redukciója térben elkülönülve, töltésátadással – legalább 1 atomátmérőnyi (4Å) méretben, - elkülönülve megy végbe. A térbeli elkülönülés természetesen makroszkópikus

mérték is lehet. Az oxidáció és a redukció térbeli elkülönüléséhez elektromos vezetőképességgel rendelkező folyadék, elektrolit (oldat, vagy só-olvadék) jelenléte elengedhetetlenül szükséges. A fémes szerkezeti anyag felületével érintkező elektrolit és a fém határfelületén elektromos kettősréteg, és ennek következtében elektromos potenciál alakul ki, azaz fémelektród(ok) jön(nek) létre.

A korrózió bonyolult mechanizmusú redoxi folyamat. Redoxi folyamatoknak (*red*ukciós-*oxi*dációs folyamatoknak) vagy redoxi reakcióknak nevezzük azokat a kémiai reakciókat, melyek az oxidációfok megváltozásával járnak. Ezekben a folyamatokban az egyik reakciópartner felvesz, a másik pedig veszít, lead elektronokat. Az elektront leadó partner oxidálódik, oxidációs száma nő. Ezek a reakciópartnerek a redukálószerek. Az elektront felvevő partner redukálódik, oxidációs száma csökken. Ezek az oxidálószerek.

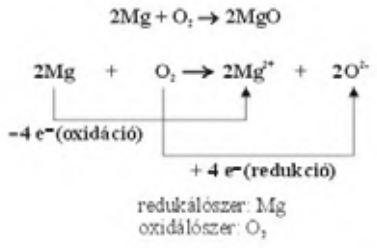
Az oxidációs szám az egyes atomok oxidációs állapotának leírására szolgáló előjeles egész szám. Az elemi állapotú anyagok oxidációs száma 0 (nulla), a pozitív értékek oxidált, a negatív értékek pedig redukált állapotra utalnak. Az oxidációs számok a redoxi reakciók során változhatnak meg. Az oxidációs szám jelzi az egyes atomok *fiktív* (kovalens kötés esetében, pl. HCl) vagy *valós* (ionos kötés esetében, pl. NaCl) elektromos töltését.

Példa: $2 \cdot H_2 + O_2 = 2 \cdot H_2O$ A vízmolekula keletkezése A fenti folyamat leírása: a hidrogéngáz (H_2) égése oxigén (O_2) jelenlétében. A hidrogén oxidálódik (redukálószer), miközben az oxigén redukálódik (oxidálószer). Az oxigén oxidálja a hidrogént.

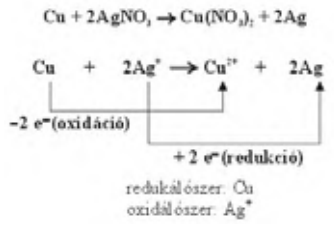
Oxidáció: elektron átadás. Például: $2 \cdot H_2 + O_2 = 2 \cdot H_2O$ esetén a 0 oxidációs fokú hidrogén átadja az elektronját az oxigénnek, ezzel a hidrogén oxidációs foka +1-e növekszik, tehát oxidálódik.
Redukció: elektron felvétel. Például: $2 \cdot H_2 + O_2 = 2 \cdot H_2O$ esetén az oxigén felveszi a két hidrogén atomtól az egy-egy elektront, ezzel az oxigén oxidációs foka 0-ról -2-re csökken, tehát redukálódik.

Az oxidáció elektron leadást, a redukció elektron felvételt jelent. A két folyamat egymást feltételezi, mert egy anyag csak akkor oxidálódhat, ha a leadott elektronokat egyidejűleg egy másik anyag felveszi, így az oxidáló anyag a reakciópartner redukálószere, illetve a redukáló anyag a reakciópartner oxidálószere.

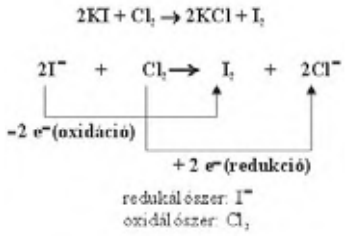
a) **Két elem reakciója:**



b) **Fémek és fémionok reakciója:**



c) Nemfém és nemfémből származó ion reakciója:



Az oxidáció jelentősége: Az oxidációs folyamatok többnyire a *kémiailag kötött energia felszabadulásával járnak*, ezért energiatermelők. Oxidáció során keletkezik hőenergia például a szén, illetve egyéb energiahordozók elégetése során a hőerőművekben. $C + O_2 = CO_2$ (-2818 kJ/mol) Oxidációs (redox) folyamat a szőlőcukor átalakítása az élő szervezetekben, melynek során az élőlények az élet fenntartásához szükséges energiát nyerik.

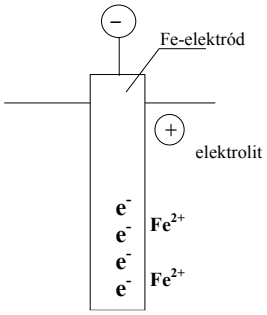
Az elektrokémiai korrózió kialakulásához szükség van egy anódra, egy katódra és egy elektrolitra, amely az anód és a katód között kialakuló elektromos áramot közvetíti. Mindig az anód korrodál inkább, mint a katód. Minél kisebb az anód felülete a katódéhoz képest, annál nagyobb a korrózió sebessége.

Anódos és katódos területek valamennyi vas és acél felületén kialakulnak. Ezeket felületi hibahelyek, szemcse-orientációk, a fém inhomogenitása, helyi feszültségek, vagy szennyezések jelenléte eredményezi. Elektrolit jelenlétében fémionok mennek oldatba. Ugyanakkor a katódra hidrogén ionok vándorolnak, amelyek ott elektron felvétel révén hidrogén gáz formájában leválnak. A hidrogén filmet képez a katódon, amely lassítja a korrózió sebességét. Az atmoszférában bőségesen rendelkezésre álló oxigén bejutása ebbe a filmbe megszakítja a hidrogén filmet, a katód depolarizálódik, a korrózió sebessége megnő.

Félcella
Egy elektród, amely ionok oldatával érintkezik, és egy cella részét képezi. A félcellák különböző típusúak lehetnek, a legegyszerűbb egy fémionok oldatába merülő fémelektródból áll. A legközönségesebb a hidrogén félcella. A félcellát általában elektródnak nevezik.
Normálpotenciál
Fémek ionjainak egységnyi koncentrációjú oldatában mért potenciálértéke hidrogénionokéhoz viszonyítva.
Az elektród redukálódó-, illetve oxidálódókészségének jellemzésére szolgál az elektródpotenciál (cellapotenciál), az elektronok potenciális energiája az elektródon (elvi definíció szerint). Egy félcellában az oldat és az elektrolit között kialakuló potenciálkülönbség. A valóságban olyan relatív érték, melyet egy önkényesen kiszemelt 0-ponthoz, a standard hidrogénelektród potenciáljához viszonyítanak: annak a galvánelemnek az elektromotoros ereje, amelynek egyik elektródja a vizsgált (fém), a másik a standard hidrogénelektród.

Az elektródpotenciál fogalma, mérése.
Ha egy fémet elektrolit oldatba vagy vízbe helyezünk, a fémből, elektronjaikat hátrahagyva, fémionok lépnek ki az oldatba. A folyamat következtében elektromos feszültség alakul ki a fém és a folyadék között, melynek értékét az elektródfolyamatok határozzák meg. Az elektródfolyamat a fém/elektrolit határfelületen töltéscserével lejátszódó kémiai átalakulás. Az ábrán vázolt esetben a kémiai reakció: $Fe^0 \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ (oxidáció). Ebben az esetben a

határfelület közelében a fém negatív, az oldat pedig pozitív töltésű. Az elektródfolyamat következtében alakul ki az ele



Vas oldódása

Az *elektródpotenciál* függ:
- az anyagi minőségtől
- az ionkoncentrációtól
- a hőmérséklettől
- a nyomástól (főleg gázelektródok esetén)

A korrodálódó fém és a korrodáló környezet közötti elektromos feszültség méréséhez létre kell hozni egy olyan cellát, amelyben az egyik elektród a korrodálódó fém, a másik elektród pedig stabil elektródfolyamattal rendelkező összehasonlító elektród. A két elektród között mért elektromos feszültséget nevezzük az összehasonlító elektródra vonatkoztatott potenciálnak.

Összehasonlító elektródok

Az elektród neve	A fém és az elektrolit oldat	Az elektródreakció	Az elektród potenciál, V (25ºC)	A hőmérsékleti együttható, mV/ºC
Hidrogén elektród	Platina + platinakorom+H_2 3,86 mol/l kénsav	$H^+ + e^- = H$	0,000	0,871
Kalomel elektród	Higany kalomel + telített káliumklorid	$Hg_2Cl_2 + 2e^- = 2Hg + 2Cl^-$	0,242	0,65
Ezüst- klorid elektród	Ezüst ezüst-klorid+1mol/l káliumklorid	$AgCl + e^- = Ag + Cl^-$	0,222	0,60
Réz- szulfát elektród	Réz telitett réz-szulfát oldat	$Cu^{++} + 2e^- = Cu$	0,316	0,9

Az összehasonlító elektródot műanyagból, üvegből vagy kerámiából készítik. A korrodáló közeggel a belső tér kapillárison, vagy porózus kerámiából, illetve fából (nyárfa) készült diafragmán keresztül érintkezik. Az összehasonlító elektród alapjele megváltozik, ha a belső terébe a saját anionjától eltérő ion kerül, vagy ha a belső töltésének koncentrációja a beszivárgó víz hatására változik (hígul).

Elektrokémiai feszültségi sor: a kémiai elemek az elektródpotenciáljuk alapján sorba rendezve. Nulla az elektródpotenciálja a hidrogén elektródnak ($H^+ + e > 1/2H_2$). Azok az elemek, amelyek könnyebben adnak le elektront az oldatban, mint a hidrogén elektropozitívak; azok, amelyek az oldatukból elektront vesznek fel, a hidrogén alatt állnak a sorban, elektronegatívak. A sor megadja azt a sorrendet, amely szerint a fémek egymást helyettesíthetik sóikban; az elektropozitív fém helyettesíti a hidrogént a savakból.

Fém megnevezése	Kémiai jele	Standard elektródpotenciál (Volt)
Magnézium	Mg	– 2,38
Alumínium	Al	– 1,66
Cink	Zn	– 0,76
Vas	Fe	– 0,43
Kadmium	Cd	– 0,40
Nikkel	Ni	– 0,23
Ón	Sn	– 0,14
Ólom	Pb	– 0,126
Hidrogén	H	0
Réz	Cu	+ 0,34
Ezüst	Ag	+ 0,79
Higany	Hg	+ 0,80
Platina	Pt	+ 1,2
Arany	Au	+ 1,42

3.1. Az elektrokémiai korrózió értelmezése

A fémek és az ötvözetek korróziója vizes közegben mindig elektrokémiai folyamat, amelynek alapvető lépése a

$$FÉM \rightarrow FÉM^{n+} + n\,e^{-}$$

spontán fémoldódási reakció, anódos oxidáció. Ez a reakció azonban önállóan nem tud végbemenni, kell egy redukciós folyamat, amelynek során a fém által leadott elektronok felhasználódnak. A redukciós folyamat csak akkor tud összekapcsolódni a fémoldódás folyamatával, ha a redukciós folyamat egyensúlyi potenciálja pozitívabb a szóbanforgó fém egyensúlyi potenciáljánál. A fém oldódását lehetővé tevő redukciós folyamatot megvalósító anyagokat katódos **depolarizátoroknak** nevezzük.

A gyakorlatban az esetek többségében három, a korróziót elősegítő katódos depolarizációs folyamattal kell számolni:

1. a víz savtartalmából adódó hidrogénion redukciója

$2\ H_3O^+ + 2\ e^- \rightarrow H_2 + H_2O \quad E^0 = 0{,}00$ volt

2. a víz oldott oxigéntartalmának redukciója

$O_2 + 4\ H^+ + 4\ e^- \rightarrow 2\ H_2O \quad E^0 = +\ 1{,}23$ volt

$O_2 + 2\ H_2O + 4\ e^- \rightarrow 4\ OH^- \quad E^0 = +\ 0{,}40$ volt

pH = 7 esetén mindkét folyamat potenciálja $E^0 = 0{,}81$ volt

3. a víz szabad klórtartalmának (vízművek, uszoda) redukciója

$C1_2 + 2\ e^- \rightarrow 2\ Cl^- \quad E^0 = 1{,}36$ volt

3.2. Elektrokémiai korrózió szükséges és feltételei

1. ***Létezzen két különböző potenciálú hely egymással fémes összeköttetésben.***

A két különböző potenciálú hely létrejöhet két egymástól eltérő anyagi minőségű fém érintkezésekor. Az eltérő anyagi minőség nem csak pl. vasat és cinket jelenthet, hanem

jelentheti ugyanazon fém eltérő rácsszerkezetét (pl. hajlítás), eltérő ötvözetét, eltérő hőmérsékletét is. Egy azonos minőségű és szerkezetű fém felszínén úgy is kialakulhat potenciálkülönbség, ha a fémmel érintkező oldatban koncentrációkülönbség alakul ki valamely oldott anyag szempontjából.

2. ***Az egymással fémes összeköttetésben lévő eltérő potenciálú helyek elektroliton keresztül is kapcsolódjanak egymással.***

Ez a második szükséges feltétel azt jelenti, hogy az elektrokémiai korrózióhoz szükség van egy ionokat tartalmazó, ionok vándorlását lehetővé tevő közegre, amely általában sók, savak vagy lúgok vizes oldata.

3. ***Az elektrolitban kell lenni olyan anyagnak, amely a fém ionos formában történő oldódásakor a visszamaradt elektronokat fel tudja venni.***

Ezeket az anyagokat depolarizátoroknak nevezzük és a gyakorlatban három anyag viselkedhet depolarizátorként: a vízben oldott oxigén, hidrogénion és a klór.

Elektrokémiai korrózió kizárólag csak az említett három szükséges feltétel egyidejű megléte esetén valósul meg, az alábbi egyszerűsített séma szerint. A két különböző potenciálú hely közül a negatívabb anódosan viselkedik, ezen a helyen oxidáció játszódik le, a fém ionosan oldódik:

$$\text{anódfolyamat: Fém} \rightarrow \text{Fém}^{n+} + n\ e^-$$

Az anódfolyamat csak akkor folytatódhat, ha létezik egy katódfolyamat, amelyben egy anyag a felszabadult elektronok felvételére képes, azaz redukálódni tud. A leggyakoribb anódfolyamatok: az oldott oxigén, a hidrogénionok vagy a klór redukciója.

A második feltételben szereplő elektrolit biztosítja a keletkező ionok képződését és vándorlását.

Vázlatosan az elektrokémiai korróziót általában befolyásoló tényezők, a teljesség igénye nélkül:

- szerkezeti anyag
  - inhomogenítása
  - elektródpotenciálja
- közeg
  - pH-ja
  - hőmérséklete
  - elektrolitban az oldott gázok (oxigén, , széndioxid, kénhidrogén) tartalom
  - nyomása
  - áramlási sebessége
  - üledék tartalma
  - biológiai aktivitás

A fémek korróziójának termodinamikai és kinetikai alapjainak részletes ismertetése nem feladatunk, de feltételezzük, hogy a katódos védelmet tervezők rendelkeznek ezekkel az ismeretekkel.

A talajban és vízben elhelyezett, fektetett fémszerkezetek korrózióját azokon a felületeken, amelyek nincsenek elzárva, elszigetelve a környezettől a felülettel érintkező elektrolit, a talaj, talajvíz, víz, vizes oldat kémiai, biokémiai és elektrokémiai tulajdonságai határozzák meg.

Ezért a lehetséges korróziós hatások csak a környezet (talaj és víz) elektrokémiai jellemzőinek, összetevőinek ismeretében vehetők figyelembe a létesítés és üzemeltetés során.

Talajba fektetett, vagy talajjal érintkező acélszerkezetek, csővezetékek és tartályok korrózió elleni hatékony védelmének megtervezéséhez elengedhetetlenek a talajkorróziós minősítő vizsgálatok, amelyeket a következő táblázatban szereplő szabványok előírásai, javaslatai szerint kell elvégezni.

3.3. A talaj korróziós értékelésére vonatkozó hatályos (2022.09.28.) szabványok:

ssz	szabvány jelzet	szabvány cím
1	MSZ 18094-2:1983	Talajkorróziós vizsgálatok. A talaj fajlagos villamos ellenállásának laboratóriumi meghatározása
2	MSZ 18094-5:1982	Talajkorróziós vizsgálatok. Elektromos térerősség mérése
3	MSZ 18094-6:1981	Talajkorróziós vizsgálatok. A talaj fajlagos ellenállásának meghatározása helyszíni mérés alapján
4	MSZ 18094-7:1975	Talajkorróziós vizsgálatok. A talaj redox-potenciál mérése
5	MSZ 18094-8:1979	Talajkorróziós vizsgálatok. Mintavétel
6	MSZ 18094-9:1979	Talajkorróziós vizsgálatok. A talaj- és talajvízminták előkészítése
7	MSZ 18094-10:1979	Talajkorróziós vizsgálatok. A talaj és a talajvíz pH-jának meghatározása
8	MSZ 18094-11:1979	Talajkorróziós vizsgálatok. A talaj és a talajvíz klorid-ion tartalmának meghatározása
9	MSZ 18094-12:1979	Talajkorróziós vizsgálatok. A talajvíz összes keménységének meghatározása
10	MSZE 21420-25:2005	Hulladékok jellemzése. 25. rész: A szulfidtartalom meghatározása
11	MSZE 21420-8:2004	Hulladékok jellemzése. 8. rész: Az ammóniumion-tartalom meghatározása
12	MSZE 21420-19:2005	Hulladékok jellemzése. 19. rész: A nitráttartalom meghatározása
13	MSZE 21420-22:2005	Hulladékok jellemzése. 22. rész: A vízzel kioldható szulfátion-tartalom meghatározása
14	MSZE 21420-20:2005	Hulladékok jellemzése. 20. rész: A nitrittartalom meghatározása
15	MSZ 448-21:1986	Ivóvízvizsgálat. Az összes, a karbonát- és a nemkarbonát-keménység meghatározása
16	MSZ 18094-6:1981	Talajkorróziós vizsgálatok. A talaj fajlagos ellenállásának meghatározása helyszíni mérés alapján

A talaj korróziós szempontból jelentős tulajdonságai naponként, évszakonként változhatnak. Viszonylag jól becsült értékeket lehet kapni az átlagos korrózióra, azaz a nagy felületre vonatkozó átlagos, fajlagos anyagveszteségre. Ez a korróziófajta azonban nem okoz jelentős lyukadásokat, és erre az alapra épített élettartam, használati idő számítása súlyos tévedéseket

eredményezhet. A lyukkorrózió becslése viszont több állapothatározó, jellemző ismeretét követeli meg. A talajban gyakran van kóboráram, és a különböző talajok határánál kialakuló szellőzési elemek korróziós áramsűrűsége, kiterjedése, jóval nagyobb, mint a levegőn és vízben várható értékek.

Több értékelési rendszert dolgoztak ki a talaj korrodáló képességének meghatározására, amelyek különböző észlelt jellemzőkön, mért adatokon alapulnak. Mindegyik csak tájékoztató jellegű, mert sok, a korrózió lefolyását befolyásoló tényező, állapothatározó egyedileg, a korróziós hibahelynél nem ismert. Ezek egy-egy konkrét esetben, csak megfelelő szakképzettségű, és ezen a szakterületen tapasztalattal rendelkező szakember tudja alkalmazni. Az esetek többségében elegendő a pH, a redoxpotenciál, a víztartalom, a klorid és szulfáttartalmat is reprezentáló laboratóriumi fajlagos talajellenállás mérése.

Tompa által javasolt értékelés

Talajkorrozivitás		**talaj fajl. ell. (Ωm)**	**kiegészítés**	**Egyenletes korrózió sebessége (mm/év)**	**Bemaródás legnagyobb mélyülési sebesség (mm/év)**
értéke	**megnevezése**				
12	igen nagy	ρ<5	5<ρ<10 ++	>1,5	>3,0
11	igen nagy	5<ρ<10	+	1,5-1	3,0-2,4
10	nagy	5<ρ<10		1,0-0,5	2,4-1,9
9	nagy	5<ρ<10	-	0,5-0,3	1,9-1,5
8	nagy	10<ρ<25	++	0,3-0,15	1,5-1,25
7	jelentős	10<ρ<25	+, 25<ρ<50++	0,15-0,10	1,25-1,0
6	jelentős	10<ρ<25	25<ρ<50+	0,10-0,07	1,0-0,7
5	közepes	25<ρ<50	50<ρ++	0,07-0.05	0,7-0,5
4	csekély	50<ρ<100	+	0,05-0,03	0,5-0,3
3	csekély	50<ρ<100		0,03-0,01	0,3-0,1
2	kicsi	100<ρ	+	<0,01	0,1-0,07
1	kicsi	100<ρ		<0,005	0,07-0,05
0	elhanyagolható	100<ρ	-		

Módosító tényezők

pH érték		**Cl^-**		**SO_4^{2-}**		**Redox pot. E_n**	
pH<5	++	Cl^->400g/m^3	++	SO_4^{2-}> 800 g/m^3	++	$E_n \leq 100$ mV	++
5<pH<6,5	+	200g/m^3≤Cl^-≤400g/m^3	+	400 g/m^3≤ SO_4^{2-} ≤ 800 g/m^3	+	100 mV < $E_n \leq 200$ mV	+
9≤pH	-						
Szerves anyag tartalom > 5m/m%			+				

3.4. Korróziósebességet módosító katódos védelmi szint, illetve talajellenállás változás

A környezeti- és talajjellemzők által meghatározott korróziósebességet a különböző mértékű katódos polarizáció, amelyet a kikapcsolási potenciállal (E_{off}) lehet jellemezni, az alábbi táblázat szerint megadott R tényező szerint (azzal szorozva) változtatja, csökkenti.

A tervezés során átlagos körülményekre kalkulált korróziósebességet az átlagosnak tekintett (10 Ω*m < ρ < 25 Ω*m) talaj fajlagos ellenállás esetén (katódos védelem nélkül) az alábbi táblázatban megadott K tényező szerint (azzal szorozva) változtatja.

Potenciál korrekció		**Fajlagos talajellenállás korrekció**	
Potenciál tartomány E_{off} (mV)	Korrózió sebesség korrekció **R**	Fajlagos talajellenállás tartomány	Korrózió sebesség korrekciós tényező **K**

		ρ (Ω*m)	
$-700 > U_{ki}$	1	$\rho < 5$	15,0
$-700 > U_{ki} > -750$	0,5	$5 < \rho < 10$	5,0
$-750 > U_{ki} > -800$	0,23	$10 < \rho < 25$	1,0
$-800 > U_{ki} > -850$	0,12	$25 < \rho < 50$	0,45
$-850 > U_{ki} > -900$	0,073	$50 < \rho < 100$	0,2
$U_{ki} > -900$	0,05	$100 < \rho$	0,01

A korrózióvédelmi bevonat alapfeladata a fémszerkezet felületének elzárása a korrozív közegtől, azaz a korrózió kiküszöbölése. Ennek a követelménynek csak a tökéletesen hiba mentes bevonat tud megfelelni, de a gyakorlatban hiba mentes bevonat nem létezik.

A földalatti vagy vízbe merülő acél szerkezetek, elsősorban csővezetékek korrózióvédelméhez a katódos védelem alkalmazása mellett használt szalag és zsugorítható anyagú, extrudált vagy egyéb úton felvitt vastag külső szerves bevonatok gyakorlati követelményeit és vizsgálati módszereit az alábbi hatályos (2022.09.28.) szabványok írják elő:

ssz	szabvány jelzet	szabvány cím
1	MSZ EN 12068:2000	Katódos korrózióvédelem. Külső szerves bevonatok a katódos védelemmel ellátott, föld alatti vagy vízbe merülő acél csővezetékek korrózióvédelmére. Szalagok és zsugorítható anyagok
2	MSZ EN 1427:2016	Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A lágyuláspont meghatározása. Gyűrűs-golyós módszer
3	MSZ EN ISO 1421:2017	Gumi- vagy műanyag bevonatú kelmék. A szakítószilárdság és a szakadási nyúlás meghatározása (ISO 1421:2016)
4	MSZ EN ISO 1523:2002	A lobbanáspont meghatározása. Zárt tégelyes egyensúlyi módszer (ISO 1523:2002)
5	MSZ EN ISO 2808:2020	Festékek és lakkok. A rétegvastagság meghatározása (ISO 2808:2019)
6	MSZ EN ISO 2811-1:2016	Festékek és lakkok. A sűrűség meghatározása. 1. rész: Piknométeres módszer (ISO 2811-1:2016)
7	MSZ EN ISO 3251:2019	Festékek, lakkok és műanyagok. A nemillóanyag-tartalom meghatározása (ISO 3251:2019)
8	MSZ EN ISO 4892-2:2013	Műanyagok. Laboratóriumi fényforrásoknak való kitétel módszerei. 2. rész: Xenonívfénylámpák (ISO 4892-2:2013)
9	MSZ EN ISO 527-3:2019	Műanyagok. A húzási tulajdonságok meghatározása. 3. rész: Fóliák és lemezek vizsgálati feltételei (ISO 527-3:2018)
10	MSZ EN ISO 8501-1:2008	Acélfelületek előkészítése festékek és hasonló termékek felhordása előtt. A felületi tisztaság értékelése szemrevételezéssel. 1. rész: A festetlen és a teljesen festékmentesített acélfelületek rozsdásodási és felület-előkészítési fokozatai (ISO 8501-1:2007)

11	MSZ EN ISO 8503-2:2012	Acélfelületek előkészítése festékek és hasonló termékek felhordása előtt. Szemcseszórt acélfelületek érdességi jellemzői. 2. rész: Módszer szemcseszórt acélfelületek érdességének minősítésére. Összehasonlításos eljárás (ISO 8503-2:2012)
12	MSZ ISO 4591:1996	Műanyagok. Fólia és lemez. A minta és a tekercs átlagos vastagságának, valamint a tekercs egységnyi tömegre eső területének meghatározása gravimetrikus módszerrel (gravimetrikus vastagság)
13	MSZ ISO 4593:1996	Műanyagok. Fólia és lemez. A vastagság meghatározása mechanikus letapogatással

MSZ EN 12068: Katódos korrózióvédelem. Külső szerves bevonatok a katódos védelemmel ellátott, föld alatti vagy vízbe merülő acél csővezetékek korrózióvédelmére. Szalagok és zsugorítható anyagok szabvány szerinti kifejezések és meghatározások ismerete a katódos korrózióvédelmet tervező mérnökök számára alapvető követelmény.

Külső szerves bevonatok	
Bevonat	A csőre felhordott egy- vagy többrétegű, szalag formájú (spirális vagy „cigaretta” burkolás), zsugorítható (szállított állapotban vagy a felhordás előtt összeállítva), illetve javítóanyagok. A tapadás erősítése vagy a felhordás megkönnyítése céljából az alapozóréteg(ek)et és/vagy a töltőanyago(ka)t ezekkel a bevonó anyagokkal együtt célszerű használni.
Belső réteg	Az a bevonat, melynek elsődleges célja a csőfelület védelme korróziós károsodás ellen.
Külső réteg	Az a bevonat, melynek elsődleges célja a belső réteg védelme a mechanikai hatásokkal szemben.
A bevonó anyagok alaptípusai	
Petrolátum szalag (hidegen felhordva	Korrózióvédelmi szalag, mely szobahőmérsékleten formázható, félkemény kőolajszármazékkal bevont műanyag hordozó szalagból áll. Kiegészítő védőréteget is tartalmazhat.
Bitumenes szalag (melegen felhordva)	Korrózióvédelmi szalag, mely mindkét oldalán bitumenes keverékkel bevont üveg vagy műanyag hordozó szalagból áll.
Polimer szalag (hidegen vagy melegen felhordva)	Korrózióvédelmi szalag, melynek alapja az acélhoz erősen tapadó és általában rugalmas filmhez tapadó keverék, amely műanyag megerősítést is tartalmazhat. Ezek a szalagok a következő típusokra oszthatók: rétegelt, erősített, alacsony szilárdságú
Zsugorítható anyag	Korrózióvédelmi termék, amely szabályozott zsugorodásra képes, általában egyik oldalán tapadóanyaggal bevont polimer alaprétegből áll. A polimer alapréteg megerősíthető.
Kiegészítő anyagok	

Alapozóréteg	Az előkészített fémfelületre és az evvel érintkező csőbevonatra vékony filmként (általában folyékony formában) felhordott anyag, melynek feladata az utána következő bevonó anyag maximális tapadásának biztosítása.
Töltőanyag	Egyenetlen felületek vagy üregek (pl. bonyolult formák) kisimítására használt formázható anyag, mely lehetővé teszi a szalagok és zsugorítható anyagok hézagmentes felhordását. (MEGJEGYZÉS: A töltőanyagokat a bevonat gyártó ajánlása alapján kell kiválasztani)
Egyéb mechanikai védőanyagok	Különböző anyagok, melyek fokozzák az ütésállóságot és a keménységet, és/vagy elszigetelik a bevont csővezetékek és az azokat körülvevő talaj közötti mozgásokat. Minden egyéb mechanikai védelem, mely nem tapad teljesen az alatta lévő bevonathoz, vagy perforált, illetve az olyan elektromos vezető betét, amelyet a katódos védelem távoli ellenőrzéséhez használnak.
Javítóanyag	Olyan anyag, mellyel helyreállítható a helyenként mechanikai károsodást szenvedett bevonat. A javítóanyag hidegen vagy melegen is felhordható. Az alapozóréteg(ek) és/vagy a töltőanyag(ok) szükség szerint a javítóanyagok előtt is felhordhatók.
További fogalom meghatározások	
A megengedett legmagasabb munkahőmérséklet (T_{max})	A földalatti vagy vízben lévő bevont csővezetéken keresztül szállított anyag megengedett legnagyobb hőmérséklete.
Gyári bevonat (üzemi bevonat)	A csőre a szállítás előtt a gyárban vagy műhelyben felhordott bevonat.

A bevonatokat a mechanikai ellenállás, a munkahőmérséklet, vagy a meghatározott összeszerelési feltételek szerint csoportosíthatjuk. Az alkalmazni kívánt területre a szabvány jelölései szerint lehet megadni a tervben a kivitelezéshez szükséges szalagokat, zsugorítható anyagokat. A földalatti vagy vízbe merülő acél szerkezetek, vízzel, vizes oldattal érintkező fémes szerkezet, különösképpen csővezetékek, tartályok külső és belső felületének, alépítmények, vízi-, mélyépítési-, közlekedési-, bányászati építmények elektrokémiai korrózióvédelmére (katódos védelmére, kóboráramvédelmére) vonatkoznak az alábbi hatályos (2022.09.28.) szabványok (tájékoztató jelleggel):

ssz	szabvány jelzet	szabvány cím
1	MSZ 18094-5:1982	Talajkorróziós vizsgálatok. Elektromos térerősség mérése
2	MSZ 18094-6:1981	Talajkorróziós vizsgálatok. A talaj fajlagos ellenállásának meghatározása helyszíni mérés alapján
3	MSZ EN 12473:2014	A katódos védelem általános elvei tengervízben
4	MSZ EN 12499:2003	Fémszerkezetek belső katódos védelme

5	MSZ EN 12954:2020	A földbe fektetett vagy vízbe merülő part menti fémszerkezetek katódos védelmének általános alapelvei
6	MSZ EN 13509:2003	A katódos védelem mérési módszerei
7	MSZ EN 13636:2005	Földbe temetett tartályok és a kapcsolódó csővezeték katódos védelme
8	MSZ EN 14505:2005	Összetett szerkezetek katódos védelme
9	MSZ EN 15112:2006	Kutak béléscsövezésének külső katódos védelme ICS:23.040.99 Egyéb csővezeték-alkatrészek; 77.060 Fémek korróziója
10	MSZ EN 50122-2:2011	Vasúti alkalmazások. Helyhez kötött berendezések. Villamos biztonság, földelés és visszavezető áramkör. 2. rész: Egyenáramú vontatási rendszerek okozta kóboráramok hatása elleni védőintézkedések
11	MSZ EN 50162:2004	Korrózió elleni védelem az egyenáramú rendszerekből származó kóborárammal
12	MSZ EN 60079-14:2014	Robbanóképes közegek. 14. rész: Villamos berendezések tervezése, kiválasztása és szerelése (IEC 60079-14:2013)
13	MSZ EN IEC 60079-10-1:2021	Robbanóképes közegek. 10-1. rész: Térségbesorolás. Robbanóképes gázközegek (IEC 60079-10-1:2020)
14	MSZ EN ISO 21857:2022	Kőolaj-, petrolkémiai és földgázipar. Csővezetékrendszerek kóboráramok hatása által okozott korróziójának megelőzése (ISO 21857:2021)

MSZ EN 12954: A földbe fektetett vagy vízbe merülő part menti fémszerkezetek katódos védelmének általános alapelvei szabvány szerinti kifejezések és meghatározások ismerete a katódos korrózióvédelmet tervező mérnökök számára alapvető követelmény.

1	Állandó referencia elektród	Hosszú élettartamra tervezett és a szerkezet közelébe telepített, tartósan a föld alatt lévő vagy vízbe merülő referencia elektród
2	Anaerob környezet	Szabad oxigén hiánya a fémes szerkezettel határos elektrolitban
3	Anód	Földalatti, illetve vízbe merített galvánanódok vagy külső áramforrású anódok rendszere, amely a védőáram elektrolitba vezetését biztosítja
4	Anód ágyazat	Alacsony fajlagos ellenállású anyag, amely lehet nedvességmegtartó és közvetlenül a föld-alatti anódot veszi körül, célja az anód és az elektrolit közötti ellenállás csökkentése
5	Bekapcsolási potenciál (E_{on}) (szerkezetpotenciál)	A szerkezet és az elektrolit közötti potenciálnak a katódos védelmi áram fenntartása mellett mért értéke

6	Egyenáramú ipari létesítmény	Egyenárammal működtetett, a vontatási rendszertől eltérő villamos rendszer. (MEGJEGYZÉS: Amennyiben ezek a rendszerek a visszatérő áramkör részeként használják a földet, akkor azok korróziós károsodáshoz vezető kóboráramokat gerjeszthetnek. A katódos védelmi rendszerek a földet az áram-kör részeként használják)
7	Egyenáramú pályalétesítmény, vasút	Egyenárammal működtetett pályalétesítmény, vasút; ha az áram-visszavezetés vezetéke több, mint egy helyen földelt vagy nincs teljesen szigetelve, ezek a létesítmények szóródási áramokat és ezzel korróziós károsodásokat okozhatnak.
8	Egyenáramú vontatási rendszer	Egyenárammal hajtott villamos vontatási rendszer (pályalétesítmény). (MEGJEGYZÉS: Amennyiben ezek a rendszerek több mint egy pontban földelt visszatérő áramkörrel rendelkeznek vagy nem teljesen szigeteltek, akkor azok korróziós károsodáshoz vezető kóboráramokat gerjeszthetnek)
9	Egyenfeszültséget leválasztó készülék	Villamos berendezés, amely abban az esetben válik vezetővé, ha a feszültség értéke meghaladja az előre meghatározott küszöbfeszültség határértéket (MEGJEGYZÉS: Néhány ilyen eszköz lehetővé teszi a váltakozó áramok elvezetését a földelő rendszerek irányába. Ilyen eszközökre példák a polarizációs cellák, a szikraközök és a dióda szerelvények
10	Egyirányú kötés vagy egyirányú szívókötés	Olyan kötés, amely csak egyirányú áramfolyást tesz lehetővé. (MEGJEGYZÉS: Ezt meg lehet valósítani aktív elemekkel, mint például relék, vagy passzív elemekkel, mint például diódák).
11	Egyszerű fémelektród	Adott elektrolit oldatban állandó potenciálú elektród, egy létesítmény potenciáljának mérésére ugyanabban az elektrolit oldatban; egy egyszerű fémelektród potenciálját egy adott elektrolit oldatban referencia elektróddal szemben kell meghatározni.
12	Elektrolit	Folyadék vagy egy közeg, például a talaj folyadék összetevője, amelyben az elektromos áram ionok mozgása következtében folyik
13	Elektrolit fajlagos ellenállása (ρ)	Az elektrolit villamos ellenállása, amely azt feltételezi, hogy az elektrolit homogén szerkezetű. (MEGJEGYZÉS:A fajlagos ellenállás mértékegysége rendszerint Ω*m)
14	Ellenállás kötés vagy ellenállás szívókötés	Az áram folyását az előírt korlátokon belül tartó jelentős ellenállású kötés. (MEGJEGYZÉS: Ellenállás hozható létre ellenállásoknak a kötésbe történő beépítésével)
15	Érzékelő elektród	A szerkezet és az elektrolit közötti potenciál mérésére és a referencia jel biztosítására szolgáló tartósan beépített referencia elektród, amelynek segítségével az automatikusan szabályozott külső áramforrású rendszer védőárama ellenőrizhető

16	Fajlagos felületi szigetelés ellenállás vagy fajlagos felületi szerkezet és talaj közötti ellenállás (r_{co})	A bekapcsolt és kikapcsolt potenciálok közötti különbség és a védőáram hányadosából származó, a szerkezet egységnyi felületére vonatkoztatott érték. A mértékegysége rendszerint $\Omega*m^2$
17	Folytonossági kötés	Kifejezetten a szerkezet villamos folytonosságának biztosítása céljából tervezett és kiépített kötés
18	Földalatti szerkezet	Bármilyen földfelszín alá épített vagy fektetett illetve talajszintre épített és azt követően földdel befedett fém építmény
19	Földelés	Elektrolitba ágyazott és azzal fémes kapcsolatban lévő vezető rendszer
20	Földelt rendszer	A földelt rendszer egy olyan rendszer, amely villamos összeköttetésben van a földdel (MEGJEGYZÉS: Az ilyen összeköttetés lehet szándékos vagy nem szándékos)
21	Galvánanód	Olyan elektród, amely galván hatás segítségével biztosítja a katódos védelemhez szükséges áramot
22	Galvánanód állomás	Olyan berendezésekből és anyagokból álló állomás, amely galvánanódok segítségével biztosítja a katódos védelmet. Ezek az anyagok és berendezések magukba foglalják a galvánanódokat, a kábeleket és a vizsgáló berendezéseket
23	Hibahely	Folytonossági hiány a védőburkolatban, ahol a fém szabadon van, érintkezhet az elektrolittal
24	Hólyagosodás	A fém és a szigetelés közötti villamos erőtérben, víz- és gázátszivárgás, valamint ionvándorlás okozta sérülésmentes vékony szigetelés felületén található kidudorodások
25	Idegen elektród	Idegen anód vagy idegen katód; egy idegen anód fém vagy elektronvezető anyag, amely a mindenkori létesítménnyel fémesen vezető érintkezésben áll, és potenciálja negatívabb a létesítményénél; egy idegen katód fém vagy elektronvezető anyag, amely a mindenkori létesítménnyel fémesen vezető érintkezésben áll, és potenciája pozitívabb a létesítményénél.
26	Idegen szerkezetek	Bármely, a szóban forgó szerkezettől különböző szomszédos szerkezet
27	Intenzívmérés technika	Olyan potenciálmérés technika, amely a cső/talaj-potenciált és egyidejűleg a hozzá tartozó horizontálisan ellenirányban futó potenciálesést méri; ezzel a burkolatkárosodásokat meg lehet határozni, és ezeken a helyeken az IR-mentes potenciálokat ki lehet számítani
28	Interferencia	A szerkezet és az elektrolit közötti potenciál bármilyen változása, amelyet külső villamos források okoznak
29	Interferencia vizsgálat	Olyan vizsgálat, amely két földalatti vagy vízbe merített szerkezet közötti korróziós kölcsönhatás súlyosságát határozza meg

30	IR esés	Az elektrolitban, mint például a talajban, Ohm törvénye (U = I*R) szerint a referencia elektród és a szerkezet fémes része között, bármilyen elektromos áram hatására létrejövő feszültség
31	IR mentes potenciál (EIR free) (korróziós potenciál)	A védőáram vagy bármilyen más áram hatására kialakuló, IR esés okozta feszültséghiba nélkül, a szerkezet és az elektrolit között mért potenciál
32	Katódos védelmi állomás	Külső áramforrású vagy galvánanódos védelmi áramot biztosító, be- és elvezető berendezések és eszközök összessége
33	Katódos védelmi rendszer	A katódos védelmet biztosító, aktív és passzív elemeket magában foglaló teljes létesítmény
34	Kényszerszívás vagy kényszer szívókötés	Az áram elvezetés, szívás egyik formája, amelyben a védett szerkezet és a vontatási rendszer közötti kapcsolat egy független egyenáramú forrást tartalmaz
35	Kiegyenlítő áramok	Áramok, amelyek a védőáram kikapcsolása után a különböző polarizációjú tartományok között folynak, és az IR-mentes potenciál meghatározásánál mérési hibát okozhatnak.
36	Kikapcsolási potenciál (E_{off})	A szerkezet és az elektrolit közötti potenciálnak közvetlenül az alkalmazott katódos védelmi áram összes forrásának egyidejű megszakítása után mért értéke
37	Kóboráramvédelmi berendezés	Magába foglalja a katódos korrózióvédelemhez szükséges berendezéseket és anyagokat, beleértve a kóboráramvédelmi anódokat, kábelezést és egyenáramforrást vagy szívókötést
38	Kötés	Általában ekvipotenciális pontok kialakítása céljából, ugyanazon vagy különböző szerkezeteken lévő két pontot összekötő, általában vörösrézből készült fémes vezető anyag
39	Külső áramforrású állomás	Olyan berendezésekből és anyagokból álló állomás, amely külső áramforrás segítségével biztosítja a katódos védelmet. Ezek az anyagok és berendezések magukba foglalják a külső áramforrású anódokat, a kábeleket és az egyenáramú áramforrást
40	Külső áramforrású anód, anódföldelő	Elektród, amely a külső áramforrás által a katódos védelemhez szükséges áramot a talajba, elektrolitba vezeti
41	Külső elektród	A vizsgált szerkezet mellett mérési célból elhelyezett elektród
42	Mérési hely	A potenciál mérés kijelölt helye, amely szerkezet és az elektrolit közötti potenciál esetén ez a referencia elektród helyére vonatkozik
43	Mérőhely	A katódos védelem villamos méréseinek elvégezhetőségét szolgáló, erre a célra kiépített szerkezet. (MEGJEGYZÉS: A mérőhelyek tartalmaznak kábelezést és csatlakozásokat a szerkezethez)

44	Normál hidrogénelektród	Laboratóriumokban használt szabványos elektród, amely semleges fémből, például platinából és egységnyi reakcióképességű hidrogénionokat tartalmazó és egy normál atmoszféra nyomáson hidrogéngázzal telített elektrolitból áll
45	Összehasonlító próbatest	A korrózió mértékének vagy az alkalmazott katódos védelem hatásosságának meghatározására szolgáló reprezentatív fémminta
46	Polarizáció (ΔE)	Egy elektród potenciáljának változása az elektród irányába folyó, vagy abból kiinduló áram hatására
47	Polarizációs cella	Olyan eszköz, amely alacsony feszültségen megakadályozza az egyenáram folyását és alacsony ellenállású utat biztosít a váltakozó áramnak magasabb feszültségen (például: villámkisülés). Földelés és létesítmény közé iktatott berendezés, amely a védőáramnak csak egy csekély részét vezeti le, azonban a létesítményre kerülő áramok számára – amiket váltófeszültségek és magas egyenfeszültségek okoznak – csekély ellenállást jelent.
48	Potenciálgradiens	Ugyanazon elektromos térben lévő két különálló pont közötti potenciálkülönbség
49	Referencia potenciál (E_{ref})	Az a potenciál érték, amelyet pontosan ismert külső- és védelmi áram működése mellett mérnek meg annak érdekében, hogy valamilyen védelmi vagy befolyásolási hatás mértéke meghatározható legyen. (MEGJEGYZÉS: Általában a katódos védelem áramforrásainak kikapcsolása és a depolarizáció után mért, vagy a kóboráramos befolyásolás üzemszünete, kikapcsolása idején mért és vonatkoztatási alapnak tekintett érték)
50	Réz/telített réz-szulfát referencia elektród	Réz-szulfát telített oldatában lévő réz referencia elektród
51	Segédelektródos mérőelektród	Mérőeszköz, amely egy próbalemezből és a hozzá tartozó referenciaelektródból áll, IR-mentes létesítmény/elektrolitoldat potenciálok méréséhez
52	Szabad korróziós potenciál (E_n)	Az az IR-mentes potenciál, amely a szerkezet külső áram befolyásolástól tartósan mentes (depolarizált) állapotában mérhető
53	Szerkezet	Fémből készült, szigetelt vagy szigetelés nélküli építmény, amely valamilyen elektrolittal érintkezésben van (például talaj, víz). (MEGJEGYZÉS: A szerkezetek lehetnek nagyhosszúságú építmények, mint például cső-vezetékek, csőhálózatok, földalatti villamos kábelek vagy kútbélések, és lehetnek kisebb méretű építmények, mint például oszlopok, szádfalak, tartályok vagy egyéb földalatti építmények)

54	Szerkezet és elektrolit közötti potenciál (más néven elektródpotenciál)	A szerkezet és az elektrolittal érintkező meghatározott referencia elektród közötti potenciálkülönbség abban a pontban, amely megfelelően közel van a szerkezethez, de ténylegesen nem érintkezik azzal. A közelség miatt a potenciál IR-mentes.
55	Szigetelés ellenállás vagy a szerkezet és a talaj közötti ellenállás (R_{co})	A szigetelt fém és az elektrolit közötti villamos ellenállás, ohm-ban kifejezve. A szigetelés ellenállást a szigetelési hibák és a szigetelés pórusainak mérete és száma valamint az elektrolit fajlagos ellenállása nagymértékben meghatározza
56	Szigetelés folytonossági hiba	A védőszigetelésen található, a felületen áthatoló hiba, ahol a szabaddá vált, elektrolittal érintkező fémfelület ki van téve a környezeti hatásoknak
57	Szigetelési hiba	A védőszigetelés rendellenességei (például: szigetelés folytonossági hibája, porozitás)
58	Szigetelő csatlakozás	Két egymáshoz csatlakozó cső közötti, villamosan nem folytonos kötés, a csövek közötti villamos kapcsolat megszakítás érdekében, például egy darabból álló szigetelő csatlakozás, szigetelő karima
59	Szigetelő karima	Az egymáshoz csatlakozó csövek közötti karimás kötés, amelynél a csavarok és a csavar-anyák villamosan el vannak szigetelve a karimapártól és a tömítés is villamosan szigetel, így ebben a pontban villamos szakadás van a csővezetékben
60	Szívás (villamos szívás)	Kóboráram elvezetése az áramforrástól egy másik szerkezetig egy ezt a célt szolgáló kötés segítségével
61	Szívási pont	A védett szerkezethez kapcsolódó negatív kábel helye, amelyen keresztül a védőáram visszatér az áramforráshoz
62	Szívóállomás	A kóboráram hatása alatt lévő rendszerektől a kóboráram különféle módon történő elvezetéséhez szükséges berendezésekből és anyagokból álló állomás
63	Szulfátredukáló baktériumok	A legtöbb talajban és természetes vízben megtalálható, de csak közel semleges és oxigén-mentes környezetben aktív baktérium csoport. Ezek a baktériumok gyorsítják a korróziót azáltal, hogy redukálják a környezetükben található szulfátokat és szulfidokat hoznak létre.
64	Távoli föld	Az elektrolit azon része, amelyben tetszőleges két pont között nincsenek az áramfolyás miatt fellépő számottevő feszültségek (MEGJEGYZÉS: Ez az állapot rendszerint a földelési rendszer, a külső áramforrású anódágy vagy egy védett szerkezet hatászónáján kívül áll fenn)
65	Transzformátor egyenirányító	Olyan berendezés, amely a váltakozó áramot egyenárammá alakítja. Az ily módon létrehozott egyenáram használható a külső áramforrású katódos védelmi rendszerek áramforrásaként.
66	Védett szerkezet	Szerkezet, amelyhez a katódos védelem ténylegesen kapcsolódik

67	Védőáram (I_p)	A fémes szerkezet elektrolitos környezetéből a fémes szerkezetre kapcsolt áram a szerkezet katódos védelmének megvalósítása érdekében
68	Védőpotenciál	A szerkezet és az elektrolit közötti IR-mentes potenciál, amelynél a fém korróziós sebessége elfogadható. Elfogadhatónak tekintendő, más megállapodás hiányában az a korrózió sebesség, amelynek mértéke nem haladja meg 0,01 mm/év értéket
69	Vezérlő elektród	Tartósan beépített referencia elektród a létesítmény/elektrolitoldat potenciál méréshez; referencia jelet szolgáltat a védőáram beállításához az automatikusan szabályozott katódos és/vagy kóboráram védelmi berendezés számára
70	Villamos elszigetelés	Villamos elszigetelés áll fenn, amikor szerkezetek vagy alkotóelemek között nincs fémes villamos áramköri út
71	Villamos folytonosság	A szerkezet olyan fizikai állapota, amelynél a szerkezetben folyó áram nem hoz létre a vizsgált jelenség, hatás szempontjából jelentős feszültségesést
72	Vízbe merített szerkezet	Bármilyen folyadék halmazállapotú környezetbe, úgymint édesvízbe (folyók, tavak), félig sós vízbe (torkolatok), vagy tengervízbe fektetett fémes létesítmény vagy a létesítmény egy része

3.5. Katódos védelmi rendszer

A katódos védelem igen sok változótól, jellemzőtől függő, bonyolult topológiájú villamos – elektrokémiai műszaki rendszer, amelynek hosszú ideig, folyamatos működéssel kell biztosítania a környezeti elektrokémiai korróziós hatás csökkentését.

A védelmi követelmények (elvárt korróziós élettartam) és a technológiai, környezeti jellemzők alapján elméletileg megalapozott és a gyakorlatban megvalósítható műszaki tervezéssel létesíthető katódos védelmi rendszer.

A katódos védelem csak olyan szerkezetek felületén hozható létre, amelyre érvényesek a következő feltételek:

- A védendő fémfelület kiterjedt elektrolittal érintkezzen. Az elektrolit (talaj, vizes oldat) kiterjedése, jellemzőinek változása tegye lehetővé a védendő szerkezet egészén a védelmi villamos tér és a védelemhez szükséges áramsűrűség kialakulását.
- A védendő fémfelület azon elektrolittal érintkező helyein jön létre a katódos védelmi hatás, amely helyeken a környezeti anyagok nem gátolják meg a villamos tér helyi kialakulását.
- Kiterjedt védendő szerkezet, építmény esetén az azonos rendszerben védeni kívánt objektumoknak jó vezetésű, fémes villamos kapcsolatban kell lenniük.

Katódosan védettnek tekinthető az a fémszerkezet,

- amelynek IR-mentes potenciálja (EIR_{free}) legalább 150 mV-tal negatívabb, mint a mérésekkel meghatározott szabad korróziós potenciál (E_n) vagy a referencia potenciál (E_{ref})
- amelynek nagysűrűségű méréssel meghatározott kikapcsolási (E_{off}) potenciálja legalább 300 mV-tal negatívabb, mint a mérésekkel meghatározott szabad korróziós potenciál (E_n)
- akkora védőáram betáplálásnál, amely érték megegyezik a polarizációs görbe ($\Delta E \rightarrow$ lgI) töréspontjához tartozó áram értékkel.

A katódos védelem feladata a szigetelés, bevonat hibahelyeinél a megfelelő nagyságú polarizációval az elektrokémiai (katódos) védelem védelmi potenciál szintet biztosítani. A védelemhez szükséges áram nagyságát a szigetelési hibahelyek összes felülete határozza meg.

A védelmi rendszer számításához ismerni (feltételezni) kell a szigetelés fajlagos felületi ellenállását és – ha meghatározható – a szigetelési hibahelyek eloszlását.

- Általában a modern szigetelések csővezetékek esetében 108 Ω/m^2 értéknél nagyobb fajlagos felületi ellenállás értékűek.
- A fajlagos felületi ellenállás értékét jó közelítéssel kell meghatározni, esetenként méréssel, mivel értéke több nagyságrendben változhat, ami a védelmi áramszükségletet, védő áramteret – ezekkel kapcsolatban a rendszerkialakítandó topológiáját – és az alkalmazandó berendezések, anyagok szükséges jellemzőit is meghatározza.

Törekedni kell a katódos védelemmel védett szerkezetek és berendezések villamos elválasztására más fémszerkezetektől, ami a védőáram szükséglet és a járulékos kóboráram védelmi intézkedések mennyiségét csökkenti.

A kiváló szigetelésű csőtávvezetékekben a nagyfeszültségű, közvetlenül földelt szabadvezetékek keresztezése, azokkal párhuzamos haladása esetén kapacitív és induktív kölcsönhatásra jelentős feszültségek jönnek létre. A vonatkozó villamos szabványok előírásai szerint ilyen helyeken a csővezetéket le kell földelni és föld feletti kezelési helyeknél (pl. potenciálmérőhelyek) potenciálvezérlő földeléssel kell ellátni a kezelési helyet. Mivel a szokásos földelési megoldások a katódos védelmet lehetetlenítik el, vagy jelentős költségtöbbletet okoznak, ezért földelésként a cinket (horganyt) célszerű használni, amely teljesíti a földelési funkciót, ugyanakkor galvánanódként nem okoz jelentős polarizáció csökkenést.
Az igen jó szigetelésű távvezetékek technológiai állomáshoz csatlakozásánál a katódos védelmi követelmény a szigetelő karimás leválasztás. A jó szigetelésű vezeték azonban nagyobb – akár több 10 km-es - távolságról hozhat jelentős, akár több kV-os feszültséglökést, ami érintésvédelmi és szikraképződési veszélyt jelenthet. Ezért a szigetelő karimák környezetében a csőtávvezetéket egyenfeszültséget leválasztó, váltakozó feszültséget átvezető berendezéssel (pl. polarizációs cellával) a technológiai állomás földelő rendszerére kell kapcsolni. Így a váltakozó feszültségű hatást a cella levezeti, ugyanakkor egyenfeszültség szempontjából leválaszt.

A különböző műtárgy keresztezések és megközelítések esetén kerülni kell a burkolati védelemmel való kialakítást, azaz a különböző védőcsöves megoldások alkalmazását. A védőcsövek, burkoló, terhelés elosztó idomok gyakorlatilag a mechanikai védelmük alatt álló csővezeték szakasz katódos védelmének hatásosságát csökkentik vagy szüntetik meg.

Meglévő védőcsöves kialakítás esetén – ha annak megszüntetése nem lehetséges – egyedileg kell meghatározni a lehetőségek által megengedett optimális korrózióvédelmi megoldást (gyűrűstér kitisztítása, vízmentes lezárása, feltöltése).

A katódos védelem három egymástól függetlenül kialakítható rendszerrel biztosítható. A három védelmi rendszer bonyolult védendő szerkezetek és környezeti feltételek esetén akár együttesen is alkalmazható a műszaki – gazdasági optimum érdekében.

A különböző helyeken, nagy távolságokban lévő katódos védelmi berendezések biztonságos, folyamatos üzemeltetését távfelügyeleti és távszabályozó rendszer kialakításával és üzemben tartásával lehet megoldani.

A **galvánanódos** védelem az elektrolitban a védendő szerkezet anyagánál kevésbé nemes fémmel való villamos összekötéssel hoz létre galvánelemet, amelyben a védendő szerkezet katódosan polarizálódik, korróziója lecsökken, míg a galvánanód elektrolitikusan oldódik.
A feltételeknek a gyakorlatban a különböző magnézium (Mg), alumínium (Al), cink (Zn) alapú ötvözetek felelnek meg.

A galvánanódos védelem létesítésekor a következő fő szempontokat kell figyelembe venni, illetve betartani:

- az elektrolit tulajdonságai és fajlagos ellenállása az anódok telepítési helyén;
- ne legyen szigetelő árnyékolás az anód és a védendő szerkezet között;
- ha fennáll az interferencia veszélye, az erre irányuló óvintézkedések megtétele;
- a környezeti feltételeknek és védőáram igénynek megfelelő anód anyag és tömeg;
- földalatti anódok esetén az anódágy anyaga feleljen meg az anód típusának, és a homogén szerkezetű anódágy keverék egyenletesen vegye körül az anódot legalább 50 mm-es rétegben;
- a gyárilag előre csomagolt anódok beépítés előtt és alatti nedvesítése;
- az anód és a szerkezet közötti elektromos áramkör az üzembe helyezésig a mérőhelyekben nyitva van.

A **külső áramforrásos katódos védelem** szabályozható egyenáramú forrásból táplált védelmi rendszer, amely rendszerben az áramforrás negatív kapcsa a védendő szerkezetre, pozitív kapcsa az elektrolitba, talajba helyezett anódra (anódföldelőre) van kötve.

A védendő szerkezet felületén az elektrolitba átfolyó áram a fém felületet katódosan (negatív irányba) polarizálja, azaz katódos védelmet biztosít az áramfolyás.
A rendszer kialakítása a tápláló katódállomás körön kívül magában foglalja a villamos összekötési, kapcsolási, mérési célokat szolgáló mérőhelyeket, távfelügyeleti és távszabályozási egységeket és ezek villamos kapcsolatait biztosító kábelezést, vezetékezést, a fémszerkezetre csatlakozást és a mérőelektródokat.

- A külső áramforrású létesítmények a következő főbb elemeket tartalmazzák:
- transzformátor egyenirányító egységek vagy más egyenáramú áramellátó egységek;
- anódágyak.

A külső áramforrású rendszerek telepítési helyét a következő szempontok figyelembevételével kell kiválasztani:

- kisfeszültségű áramforrás rendelkezésre állása (0,4 kV);

- védőáram igény;
- az anódágyak környezetében előforduló lehetséges legalacsonyabb talajellenállás;
- harmadik fél érdekeinek a lehető legcsekélyebb megsértése;
- jó hozzáférés a létesítményekhez;
- elegendő távolság az anódágyak és az idegen létesítmények között a lehető legkisebb interferencia okozása érdekében;
- elegendő távolság az anódágyak és a védendő szerkezet között;
- veszélyes területek.

Egyenárammal működő rendszerek a talajban vagy egy elektrolit oldatban szándékosan vagy akaratlanul áramot okozhatnak. Ezt az elektrolitban folyó áramot **kóboráram**nak, szóródási áramnak nevezzük. A következők lehetnek:

- egyenáramú vasútvonalak,
- felsővezetékes (trolibusz) rendszerek,
- bányavasút
- egyenáramú erőművek,
- hegesztő bázisok,
- akkumulátor telepek,
- egyenáramú felszerelések ipari létesítményekben,
- egyenáramú távközlési és híradástechnikai rendszerek,
- katódos védelmi rendszerek,
- nagyfeszültségű, egyenáramú átviteli rendszerek,
- egyenáramú vasúti rendszerek jelzőlétesítményei.

Azok a rendszerek, amelyeket a kóboráramok befolyásolhatnak, magukba foglalnak földalatti vagy vízben lévő létesítményeket, mint

- távvezetékeket,
- kábeleket fémszerelvénnyel,
- tárolókat és tartályokat,
- földelési rendszereket,
- acélbetéteket betonban,
- acéloszlopokat,
- tám- és szádfalakat, ezek kihorgonyzásait

A befolyásolt létesítmény, amely szóródási (kóbor) áramot vezet, pl. csővezeték vagy kábel fémburkolat, maga is tud más, közel fekvő létesítményt befolyásolni. Olyan esetekben, amelyekben egyenáram-befolyás következtében fennáll korróziós veszély, vizsgálatokat kell végezni az elektromos viszonyok és a lehetséges befolyásoló források helyzetének tisztázására, továbbá a szabálytalanságokénak is, amelyeket a rendszeres katódos korróziós mérések során megállapítottak.

Négy alapvető út van a kóboráram befolyásának megállapítására:

- A létesítmény/elektrolit potenciál ingadozásait;
- Eltéréseket a szokásos létesítmény/elektrolit-potenciáltól;
- Feszültségeséseket (feszültségtölcsér) a talaj-elektrolitban;
- Áramokat csővezetékekben vagy fém kábelvasalásokban.

Minden kóboráramvédelmi intézkedés egyedi megoldás a kóboráramos rendszer igen sokváltozós jellemzői miatt.

Különleges berendezések kiépítése azt célozza, hogy csökkentsük vagy elkerüljük a kóboráram-folyást a környezetbe. Ez elérhető:

- a kóboráram visszavezetésével fémes kapcsolattal (mint levezetés ismert) a befolyásolt létesítménytől vissza az egyenáram-forráshoz
- a kóboráram visszavezetése a földön át földelési elektródon keresztül a befolyásolt létesítménytől az egyenáram-forráshoz,

A berendezéseket minden esetben úgy kell beállítani, hogy minimális áram legyen használva a kívánt cél eléréséhez.

A földalatti vagy vízben lévő fémes létesítmények tervezési fázisában figyelembe kell venni a kóboráram befolyásolás okozásának a lehetőségét, hogy a befolyásolási kritériumokat be lehessen tartani.

Közvetlen levezetési kapcsolatnál (**egyszerű drenázs**) az áram mindkét irányban folyhat. Ezért közvetlen levezetési kapcsolatot csak akkor lehet alkalmazni, ha az egyenáram-forrással való kapcsolódási ponton a potenciál mindig negatívabb, mint a befolyásolt létesítmény potenciálja, azaz a folyó áram iránya a kapcsolatban sohasem fordul meg. Mivel a vonatsín és a befolyásolt létesítmény polaritását átmenetileg megfordíthatja, nem szabad vasúti létesítményekben közvetlen levezetési kapcsolatot alkalmazni. A létesítmény/elektrolitoldat potenciál eltolódását és az áramfolyást korlátozni lehet egy ellenállás beépítésével a kapcsolatba. Biztosítót is be lehet építeni, mint védelmet a túlterhelés ellen. Ennek a módszernek nem feladata tartós korrózióvédelmet nyújtani a befolyásolt létesítmény számára.

Az irányított levezetési kapcsolatban (**polarizált drenázs**) az áram csak egy irányban folyhat. Akkor lehet irányított levezetési kapcsolatokat alkalmazni, ha az egyenáram-forrás potenciálja nem mindig negatívabb, mint a befolyásolt létesítmény potenciálja, pl. egyenáramú vonatrendszerek. Ahogy közvetlen levezetési kapcsolatok esetén, szükséges lehet egy ellenállást és egy biztosítót a kapcsolatba beépíteni az áramfolyás korlátozására. A levezetőáramot lehet automatikusan is, egy szilárdan beépített tartós referenciaelektródon át vezérelni. A kapcsolatot olyan közel, ahogy csak lehetséges, kell az egyenáram-forrás legnegatívabb pontján létesíteni. Egy irányított levezetési kapcsolat egy hosszú földalatti létesítmény (csővezeték vagy kábel) és egy negatívabb létesítmény (pl. a negatív gyűjtősín egy alállomáson) között megnöveli a kóboráram kiterjedését. Ennek a módszernek nem feladata tartós katódos korrózióvédelmet nyújtani egy befolyásolt létesítménynek.

A kényszerített levezetési kapcsolatot (**szutirázs**) akkor használják, ha direkt vagy irányított levezetés a befolyásolt létesítményből nem teljesen vezeti le a szórási áramot, mivel a befolyásolandó létesítménynek nem elegendő a negatív potenciálja. Ezt a technikát akkor alkalmazzák, ha a kóboráram egyenáramú vonatrendszerből származik. A kényszerített levezetési kapcsolatnak van egy egyenirányítója a befolyásolt létesítmény és a befolyásoló áramforrás közti összeköttetésben. Ha ezeket csővezetékeknél vagy kábeleknél alkalmazzák, a hosszabb cső- és kábelszakaszok kóboráram ellen védve vannak, ha irányított levezetést alkalmaznak.

Vasúti sínek és a befolyásolt létesítmény között kiterjedt és gyakori feszültségváltozásoknál a levezetési áram és a létesítmény potenciálja jelentősen ingadozik. Ilyen esetekben a befolyásolt létesítmény potenciálját negatívabbnak lehet tartani a meglévő értéknél, ekkor potenciálvezérelt egyenirányítót használnak. Ha ezt a technikát alkalmazzák, a tartós referenciaelektród számára a helyet gondosan ki kell választani.

A **kóboráramvédelmi levezető földelő** rendszer fémes, kis ohmikus ellenállású kapcsolatot létesít a föld-elektrolithoz úgy, hogy az áramfolyás a befolyásolt létesítménytől közvetlenül a földbe levezetésre kerül. Ezt a módszert akkor alkalmazzuk, ha a befolyásolás mértéke csekély és a befolyásolt létesítmény elektromosan jól van szigetelve (pl. csővezetékeknél vagy kábeleknél, amelyek egy nagyfeszültségű egyenáram-rendszerből származó kóborárammal befolyásoltak).
Kóboráramvédelmi levezető földelő rendszerek általában nem védenek egy olyan létesítményt, amelyet egyenáramú vasúti létesítmény kóborárama befolyásol.

A **kóboráramvédelmi rendszert** a kóboráram hatásának csökkentésére használják, ha a befolyás mértéke csekély. A cél az, hogy a kóboráram hatását csökkentsük, és nem szükséges katódos korrózióvédelmet létesíteni.

Kóboráramvédelmi rendszerek alapvetően akkor jönnek szóba, ha a következők közül egy vagy több pont fennáll:
- a befolyásolt létesítmény jól van szigetelve,
- a távolság az egyenáramú-forrás és a befolyásolt létesítmény közt túl nagy egy levezetés-kapcsolathoz,
- elektromos levezetés a befolyásolandó és a befolyásolt létesítmény között biztonsági okból nincs kiépítve, vagy a befolyásolást a szomszédos létesítményre korlátozni kell,
- a befolyásolt létesítményt más okokból tartósan katódosan védeni kell.

Kikényszerített elektromos levezetés (szutirázs) esetén potenciálvezérelt (automatikus) egyenirányító használandó.

A mérésekkel felderíthető, azonosítható forrás(ok)ból származó kóboráramok korróziós károsító hatása elleni védekezés az áramfolyás korlátozásával, átirányításával eredményes lehet.

Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a kóboráramvédelmi intézkedések a kóboráram folyást megváltoztatják, elterelik, ami azt jelenti, hogy a korróziós hatás áttevődhet más helyre, más szerkezetre. A védelmi intézkedések során ezen körülményt is figyelembe kell venni és a jelenség miatti járulékos védelmi intézkedéseket meg kell tenni.

A katódos védelem abban az esetben fejti ki hatékonyan védelmi hatását, ha működése folyamatos és a védelmi jellemző értékek előre meghatározott értékhatárok között biztosítottak. Ez a követelmény **távfelügyeleti és távszabályozó rendszer**rel valósítható meg. A rendszer folyamatosan, pontosabban nagy gyakorisággal figyeli a fő működési jellemzőket, azokat az előre meghatározott értéken tartja. A megadott értéktartományból kiesés esetén alarm jelzéssel kér emberi beavatkozás.

A távfelügyeleti és távszabályozó egységek a katódállomásoknál alakítandók ki, így lehetőség van a katódállomások központból való szabályozására, vezérlésére, speciális kapcsolások végrehajtására. A távvezetékek mentén távellenőrző egység építhető ki ezen rendszer részeként, amely – a helyzetéből adódóan – a védelmi rendszert vezérelni, szabályozni nem tudja, a működési jellemzőket méri, rögzíti és továbbítja, a beállított értékhatártól való eltérés esetén riasztó jelzést ad.

A katódos védelem létesítése, átalakítása, felújítása, felülvizsgálata, minősítése minden esetben dokumentált műszaki terv alapján történhet.

A műszaki tervezés a műszaki cél kijelölésétől a megvalósulásig, azaz a megfelelő, megtervezett műszaki és eszköz feltételekkel biztosított üzemeltetés megkezdéséig tart.

A katódos védelmi tervezési tevékenységet, szaktervezést csak a Magyar Mérnöki Kamara Névjegyzékében szereplő, e tevékenységre vonatkozó tervezői jogosultsággal lehet végezni.

A katódvédelmi rendszer tervezését megelőzően a tervező köteles helyszíni szemlét tartani a tervezés tárgyát képező létesítmény helyszínén. A helyszíni szemle során azonosítani szükséges a térségben található katódvédelemmel ellátott, ill. kóboráramos veszélyeztetés szempontjából a tervezésnél figyelembe veendő, fém anyagú létesítményeket.

A helyszíni szemle során meg kell állapítani, hogy a tervezendő létesítmény milyen szerkezetekhez fog villamosan kapcsolódni, és hogy azok egyenáramú szempontból földeltek-

A katódos védelemmel ellátásra kerülő szerkezet katódos védelmének tervezése során a védendő szerkezet térségében a talaj korróziós tulajdonságait a vonatkozó szabványok szerint fel kell mérni.

Katódos védelmi rendszer tervezésekor a szabványokban rögzítetteken kívül meg kell ismerni és be kell tartani a védendő szerkezet tulajdonosának, üzemeltetőjének előírásait.

4. Fémek és beton bevonatos korrózióvédelme

A fémek és beton bevonatos védelmének tervezéséhez, ellenőrzéséhez szükséges az alábbi szabványok, előírások ismerete (2022.10.22.-én hatályos, tájékoztató jellegű):

1	MSZ EN ISO 12944-1:2018	Festékek és lakkok. Acélszerkezetek korrózióvédelme festékbevonat-rendszerekkel. 1. rész: Általános bevezetés
2	MSZ EN ISO 12944-2:2018	Festékek és lakkok. Acélszerkezetek korrózióvédelme festékbevonat-rendszerekkel. 2. rész: A környezetek osztályozása
3	MSZ EN ISO 12944-3:2018	Festékek és lakkok. Acélszerkezetek korrózióvédelme festékbevonat-rendszerekkel. 3. rész: Tervezési szempontok
4	MSZ EN ISO 12944-4:2018	Festékek és lakkok. Acélszerkezetek korrózióvédelme festékbevonat-rendszerekkel. 4. rész: Felület- és felület-előkészítési típusok
5	MZ EN ISO 12944-5:2020	Festékek és lakkok. Acélszerkezetek korrózióvédelme festékbevonat-rendszerekkel. 5. rész: Festékbevonat-rendszerek
6	MSZ EN ISO 12944-6:2018	Festékek és lakkok. Acélszerkezetek korrózióvédelme festékbevonat-rendszerekkel. 6. rész: Laboratóriumi vizsgálati módszerek a korrózióvédő képesség értékelésére

7	MSZ EN ISO 12944-7:2018	Festékek és lakkok. Acélszerkezetek korrózióvédelme festékbevonat-rendszerekkel. 7. rész: A festési munka végrehajtása és ellenőrzése
8	MSZ EN ISO 12944-8:2018	Festékek és lakkok. Acélszerkezetek korrózióvédelme festékbevonat-rendszerekkel. 8. rész: Előírások kidolgozása új munkához és karbantartáshoz Festékek és lakkok. Acélszerkezetek korrózióvédelme festékbevonat-rendszerekkel. 7. rész: A festési munka végrehajtása és ellenőrzése
9	MSZ EN ISO 1461:2009	Tűzihorganyzással kialakított bevonatok kész vas- és acéltermékeken. Követelmények és vizsgálati módszerek
10	MSZ EN ISO 2808:2020	Festékek és lakkok. A rétegvastagság meghatározása
11	MSZ EN ISO 4624:2016	Festékek és lakkok. A tapadás (adhézió) leszakításvizsgálata
12	MSZ EN ISO 16276-1:2007	Acélszerkezetek korrózióvédelme festékbevonat-rendszerekkel. A bevonat adhéziós/kohéziós (leszakítási szilárdság) értékelése és elfogadási kritériumai. 1. rész: Leszakításvizsgálat
13	MSZ EN ISO 8501-1:2008	Acélfelületek előkészítése festékek és hasonló termékek felhordása előtt. A felületi tisztaság vizuális értékelése. 1. rész: A festetlen és a teljesen festékmentesített acélfelületek rozsdásodási és felület-előkészítési fokozatai
14	MSZ EN ISO 8501-3:2008	Acélfelületek előkészítése festékek és hasonló termékek felhordása előtt. A felületi tisztaság értékelése szemrevételezéssel. 3. rész: A varratok, az élek és a felületi hiányosságokkal bíró egyéb területek felület-előkészítési fokozatai
15	MSZ EN ISO 8501-4:2021	Acélfelületek előkészítése festékek és hasonló termékek felhordása előtt. A felületi tisztaság értékelése szemrevételezéssel. 4. rész: Kezdeti felületi feltételek, előkészítési fokozatok és rozsdafokozatok vízsugárral való lemosás után (ISO 8501-4:2020)
16	MSZ EN ISO 8502-4:2017	Acélfelületek előkészítése festékek és hasonló termékek felhordása előtt. Vizsgálatok a felületi tisztaság értékelésére. 4. rész: Útmutatás a festék felhordása előtti kondenzáció valószínűségének becslésére.

17	MSZ EN ISO 8503-1:2012	Acélfelületek előkészítése festékek és hasonló termékek felhordása előtt. Szemcseszórt acélfelületek érdességi jellemzői. 1. rész: Szemcseszórt felületek értékelésére való ISO érdesség-összehasonlító mintákra vonatkozó előírások és fogalom meghatározások
18	MSZ EN ISO 8503-2:2012	Acélfelületek előkészítése festékek és hasonló termékek felhordása előtt. Szemcseszórt acélfelületek érdességi jellemzői. 2. rész: Módszer szemcseszórt acélfelületek érdességének minősítésére. Összehasonlításos eljárás
19	MSZ EN ISO 8503-4:2012	Acélfelületek előkészítése festékek és hasonló termékek felhordása előtt. Szemcseszórt acélfelületek érdességi jellemzői. 4.rész: Módszer az ISO érdesség-összehasonlító minták kalibrálására és az érdesség meghatározására. Tapintótűs eljárás.
20	e-UT 07.04.11:2021	Közúti hidak korrózióvédelme 3. Acélszerkezetek
21	MSZ EN ISO 2063-1:2019	Termikus szórás, Cink, alumínium és ötvözeteik. 1. rész: A korrózióvédelmi rendszerek tervezési szempontjai és minőségi követelményei.
22	MSZ EN ISO 2063-2:2018	Termikus szórás, Cink, alumínium és ötvözeteik. 2. rész: A korrózióvédelmi rendszerek megvalósítása.
23	MSZ EN 1542:2000	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A tapadószilárdság meghatározása leszakítással
24	e-UT 07.03.23:2018/M1:2022	Acél pályalemezű hidak szigetelése és aszfaltburkolata
25	e-UT 07.03.25:2020	Vasbeton pályalemezű hidak szigetelése és kocsipálya-burkolata
26	e-UT 07.04.13:2021	Kész betonszerkezetek korrózióvédelme
27	MSZ EN 1504-1:2006	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 1. rész: Fogalommeghatározások
28	MSZ EN 1504-2:2005	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 2. rész: A beton felületvédelmi rendszerei
29	MSZ EN 1504-3:2006	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-

		ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 3. rész: Szerkezeti és nem szerkezeti javítás
30	MSZ EN 1504-4:2005	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 4. rész: Szerkezeti ragasztás
31	MSZ EN 1504-5:2013	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 5. rész: Betoninjektálás
32	MSZ EN 1504-6:2007	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 6. rész: A betonacél rudak lehorgonyzása
33	MSZ EN 1504-7:2007	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 7. rész: Betonacélok korrózióvédelme
34	MSZ EN 1504-8:2016	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és AVCP. 8. rész: Minőség-ellenőrzés, valamint a teljesítmény állandóságának értékelése és ellenőrzése (AVCP)
35	MSZ EN 1504-9:2009	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 9. rész: Termékek és rendszerek alkalmazásának általános elvei
36	MSZ EN 1504-10:2018	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 10. rész: A termékek és rendszerek alkalmazása a helyszínen, és a kivitel minőség-ellenőrzése

4.1. Fémek

A fémek bevonatos védelmének az első – legfontosabb lépése – a megfelelő felület előkészítése a kialakítandó nem fémes réteg, a felhordandó fém vagy szerves rétegek előtt. A fémfelületen kialakult tapadó (a gyártás során alkalmazott segédanyagok maradványai és/vagy a felületre kenődött környezeti szennyeződés) és keletkezett (a környezet hatására és/vagy a megmunkálás során a felületen keletkezett vegyületek) szennyeződéseket el kell távolítani.

A zsírtalanítás a mechanikailag megmunkált (öntött, forgácsolt, sajtolt) munkadarabok felületén megtapadó, általában sem vízben, sem savakban nem oldódó zsír, zsírsav, viasz, gyanta, aszfalt és olajtípusú szennyezések eltávolítására szolgáló felület-előkészítő eljárás, melynek célja, hogy az alkatrész a felületvédelmi eljárások megkezdése előtt zsír- és szennyeződésmentes aktív állapotba kerüljön. A zsírtalanító anyagokat csoportosíthatjuk:

- Vizes vegyszeroldatok (lúgos (olajok, zsírok elszappanosítása), semleges és savas.)
- Emulziós zsírtalanító anyagok,
- Szerves oldószeres zsírtalanítók (ásványolaj alapú, halogénezett szénhidrogének)
- Szuszpenziós zsírtalanítók.

Hatásmechanizmusuk alapján lehetnek a felszínre „kiúsztató” típusúak. és emulziót képezve az oldatban tartó „emulziós” típusúak.

A zsírtalanítás hatásosságának ellenőrzése lehet:

- Izotópos nyomjelzéssel
  aktivitáscsökkenés mérése
- A fémfelület nedvesedésének mérése
  vízterülés-vizsgálat (szigetek képződnek ideje)
  kontakt-szög mérés
  cseppátmérő mérése

A környezet hatására és/vagy a megmunkálás során a felületen keletkezett vegyületek, oxidok eltávolítására vonatkozik az MSZ EN ISO 8501-1 szabvány, amelyben 4 kiindulási állapot szerepel:
A: szilárdan tapadó hengerlési reve, de rozsdamentes
B: kezdődő rozsdaképződés és kezdődő hengerlési reve-leválás tapasztalható
C: a hengerlési reve rozsdásodik, vagy amelyről az lekaparható, de helyenként enyhe, szabad szemmel látható rozsdabemaródások vannak
D: a hengerlési reve rozsdásodik, és az egész felületre kiterjedő, szabad szemmel látható rozsdabemaródások vannak

A szabvány a felület-előkészítésifokozatainak sorozatát írja elő. A különféle fokozatok leírásokkal és olyan fényképetalonokkal együtt meghatározottak, amelyek reprezentatív példák mindegyik leírt fokozatra.

Szemcsesugaras tisztítás (Sa) fokozatai (a szemcsefúvás hatásfoka a nyomás emelkedésével nő, a fúvóka átmérő növelésével csökken):

Sa 1: enyhe szemcsesugaras tisztítás. Ha a felületet nagyítás nélkül vesszük szemügyre, akkor annak látható olajtól, zsírtól és piszoktól, valamint lazán tapadó hengerlési revétől, rozsdától, festékbevonatoktól és idegen szennyező anyagoktól mentesnek kell lennie.

Sa 2: alapos szemcsesugaras tisztítás. Ha a felületet nagyítás nélkül vesszük szemügyre, akkor annak látható olajtól, zsírtól és piszoktól, valamint lazán tapadó hengerlési revétől, rozsdától, festékbevonatoktól és idegen szennyező anyagok többségétől mentesnek kell lennie. Bármilyen visszamaradó szennyeződésnek szilárdan kell tapadnia.

Sa 2½: nagyon alapos szemcsesugaras tisztítás. Ha a felületet nagyítás nélkül vesszük szemügyre, akkor annak látható olajtól, zsírtól és piszoktól, valamint lazán tapadó hengerlési revétől, rozsdától, festékbevonatoktól és idegen szennyező anyagoktól mentesnek kell lennie. A szennyeződés bármilyen visszamaradó nyomai csak jelentéktelen foltok vagy csíkok alakjában legyenek láthatók.

Sa 3: szemcsesugaras tisztítás a láthatóan tiszta acélig. Ha a felületet nagyítás nélkül vesszük szemügyre, akkor annak látható olajtól, zsírtól és piszoktól, valamint lazán tapadó hengerlési revétől, rozsdától, festékbevonatoktól és idegen szennyező anyagoktól mentesnek kell lennie. A felületnek egységes, fémes színe legyen.

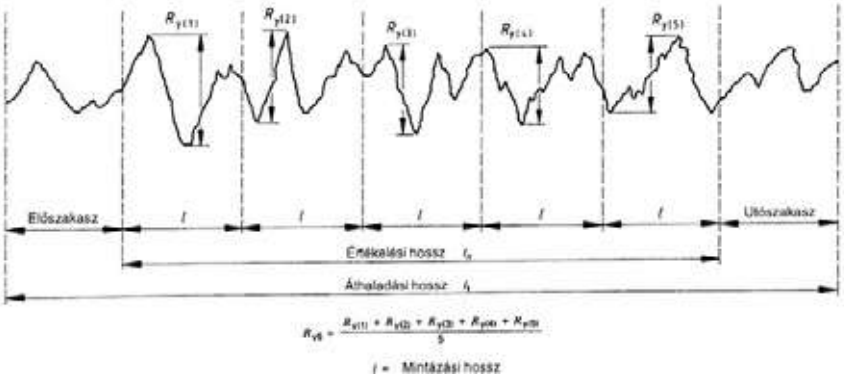
St 2: alapos kézi és gépi tisztítás. Ha a felületet nagyítás nélkül vesszük szemügyre, akkor annak látható olajtól, zsírtól és piszoktól, valamint lazán tapadó hengerlési revétől, rozsdától, festékbevonatoktól és idegen szennyező anyagoktól mentesnek kell lennie.

St 3: nagyon alapos kézi és gépi tisztítás. Mint az St 2 esetén, de a felületet sokkal alaposabban kell kezelni, hogy a fémhordozótól fémes fény adódjon.

Festésnél a felület előkészítése előtt a felületnek meg kell felelnie az MSZ EN ISO 8501-3:2008 szabvány (A varratok, az élek és a felületi hiányosságokkal bíró egyéb területek felületelőkészítési fokozatai) előírásainak (például hegesztések, élek, lyukak). Az előkészítési fokozatnak P3-nak kell lennie a hosszú és nagyon hosszú védő-időtartamú C4, C5, CX környezeti kategóriák esetében, valamint az Im1, Im2, Im3, Im4 környezeti kategóriák összes tartóssági fokozatoknál. P3 fokozatnál a felületnek hegesztési fröccsenés és látható pórus mentesnek kell lenni, az éleket legalább 2 mm-es sugárral kell lekerekíteni.

Az MSZ EN ISO 8503-2:2012 és MSZ EN ISO 8503-4:2012 szabványok vizuális és tapintó módszert ínak le a tisztított felület minőségének ellenőrzésére. A módszer olyan acélfelületeken alkalmazható, amelyeken az egész felületet az MSZ EN ISO 8501-1 szabvány szerint Sa 2½ és Sa 3 tisztasági fokozatúra tisztítottak.

Festékek felhordása előtt, szemcseszórással tisztított acél felületen általában az előírt érdesség az Rz (Ry5) átlagos legnagyobb érdességmélység érték.



A szemcseszórt felületre felhordandó alapozó réteg vastagságánál figyelembe kell venni felületi érdesség kompenzációt. A felületi érdesség kompenzációja a szemcseszórt felület érdességéből eredő mélyedések kitöltéséhez szükséges alapozó anyagmennyisége, amely a felület Ry5 érdességi mélységének értékétől (fokától) függően részlegesen az alapozóréteg mért vastagságát is megnöveli.

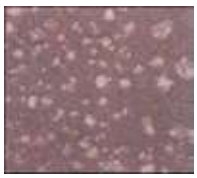
Az MSZ EN ISO 12944-4:2018 (Felület és felület-előkészítési típusok) szabvány a mechanikus felület előkészítéshez sorolja a nagynyomású tiszta vízsugaras tisztítást, amely jól alkalmazható a régi, leválásra hajlamos festékrétegek eltávolítására. Lényeges különbség a szemcsesugaras tisztításhoz viszonyítva, hogy a víz nem koptató hatású, az alapfelület érdessége az eredetihez képest nem változik. A nagynyomású vízsugaras tisztítás, illetve felület-előkészítési technológia osztályozása a víz nyomása szerint:
I. 68 bar alatt alacsony nagynyomású
II. 68 bar – 680 bar közepes nagynyomású
III. 680 bar – 2000 bar magas nagynyomású
IV. 2000 bar felett ultra nagynyomású

MSZ EN ISO 8501-4:2021 szabvány határozza meg a vizes tisztítás utáni fokozatokat. Meghatározza a kiindulási és a tisztított állapotokat.

Tisztított állapot fokozatok vizes tisztításnál:

Fokozat	Leírás
Wa 2	**Alapos nagynyomású vizes tisztítás** Alapos nagynyomású vizes tisztítás. A felület olaj és zsírmentes, nincs, rozsda, és idegen anyag. Csak erősen tapadó festékmaradvány lehet
Wa 2½	**Nagyon alapos nagynyomású vizes tisztítás** A felület olaj és zsírmentes, nincs, rozsda és idegen anyag, festékmaradvány. Elszíneződés lehet a leszedett festék helyén

Mivel a vizes tisztítás után nehezen kerülhető el a visszarozsdásodás (futórozsda), megkülönböztet enyhe (L), közepes (M) és erős (H) visszarozsdásodást.

Fokozat		Leírás
L		**Enyhe futórozsda** Olyan felület, amelyen nagyítás nélkül tekintve vékony rétegben sárgás/barnás rozsdaréteg figyelhető meg. A rozsda (elszíneződésként) egyenletesen vagy foltokban figyelhető meg, de erősen tapadó, ronggyal való finom törlés esetén nehezen eltávolítható.
M		**Közepes futórozsda** Olyan felület, amelyen nagyítás nélkül tekintve sárgás/barnás rozsdaréteg figyelhető meg. A rozsda (elszíneződésként) egyenletesen vagy foltokban van jelen a felületen, arányaiban jól tapadó, gyengéd törlés esetén enyhe nyomot hagy a rongyon.
H		**Erős futórozsda** Olyan felület, amelyen nagyítás nélkül tekintve piros-sárgás/barnás laza rozsdaréteg figyelhető meg. A rozsda (elszíneződésként) egyenletesen vagy foltokban van jelen a felületen, gyengéd törlés esetén erős nyomot hagy a rongyon.

A nagynyomású vízzel történő felületelőkészítés során a tisztítandó felületről az eltávolítandó bevonattól függően szennyező anyagok kerülhetnek a környezetbe. A tisztítandó objektum helye szerint a földtani közeg, a felszín alatti víz vagy a felszíni víz szennyezése fordulhat elő. A nagynyomású vízzel történő felületelőkészítés megkezdése előtt a tisztítandó objektumnál próbatisztítást kell végezni. A lecsorgó vizet és a felületről leváló szennyezőanyagokat sűrűszövésű geotextílián (0,07 mm-es szilárd áteresztésű) kell szűrni. A geotextílián átszűrt csurgalékvízből a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendeletben foglalt vizsgálatokat el kell végeztetni független, akkreditált laboratóriumban. Ha a vizsgálatok eredménye nem haladja meg az előírt határértékeket, a nagynyomású vízzel történő felületelőkészítés a teljes felületen elvégezhető. Ha az előírt határértékek közül egy vagy több nagyobb a mintában, akkor más felületelőkészítési módot kell választani. A nagynyomású vízzel történő felületelőkészítés alatt csak a geotextílián átszűrt csurgalékvíz engedhető földtani közegre vagy felszíni vízbe. A geotextílián összegyűlt szilárd szennyeződés veszélyes hulladékként kezelendő.

Üzemi körülmények között alkalmazzák a kémiai és elektrokémiai oxidmentesítési eljárásokat, amelynek célja a felületen képződött oxid- és reve réteg eltávolítása:

savas vagy lúgos oldatokban (pácokban)
só olvadékokban,
termikus, ill. különféle kombinált módszerekkel.

Oxidok oldódásának sebessége függ:

oxidréteg összetétele és szerkezete
a pác-sav minősége, - koncentrációja és - hőmérséklete

Az acél felületén kialakult oxidok oldódási sorrendje sósav pácban: wüsztit (FeO) → magnetit (Fe_3O_4)→ hematit (Fe_2O_3)

4.2. Fémek korrózióvédelme bevonatokkal

Védőbevonatok csoportosítása

- Szervetlen nem fémes (foszfátok, nitritek, kromátok, oxid, cement)
- Fémes (cink, alumínium, ón, nikkel)
- Szerves (festék, műanyag)

4.2.1. Szervetlen nem fémes bevonatok

A szervetlen nem fémes bevonatok közös jellemzője, hogy nincs idegen anyag, a fémfelület irányított átalakításával hoznak létre jól tapadó, nem porózus, korrózióállóságot, keménységet növelő, vagy díszítő hatású réteget. Mivel a rétegképzésben az alapfém is jelentős mértékben részt vesz, ezeket a bevonatokat konverziós rétegeknek szokták nevezni.

Oxidréteg

Oxidréteg képződésnél a primer oxidfilm vastagodásával az oxigénpotenciál a fém/oxid határrétegben mindinkább csökken. Ennek következményeként az elsődleges réteg alatt, esetleg a primer folyamattól eltérő mechanizmussal, egy oxigénben szegényebb, másodlagos oxidfázis alakul ki, amelynek nemcsak kémiai összetétele, hanem szerkezeti felépítése és fizikai-mechanikai sajátságai is eltérhetnek az első rétegétől.

A fémek oxidrétegének kialakítására, a réteg vastagítására, színezésére és tömítésére sokféle eljárást alkalmaznak. Az eljárások két csoportba oszthatóak: kémiai és elektrokémiai oxidálás.

A vas és acél esetén kémiai oxidáló eljárások megfelelőek. Pl. Oxidálás lúgos oldatokban, „barnítás", amely eljárásnál alkáli-nitrátot vagy -nitritet tartalmazó tömény lúgoldatot használnak. A lúg és oxidáló anyagok súlyaránya: 3:1.

Az MBV-, vagy az Alrok-eljárásban az alumínium kémiai oxidálását lúgos alkáli-kromát oldatokban végzik. A létrejövő oxidréteg pórusos, ezért korrózióállóság növelése céljából pórustömítés (pl. 1-5 % vízüveg-oldat 90-100 °C-on 10-15 perc, festés alá forró vízben főzés, szárítás 100-140 °C-on) szükséges.

A foszfátozásnál foszforsav, alkáli- nehézfém-foszfátokat tartalmazó oldat hatására a fémek felületén finom kristályos foszfátréteg alakul ki. A réteg, vízben oldhatatlan, kitűnően tapadó. Különböző fürdőösszetételeket alkalmaznak. A foszfátozásnál a gyorsítók szerepe: a katódfolyamatot azaz a H_2 leválást gyorsítják.

Corten acél

A korrózióálló képességét a speciális ötvöző anyagjainak köszönheti – különböző arányokban és összetételekben szén, mangán, szilícium, foszfor, réz, króm, kén, vanádium, nikkel kerül a vas mellé. Az időjárás hatására kialakuló rozsdaréteg stabilizálódik, védőréteget képez a felületén. Hátránya, hogy különleges hegesztési technikákat vagy anyagokat igényelhet. Az időjárásálló acél önmagában nem korrózióálló. Ha a víz felgyülemlik az acél felületén, akkor nagyobb lesz a korróziós sebessége, ezért gondoskodni kell a vízelvezetésről. Az időjárásálló acél érzékeny a nedves szubtrópusi éghajlatra, és ilyen környezetben előfordulhat, hogy a védőpatina nem stabilizálódik, hanem tovább korrodálódik.

4.2.2. Fémbevonatok

Fémek korrózióvédelmére különböző fémbevonatok is használatosak, amelyek az alapfém védelmén kívül a mechanikai, optikai tulajdonságot is javíthatják. A fémbevonatok kialakítása kémiai , termikus vagy elektrokémiai úton lehetséges.

A kémiai fémleválasztás számos fémre alkalmazható. Legnagyobb jelentőségű a nikkel, réz, arany és ezüst leválasztása. A különböző komplex vegyületeket tartalmazó elektrolitok elektromos erőtér hiányában egyenletesen behatolnak a legbonyolultabb alkatrészek felületére és a bevonó fémek az elektroncserével lerakódhatnak a kérdéses helyeken. Az elektroncsere történhet közvetlen úton a nemesfémet tartalmazó komplexionok oldata és a fémfelület fémionjai között. A kémiai fémbevonásnál redukálószer indítja be a rétegképződést.

A kémiai nikkelréteg leválasztására (Kanigen eljárás) leggyakrabban alkalmazott redukálószer a nátrium-hipofoszfit.

A termikus, vagy más néven tűzi bevonatok esetében, a fémfelülettel való kapcsolat alapján két fő bevonatcsoportot különböztetünk meg.

A termo-diffúziós bevonatoknál a hő hatására a bevonandó fém felületi rétegeibe a bevonó fém (fémolvadékot alkotó) ionjai diffundálnak és ez által kohéziós (kémiai) kötéssel kötődik a bevonat az alapfémhez. Ez a diffúz réteg igen vékony, általában csak néhány mikron vastagságú, de rendkívül jó kapcsolatot biztosít a két fém között.

A termo-diffúziós bevonatok esetében az egyes eljárásokat első lépésben a szerint különböztetjük meg, hogy a diffúzió milyen halmazállapotú közegből következik be. Ennek megfelelően léteznek a porállapotú bevonó fém alkalmazásával működő eljárások (sherardizálás, alitálás, inkromálás, stb.), a fémolvadékból és gázközegből kiinduló (katódporlasztás, vákuumporlasztás) diffúziós technológiák. Az ipari alkalmazást tekintve legnagyobb tömegben a fémolvadékba merítést alkalmazzák.

Szilárd fázisban a fémek diffúziós folyamata lehet intersztíciós (a diffundáló atom az alapfém rácshézagaiban vándorol) vagy szubsztitúciós (a diffundáló atom az alapfém hibahelyeire épül be).

A termo-mechanikus (olvasztás, porlasztás, szórás) bevonatok esetében a hőközlés és mechanikus energia együttesen fogják biztosítani a védő fémbevonat tapadását az alapfémen. Adhéziós kapcsolat jön létre. A réteg tulajdonságai további hőkezeléssel javíthatóak. Fémszórásnál a fémszemcsék optimális mérete 50-150 μm. A PVD (Physical Vapor Deposition) eljárásnál (az eljárást jellemzően t< 500 °C, p =10-2 végzik) a bevonó anyagot

felhevítik, párolog, vagy elektronsugárral, ívkisülésekkel porlasztják. Az elporlasztott anyag felületi rétegként lecsapódik a bevonni kívánt munkadarabra. A CVD (Chemical Vapor Deposition) eljárásnál (nagyobb hőmérséklet 500-1000°C) a folyamat során valamilyen kémiai reakció során bontják le majd építik fel az alkatrészre a felületi réteganyagot. Mivel a reakciótér hőmérséklete nem éri el a reakcióhoz szükséges hőmérsékletet, a felhevített bevonandó alkatrészen játszódik le a lecsapódási folyamat. Kemény, kopásálló rétegeket, (DLC: Diamond Like Coating – gyémánthoz hasonló bevonat), de mesterséges gyémánt bevonatot is készítenek ezzel a technológiával.

Gyakorlati felhasználásban jelentősek az elektrokémiai (galvanizálás) fémbevonatok (horganyzás, nikkelezés, krómozás, rezezés, ónozás, nemesfém rétegek, ötvözetek) mivel ezek a különféle kémiai, fizikai és mechanikai tulajdonságú bevonatok színfémként és ötvözetként is leválaszthatók. Az elektrolízisre felhasznált rendszerekben a fémsókon vagy komplex vegyületeken kívül több olyan komponens található, amelyek a leválasztandó fém vagy ötvözetréteg tulajdonságait a kívánt módon befolyásolják (áramvezető sók, kiegyenlítő (puffer) vegyületek, fényesítő-, szemcsefinomító-, keményítő-, kötőanyagok, ötvözetképző fémek sói, stb.). Ötvözetbevonatok akkor válnak le, ha az adott oldatban a két fém potenciál különbsége nagyobb, mint 300 mV.

A Faraday törvények mennyiségi összefüggést állapítanak meg az elektródreakcióban résztvevő anyag mennyisége és az elektródon átáramló elektromos töltés között.

$$m = \frac{M}{z \cdot F} \cdot I \cdot t$$

ahol

m: az átalakult anyag tömege (kg)	F: Faraday állandó (96,485 kC/mol)
M: moláris tömeg (kg/mol)	I: áramerősség (A)
z: az anyag töltésszámának változása	t: időtartam (s)

A műanyagok az ipari termelés legkülönbözőbb te-rületein speciális tulajdonságaik révén kiszorították az egyéb anyagokat. A műanyagok felhasználását azonban korlátozza számos jellemző tulajdonságuk. A galvanizálással ezek a hátrányos tulajdonságok befolyásolhatók. A megfelelő, jól tapadó fémbevonattal ellátott műanyagtárgynak számos előnye van a kiindulási darabbal szemben. A galvanizált műanyagtárgy elektromosan vezető, elektromágnesesen árnyékol, forraszthető, az infravörös sugarakat visszaveri, az ultraibolya sugarakat elnyeli, így a tárgy időjárásállósága javul, öregedési hajlama csökken. Az indifferens fémréteg jó korrózióvédelmet biztosít, megszünteti az oldószer- és vízfelvételt. A fémbevonat növeli a műanyagtárgy szilárdságát, a felület keménységét és a rugalmassági modulust, megakadályozza az elektrosztatikus feltöltődést, erősen javítja a hőállóságot, dekoratív külsőt biztosít a darabok kis súlyának megmaradása mellett. A műanyagok galvanizálásának feltétele a műanyag felületének vezetővé tétele. Galvanizálható műanyagok: teflon, poli-propilén, ABS akrilnitril-butadién-sztirol.

A műanyagok galvanizálásának technológiai lépései:

- zsírtalanítás, öblítés
- maratás: savas kromát, üregek, -COOH, -SO3H csoportok
- öblítés, szenzibilizálas Sn(II) ionok adszorpciója, öblítés
- aktiválás: Ag vagy Pd réteg lecsapása, Sn(II) redukálja
- öblítés
- áramvezetővé tétel kémiai réz (Fehling), nikkel (Nibodur)
- öblítés

- Galvanikus fémbevonás (lehet több réteg)
- Öblítés, utókezelés, ellenőrzés

4.2.3. Tűzihorganyzás

A tűzi-mártó horganyzás esetén nedves és száraz eljárást különböztetünk meg. Nedves eljárás során sóolvadékon át kerül a munkadarab a fémolvadékba.

A fürdőben (460 ºC) lezajló reakciók legfontosabb része az a hő-diffúzió, melynek során a horganyfürdőből cink ionok diffundálnak a bemerített fém felületébe, és a fém kristályrácsába beépülve azzal vas-cink ötvözetet alkotnak. Felületkémiai megközelítés szerint, először a cink (Zn) ionok megtapadnak a fémtiszta felületen (adszorpció), majd diffundálnak (abszorpció) a vas felületi rétegeibe. Így egy jól tapadó, vékony diffúziós réteg alakul ki, amelyre további ötvözeti rétegek épülnek. Ez a folyamat a fémfürdő felszíne alatt mindaddig zajlik, ameddig a tárgy az olvadékban van. Itt nemcsak a cink diffúziója zajlik, hanem közben a vas is oldódik a horganyolvadékban (diffundál) és Fe-Zn ötvözetet alkotva a fürdő alján ún. keményhorgany formájában gyűlik össze. A horganyfürdőből történő kiemelés során ezekre az ötvözeti rétegekre a fémolvadék összetételével megegyező fémréteg szilárdul rá. A diffúzió mindaddig zajlik, amíg a munkadarab hőmérséklete 200 ºC alá nem csökken.

A tűzihorgany bevonatok a mechanikai igénybevételekkel szemben, és a korróziós hatásokkal szemben jó védelmet képviselnek, lényegesen ellenállóbak, mint a festék bevonatok. Desztillált vízben viszont a cinknek a hőmérséklet függvényében két korróziós maximuma van, az egyik 30-40 °C, a másik 65- 70°C között. A természetben ionmentes vízzel páralecsapódáskor találkozunk.

4.2.4. Szerves bevonatok

A fémszerkezeteket korrózió ellen gyakran szerves bevonatokkal (többrétegű festés) védik. A festésnek célja lehet:

- korrózió elleni védelem
- esztétikai igény kielégítése
- jelzés
- higiéniai követelmény teljesítése

A szerves bevonóanyagok, eltekintve külső, fizikai megjelenésüktől (por, folyékony vagy paszta), a következő alkotókból épülnek fel:

- kötőanyag (filmképző)
- pigment, töltőanyag
- oldószer
- hígító
- adalékanyagok (lágyítók, nedvesítőszerek, katalizátorok, stabilizátorok...)

4.2.5. Kötőanyag, filmképzők

Kémiai jellegük szerint:

természetes eredetű anyagok: - olajok

- tovább alakított olajok
- bitumenek és kátrányok
- természetes gyanták
- cellulózszármazékok
- kaucsukszármazékok

szintetikusan előállított termékek: - műgyanták

A műgyanták előnyei a természetes gyantákkal szemben:
- egyenletesebb minőség
- az adott felhasználási célnak legmegfelelőbb tulajdonságok mesterségesen alakíthatók ki
- olyan felületvédelmi problémák megoldása, ami a természetes gyantákkal nem érhető el (különleges hőállóság, vegyszerállóság)

Szükséges, hogy a műgyanta kötőanyagokból jól tapadó, megfelelő rugalmasságú és keménységű bevonat legyen kialakítható.

A műanyagok szerves óriás molekulájú vegyületek. Szerkezetükre, felépítésükre és kémiai átalakíthatóságukra a szerves kémia általános törvényszerűségei vonatkoznak. Az óriás molekula rendszerint a kis molekulájú szerves alapvegyület molekuláinak ismétlődő kapcsolódásával épül fel. Az óriásmolekulák atomjainak száma általában 10^3-10^6 nagyságrendű. A műanyag alapú lakkok, festékek a nagy molekulájú anyagok oldatai. Számos műanyag a korrózió elleni védelemben jól használható.

A lakkműgyantákat műanyag-kémiai szempontból három fő csoportra osztják: kondenzációs, polimerizációs és poliaddíciós műgyantákra.

A **polimerizáció** olyan molekulanövekedési folyamat, amelyben az egyszerű telítetlen alapvegyület molekulái melléktermékek keletkezése nélkül, addícióval kapcsolódnak egymáshoz. A kopolimerizációban két vagy több monomerféleség molekulái kapcsolódnak össze óriásmolekulává. Adott monomerből láncreakcióban keletkező polimer szerkezetét egyszerűen jelölhetjük a következő módon:

$$n\ CH_2 = CH — R \rightarrow (CH_2 — \underset{\displaystyle R}{\underset{|}{CH}})— (CH_2 — \underset{\displaystyle R}{\underset{|}{CH}})$$

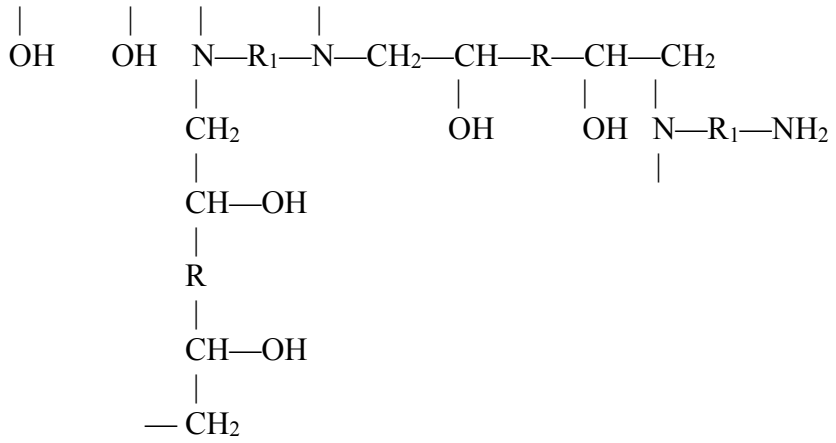
A polimerizáció láncreakció. Három fő fázisra bontható: kezdet, növekedés és befejezés.
A **polikondenzáció** alkalmával két vagy több vegyület molekulái, valamilyen egyszerű kismolekula – melléktermék– keletkezése közben kapcsolódnak óriásmolekulákká. A polikondenzáció folyamata lényegesen különbözik a polimerizációtól. A kondenzáció egyensúlyi reakció, s a molekula tovább növekedése a keletkezett melléktermék eltávolításától függ.

$$HO - R_1 - OH + HOOC - R_2 - COOH \rightarrow \quad HO - R_1 - OOC - R_2 - COOH + H_2O$$

A **poliaddíciónál** az óriásmolekula két vagy több kiindulási vegyület melléktermék kilépése nélkül történő kapcsolódásával keletkezik.

$$CH_2—CH—R—CH—CH_2 + H_2N—R_1—H_2N \rightarrow$$

$$\rightarrow \quad —CH_2—CH—R—CH—CH_2$$



A festékek különlegesen összetett rendszerek. Nedves állapotban termodinamikailag instabil heterogén keverékek, amelyek folytonos fázisban szuszpendált szilárd részekből állnak. A folytonos fázist egy vagy több polimer, oligomer, sőt egyes esetekben monomer alkotja, amelyek folyékony oldószerek keverékében oldott állapotban vannak. Ez a két vagy több fázisú rendszer esetenként fél tucat különböző pigmentet tartalmaz, amelyeket a polimer kötőanyagnak nedvesítenie és diszpergálnia is kell. Mindezt elektrokémiailag aktív tenzidek, inhibitorok, katalizátorok és gyorsítók jelenlétében kell biztosítania, néha a gyártás során még magasabb hőmérsékleten is. Az egész bonyolult rendszert, a megkívánt tárolási időtől függően sokszor több hónapon át sztérikus gátlás és elektrosztatikus erők stabilizálják.

A vázolt rendszernek lényeges változás nélkül kell elviselnie jelentős hőmérséklet-ingadozást, de a felhordás után (ecsetelés, szórás, elektrosztatikus szórás, nagy nyomású szórás, stb) rövid időn belül jól fedő, az alaphoz jól tapadó, sima, összefüggő filmet kell képeznie a megkívánt rétegvastagsággal.

A rendszerben levő oldószerek gyorsan és egyenletes sebességgel kell, hogy elpárologjanak, és a rétegnek rövid időn belül száraznak kell lennie. A képződött filmnek ezután megfelelően erősnek kell lennie, nem is beszélve a megkívánt hosszú élettartamról.

Az utóbbi évtizedekben a korrózióvédelem területén hatalmas fejlődés ment végbe, elsősorban a festékanyagok előállítására alkalmas új műgyanták és műanyagok kifejlesztése következtében. A szigorúbb környezetvédelmi előírások arra ösztönzik a festék felhasználókat, hogy a nagy oldószertartalmú festékek helyett nagy szilárdanyag tartalmú, oldószer-szegény ill. oldószermentes, vagy vizes hígítású festékeket alkalmazzanak. A korrózióvédelem területén alkalmazott festékek leggyakrabban használt kötőanyagai közül néhány típus rövid ismertetése.

ALKIDGYANTA

Régóta ismert, széles körben használt, vidéki és enyhe ipari légkörben megfelelő korrózióállósággal rendelkező kötőanyagok az alkidgyanták. Az „alkid” elnevezést eredetileg Kienle 1927-ben polialkoholok és többértékű savak kondenzációs termékeire alkalmazta. Az alkidgyanták rendkívül sokféle felépítésének megfelelően széles felhasználási területek eltérő követelményei elégíthetők ki. A levegőn száradó alkidgyanta alapú festékek filmképzése beépített telítetlen zsírsavláncok autooxidatív úton végbemenő térhálósodása útján történik. Az alkidgyanta alapú festékeknek jó az időjárásállósága, mérsékelt a kémiai ellenálló képességük, elszíneződésre hajlamosak.

POLIÉSZTER
A poliészterlakkok nagy aktivítású telítetlen poliésztergyanták sztirolos oldatai. A poliészterlakk kötése peroxidvegyületek hatására polimerizáció útján történik. A poliészterek lakkok mérsékelten lúgállóak.

VINILPOLIMER
Viszonylag kis mennyiségű vinil-acetát hatására jól oldható és számos más műgyantával, lágyítóval kombinálható kopolimerek keletkeznek. E termékek jó időjárásállóságú és jó mechanikai tulajdonságú festékek alapanyagául szolgálnak.

POLIURETÁN
A poliuretán festékek kétkomponensűek vagy egykomponensűek. A kétkomponensű poluretánok egyik komponense hidroxiltartalmú pigmentált poliészter oldat, másik komponense poliizocianát oldat. Az aromás felépítésű poliizocianátok gyorsabban reagálnak és olcsóbbak. Az alifás poliizocianátokkal készült bevonatok kevésbé sárgulnak és nem krétásodnak.

A nedvességre keményedő poliuretángyanták az egykomponensű poliuretán bevonatokban előpolimerek, amelyek poliizocianát és hidroxidtartalmú vegyületekből nyerhetők. Ezek az előpolimerek még szabad izocianát-csoportokat tartalmaznak, amelyek a nedvességgel reagálnak és kikeményednek. Növekszik a kétkomponensű oldószermentes poliuretán bevonóanyagok jelentősége. Ezek folyékony, kisebb móltömegű hidroxiltartalmú poliészterekből, illetve poliéterekből és poliizocianátból készülnek. A poliuretán festékekből nagy rugalmasságú, jó tapadású, jó időjárásállóságú, kopásálló bevonatok alakíthatók ki.

EPOXIGYANTA
Napjaink epoxi-technológiája 1934-ben, majd az azt követő néhány évben elfogadott szabadalmakból ered. Az epoxigyanták kereskedelmi gyártása az 1940-es évek végén és az 1950-es évek elején kezdődött. Annak idején elsősorban a Shell és a Ciba jelentettek meg új termékeket a piacon. Jelenleg a világ számos gyárában állítanak elő epoxigyantát, amely a festékipar legfontosabb nyersanyagai közé tartozik. Az epoxigyanták a festékek kötőanyagaként azért érték el mai pozíciójukat, mert megszilárdult formában rendkívüli kémiai és mechanikai ellenállást mutatnak, illetve jó tapadóképességgel rendelkeznek. Időjárásállósága közepes, krétásodik. A festékiparban alkalmazott epoxigyanták elsősorban bisfenol-A-ból és epiklórhidrinből előállított diglicidil-éterek. A molekulák tömegének növekedtével a gyanta alakja folyékonyból szilárddá változik. Szilárd epoxigyantákat alkalmaznak az oldószertartalmú epoxifestékek és porfestékek előállításában. A folyékony gyantákból oldószermentes epoxifestéket állítanak elő.

AKRILÁT POLIMER
A kétkomponensű rendszerekhez ajánlott akrilát diszperziók egyik csoportja epoxi-emulzióval térhálósodik (80% akrilát, 20% epoxi), a másik izocianátokkal.

Az epoxi-emulzióval térhálósodó akrilát, nagyon tartós, esztétikus bevonatot ad, amely ellentétben az oldószeres epoxival, nem veszíti el fényességét, nem krétásodik. A bevonat tulajdonságait az akrilát fogja döntően meghatározni.

SZILIKONOK
A szilikongyantáknál (polisziloxánok) a fő láncban szilicium és oxigén van. A szilicium-oxigén kötés erősebb, mint a szén-szén közötti kötés. A legtöbb típus a molekulába beépítve hőálló poliésztert is tartalmaz a mechanikai tulajdonságok javítása céljából.

CINK-SZILIKÁT BÁZISÚ BEVONAT
Valamennyi szilikát kötőanyag szilikát kovasav polimert képezve reagál vagy hidrolizál. A polimer kovasav reakciója a cinkionokkal cink-szilikát komplexet alakít ki, amelyet fémes cinkpor részecskék vesznek körül. Mellékreakcióként a száradási és szilárdulási folyamatban részt vesz a légnedvesség, a szén-dioxid, szilikát komplexet kialakítva. A végső kombináció a bevonatot adó oldhatatlan és igen erős fém cinkporral körülvett mátrix.

DUPLEX BEVONATRENDSZER
A duplex-rendszer alatt a fémbevonat (pl. horganyzás és az erre felhordott festékbevonat kombinációját értjük. A festék megvédi a horganyt a korróziótól és ezáltal hatással van a kombináció élettartamára. Amennyiben a festékréteg megsérül, akkor is még fennáll a horganyzott felület védőképessége. A megsérült területen a korróziós károsodás az acélhoz képest kevésbé tud a festék alatt a horganyon továbbterjedni. Ennek oka elsősorban az, hogy a cinkrozsda térfogatnövekedése jóval kisebb, mint amekkora térfogatnövekedésre a vas esetében számíthatunk.

A legbonyolultabb, új szintetikus rendszereket nem lehet csupán a monomer összetétellel leírni. Az újabban előállított polimerdiszperziók monomer-öszetétele lépcsőzetesen, vagy fokozatosan változik a részecske középpontja és felülete között. Mivel a polimer diszperzió részecskéi nagyon kicsik (50-300 nm), elegyíthetők termodinamikailag összeférhetetlen más polimerekkel. Akrilát-monomereket lehet uretán-diszperziókban polimerizálni úgy, hogy a latex részecskéken belül mikrofázisú szétválás vagy egymásbahatoló (interpenetrating) polimer térháló jön létre.

Egyetlen bevonat is többféle filmképzőn alapulhat, amelyek nagymértékben eltérhetnek összetételükben: poláris és nem poláris vinil-polimerek, uretán, epoxi, cellulóz és alkid alapú filmképzők említhetők meg. Ezen az úton optimalizálni lehet a bevonat reológiai, nedvesedési tulajdonságait, a rendszer reaktivitását és kémiai ellenállóképességét úgy, hogy azok túlszárnyalják az egyes polimer-rendszerek megfelelő tulajdonságait.

4.2.6. Pigmentek

A *pigmentek* oldószerekben és kötőanyagokban oldhatatlan, szerves vagy szervetlen, por alakú, finom szemcséjű vegyületek. Alkalmazásuk célja: a színhatáson kívül a bevonat tulajdonságainak javítása vagy módosítása (pl. korrózióállóság, időjárás-, fényállóság). A pigmentek és kötőanyagok segítségével a legkülönbözőbb felületek bevonására alkalmas festékek készíthetők. A pigmenteknek díszítő hatásukon kívül legfontosabb feladatuk a korrózióvédelem fokozása. Korszerű korróziógátló pigmentek:
Anódos hatásúak: akadályozzák a vas oldódását
- cink-foszfát
- cinkoxid
- aluminium-trifoszfát
- kálcium-boro-szilikát

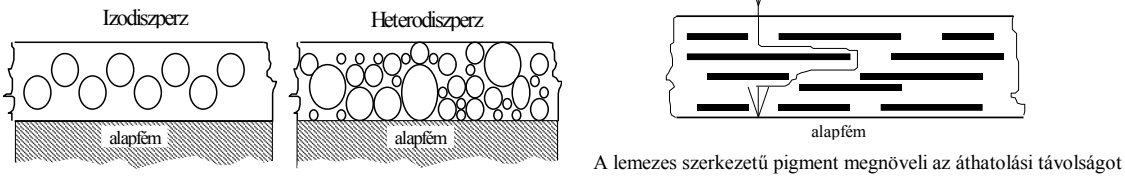
Katódos hatásúak: áldozati anódként oldódik

cinkpor: a cinkben gazdag alapozók, a Zn (R), azok, amelyek száraz filmben 80 tömegszázalékos vagy annál nagyobb cinkpor-pigmenttartalommal rendelkező bevonatot képeznek.

Barrier hatásúak: megnehezítik a korróziós ágens eljutását az acélfelülethez
vascsillám: a gyakorlatban nagyszerűen bevált, vegyszerálló pigment
alumínium: savas és lúgos közegben gázfejlődés miatt nem ajánlott

A *töltőanyagok* többnyire szervetlen eredetű anyagok, amelyek alkalmasak a bevonatok tulajdonságainak javítására és a termék olcsóbbítására. Ma már a pigmenteket és töltőanyagokat nem választják szét élesen, mert ugyanazt az egyik bevonó-anyagban töltőanyagként, a másikban pigmentként használhatják.

A bevonóanyag tulajdonságait a szilárd fázis-részecske, pigment és töltőanyag nagysága és eloszlási foka alapvetően befolyásolja. A részecskék méretbeni hasonlósága, ill. eltérése alapján különbséget kell tenni izodiszperz és heterodiszperz eloszlás között. A megfelelően heterodiszperz rendszer kevésbé áthatolható, tehát ellenállóbb filmet ad.



A lemezes szerkezetű pigment megnöveli az áthatolási távolságot

4.2.7. Oldószerek, hígítók

Az *oldószert*, az oldó hatása miatt, előállításakor adják a festékhez. Az oldószerekkel szemben támasztott követelmények: színtelen, kevésbé gyúlékony és kevésbé mérgező legyen, tartsa oldatban a filmképzőt, ne lépjen reakcióba a filmképzővel és a pigmentekkel, száradás közben lassabban párologjon, mint a hígító, lehetőleg olcsó legyen. A gyakorlatban mindig oldószerkeverékeket használnak.

A szerves oldószerek a festékekben a felvitel szempontjából szükséges anyagok, amelyek azonban elpárologva a bevonat képzésében – a legtöbb esetben - nem vesznek részt. Érthető az a törekvés, hogy az oldószert, mint szükséges rosszat kiküszöböljék. Evvel egyidejűleg a környezetvédelmi szempontból káros illóanyag kibocsátás is csökkenthető. A megoldás lehet a vizes diszperzió, vagy a vízzel hígítható festék.

A vizes műanyag-diszperzióknál a polimer részecskék a vízben, mint külső fázisban finoman vannak diszpergálva. A diszperziók filmképzése az egyes polimerrészecskék egyesülése útján történik. A vízoldható kötőanyag nagyon sokféle e célra kidolgozott műgyanta lehet. Található köztük vízoldható vinilkopolimerek, vízoldható fenolgyanták és sokféle vízoldható alkid tipusú műgyanta.

A vízzel hígítható festékanyagoknál a kiindulási festékek 5-15 % szerves társoldószert tartalmaznak, azonban vízzel korlátlanul hígíthatók, az eszközök vízzel lemoshatók. A vizes diszperziós festékekkel szemben előnyük, hogy termodinamikailag stabilabbak, a pigmenteket jobban nedvesítik, nagyobb a pigmentfelvevőképességük. A korrózióvédelem területén alkalmazásra kerülnek mind az egy komponensű bevonóanyagok (pl. alkidgyanták, poliészterek), mind pedig a két komponensű termékek (epoxigyanták, poliuretán).

Hígító: utólag adjuk a festékhez a megkívánt folyékony halmazállapot elérése céljából, oldó hatása nincs.

A gyakorlatban mindig oldószerkeverékeket használnak. Hígításra kizárólag a termék-szabványban megadott hígítókat és csak az előírt mennyiségben szabad használni. Az oldó- és hígítószerek gőzei az egészségre ártalmasak és a klórozott szénhidrogének kivételével tűz- és robbanásveszélyesek. Az oldó-és hígítószerek legcélszerűbben kémiai szerkezetük szerint csoportosíthatók:

- szénhidrogének
- alkoholok
- éterek
- észterek
- ketonok
- víz

4.2.8. Adalékanyagok

Lágyítók: fokozzák a bevonat rugalmasságát
Szikkatívok: oxidatív úton száradó festékben gyorsítják a száradást.
Nehézfémeknek szerves savakkal képzett vegyületei.
Ülepedésgátlók
Bőrösödésgátlók
Habzásgátlók
Fungicid anyagok

4.2.9. Tixotrópia

A tixotrópia jelensége a lakkok és festékek előállítása, valamint feldolgozása során fontos szerepet játszik. A tixotrópia egy izoterm reverzibilis gél-szol átalakulási folyamat. Más szavakkal tixotrópián azt a jelenséget értjük, mely a folyadékot tartalmazó gélek egyik csoportjára jellemző, amennyiben azok mechanikai behatásra (keverésre, rázásra) elfolyósodnak, majd a behatás megszüntetése után bizonyos idő múlva ismét megszilárdulnak. (Izoterm: állandó hőmérsékleten végbemenő. Reverzibilis: megfordítható. Gél: kocsonyás, de könnyen deformálható rendszer. Szol: kolloid oldat.).

A tixotrópiának a festékek tárolásánál is fontos szerepe van, amennyiben a kialakuló gélszerkezet jelentős mértékben megakadályozza a pigment- és töltőanyag-szemcsék leülepedését. Tixotróp festék vastagabb rétegben hordható fel, függőleges felületen sem folyik meg, a terülés azonban a tixotrópia mértékének növekedésével romlik.

4.3. A filmképzés folyamata

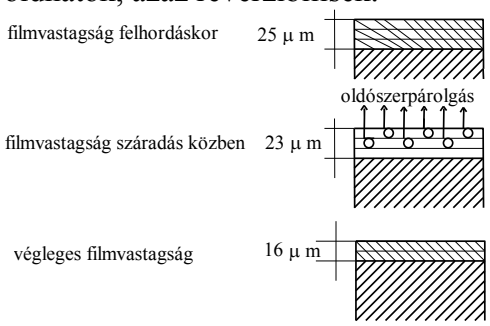
A felületre felvitt filmképző anyag szilárd réteggé, filmmé alakul. Ez a filmképzés (száradás folyamata). A filmképzés első fázisában előbb a legnagyobb, majd a kisebb párolgási sebességű oldószerek illannak el. Előfordul, hogy a filmben még hosszabb idő után is oldószernyomok maradnak vissza. Az oldószer részleges visszamaradása esetén a film könnyebben duzzad, áteresztőképessége nagyobb, és a bevonat mechanikai tulajdonságai is megváltoznak.

A filmképzési folyamatok mechanizmusának ismerete mind a lakkok és festékek előállítóinak, mind a felhasználóknak fontos útbaigazítást ad az optimális gyakorlati eredmények eléréséhez. A filmképzési folyamatoknak mindig összhangban kell lennie a feldolgozási technológiával.

A filmképzés lehet fizikai, kémiai vagy fizikai és kémiai folyamat együttes eredménye.

4.3.1. Fizikai filmképzés

Fizikai filmképzéskor a filmképző anyag kémiailag nem változik, a bevonat végleges kialakulása az oldószer teljes elpárolgásával befejeződik. A fizikai száradású bevonatok az eredeti oldószerükben ismét oldhatók, azaz reverzibilisek.



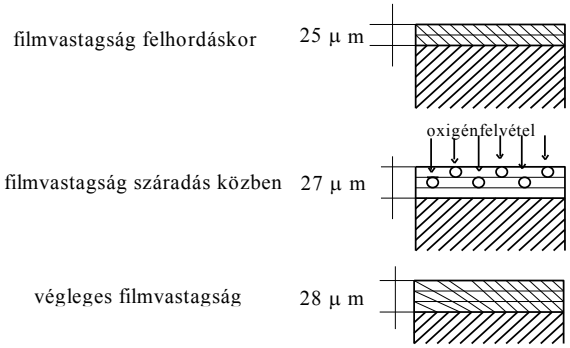
A fizikai filmképzés folyamata

A fizikai filmképzés végbemehet oldatból, emulzióból és olvadékból. Oldatból a filmképzés lényegében az oldási folyamat fordítottja: az anyag oldatából az oldószer elpárolog (pl. cellulózszármazékok és természetes gyantaalapú oldatok: nitro- ill. szeszlakk). A filmből az oldószer távozása sokkal lassúbb, mint annak felvétele. A filmképzés folyamata: az oldószer távozása, belűről diffúzióval pótlódik, a felületen gőzréteg képződik innen távozik a környezetbe ill. vissza a rétegbe, a réteg viszkozitása nő, végül a felület megszilárdul, ebben a szakaszban szűnik meg az oldószer hatásaként keletkezett szolvátburok, a molekulák között a kölcsönhatás újraalakul.

Emulzióból a filmképzés fázisváltozás és vízelpárolgás útján alakul ki. (Emulzió: két egymásban nem oldódó folyadéknak szabad szemmel egyneműnek látszó elegye). Az emulzió "külső fázisának" (vizének) elpárolgása, vagy porózus anyagba (pl. fa, vakolat) a felszívódása után a felületen filmképző részecskék maradnak vissza, amelyek már közönséges hőmérsékleten összefolynak és összefüggő felületet, filmet képeznek (polivinilacetát, poliakrilát emulziók).

Olvadékból a filmképzés a nagymolekulájú szerves anyagok olvadékának lehűlésével megy végbe (pigmentált, oldószermentes kötőanyagok finomeloszlású pora, etil-cellulóz alapú féllakk).

4.3.2. Kémiai filmképzés



Kémiai filmképzés

Kémiai filmképzéskor a bevonat végleges kialakulását kémiai reakciók eredményezik. A filmképzés - oldószertartalmú anyagok esetében - fizikai folyamattal, oldószerek elpárolgásával kezdődik. A filmképzés további szakaszában a kötőanyag kis molekulái kémiai úton, térhálós makromolekulákká alakulnak. Ezek a filmek eredeti oldószerükben általában oldhatatlanok, azaz a folyamat irreverzibilis (kencék, olajfestékek, telítetlen olajokat tartalmazó lakkok és zománcok).

A kémiai filmképzés autooxidáció, polimerizáció, polikondenzáció vagy poliaddíció útján megy végbe.

Autooxidatív filmképzés
A telítetlen kettős kötésű növényi olajok a levegő oxigénjének felvételével száradnak (olajfestékek, telítetlen olajat tartalmazó alkidgyantás lakkok és zománcok). A filmképzés oxigénfelvételből származó tömegnövekedéssel jár. Az oxigénfelvétel a telítetlen olajfilm kialakulásával nem szűnik meg. A megszilárdulás után felvett oxigén lánchasadást eredményez, ami jellemző a száraz film öregedési folyamatára. A filmek tönkremenetele tehát már a száradáskor kezdődik.

Autooxidatív filmképzés
A telítetlen kettős kötést tartalmazó kötőanyag kis molekulái melléktermék képződése nélkül kapcsolódnak egymáshoz. Ilyen filmképzéssel száradnak a telítetlen poliészterből és folyékony vinilvegyületekből előállított oldószermentes lakkok.

Polikondenzációs filmképzés
A bevonat két vagy több kötőanyag molekuláiból képződik, miközben kismolekulájú melléktermék (pl. víz) keletkezik. Ilyen filmképzés elsősorban a beégethető bevonóanyagok (fenol-, karbamid-, melamin-formaldehid-gyanták) szárításakor megy végbe.

Poliaddíciós filmképzés
Két vagy több kötőanyag molekulái atomátrendeződéssel, melléktermék képződése nélkül reagálnak egymással. Így megy végbe pl. a poliizocianát és az epoxialapú kötőanyagok filmképzése, térhálósodása.

4.4. A filmek tönkremenetele

A lakkfesték bevonatok vékony műanyagrétegnek tekinthetők, és a tönkremenetelük, a különböző kémiai és fizikai hatásokra bekövetkező változások elvileg a megfelelő

műanyagokkal azonos folyamat. Lényeges különbség, hogy mint vékony rétegek nagyobb felületen érintkeznek az agresszív közeggel, nagyobb mértékben vannak kitéve az atmoszférikus behatásoknak.

A film kialakulásától kezdve állandóan változik. A film kialakulásának folyamata gyakran már kisebb-nagyobb leépítődéssel párosul.

A film elkerülhetetlen tönkremenetelét (depolimerizációját) a napfény, a hő, a levegő oxigénje, páratartalmának változása, szennyeződések, továbbá a bevonat alatti korrózió együttes, komplex hatása okozza.

Kezdetben a film a tapadó (adhéziós) erők következtében az alaphoz tapad. Ezzel egyidejűleg működni kezd egy másik, a bevonat molekuláit összetartó erő, a kohézió is, amely a film zsugorodásában nyilvánul meg és az adhézió leküzdésére törekszik. Ha a film kialakulásakor az adhéziós és kohéziós erők egyensúlyban vannak, nagyon tartós bevonat létesül.

A film vastagsága a levegő páratartalma szerint változik. A párás levegő növeli (duzzasztja), a száraz levegő csökkenti (zsugorítja) a bevonatot. Ezek a változások végül a film ellenálló képességének romlását okozzák. Hasonló jelenség megy végbe hőmérsékletváltozáskor is. (Pl. a hőmérséklet csökkenésekor a filmben levő víz megfagyása térfogat-növekedéssel jár és roncsoló hatású.) Ezek a folyamatok a kohéziós erő csökkenéséhez vezetnek. A filmben a levegő oxigénje, továbbá a napfény (főleg az UV-sugarak) hatására kémiai bomlás is bekövetkezik.

4.5. Festékanyagok csoportosítása

Kémiai felépítés szerinti csoportosításon kívül a festékeket a komponensek száma, a hígító anyaga és a száradás szerint a következő csoportokra oszthatjuk:

komponensek száma	hígíthatóság	száradás
egykomponensű	szerves oldószerrel	levegőn száradó
kétkomponensű	vízzel	beégetős
többkomponensű		egyéb

Festékanyagok tárolása

A festékanyagok raktáron kívüli, szabad ég alatti tárolása nem megengedett. A szerves peroxidokat és az öngyulladásra képes anyagokat a többi anyagtól elkülönítve kell tárolni. a festékanyagokat tűzveszélyességi fokozatba kell besorolni, és ennek alapján tárolni. A megfelelő tűzveszélyességi fokozatot fel kell tüntetni a vonatkozó termékszabványban, a műszaki előírásban és minden egyes csomagolási egységen. A lakk- és festékipari termékeket külön erre a célra kijelölt helyiségben, a minőség megóvása érdekében lehetőség szerint +5 - +25 °C hőmérsékleten, alátét alkalmazásával kell tárolni.

A raktárban a festékanyagok típus és gyártási idő szerint csoportosítandók, hogy mindig a régebbiek kerüljenek kiadásra. Így a tárolási idő könnyen betartható.

Tárolási vagy tárolhatósági idő az az időtartam, amelyen belül a festékanyagok megfelelő körülmények között tárolva nem változtatják funkciós tulajdonságaikat. A festékanyagok ez idő után is felhasználhatók, ha azokat közvetlenül a felhasználás előtt megvizsgálták és

megfelelőnek találták. A tárolhatósági időt a termék szabványaiban, műszaki előírásaiban, valamint minden csomagolási egységen fel kell tüntetni.

Festékanyagok előkészítése felhasználáshoz

- A festékes edény fedelét a megbontás előtt gondosan le kell tisztítani.
- A festék felkeverése előtt az esetleges bőrréteget feltétlenül el kell távolítani.
- Kitöltés előtt a festékeket alaposan fel kell keverni. A két- vagy többkomponensű anyagoknál a komponenseket külön-külön, az összeöntés előtt szintén alaposan fel kell keverni. Külön fel kell hívni a figyelmet a két- vagy többkomponensű anyagoknál a keverési arány pontos betartására és a homogenizálás fontosságára. Az összekeverendő anyag mennyiségénél figyelembe kell venni az anyag kötési idejét, amely hőmérsékletfüggő.
- A festéket tartalmazó, de már megbontott festékes edényeket ismét légzáróan kell lezárni.
- A festékanyagok kezelése az egészségre káros, ezért a vonatkozó egészségvédelmi óvórendszabályokat szigorúan be kell tartani.

4.6. A bevonatrendszerek kialakítása

A bevonatrendszer fő rendeltetése, hogy a termékeket a környezet káros hatásaival szemben védje. Ez csak úgy érhető el, ha ezekkel a támadásokkal szemben a bevonatrendszer az alapfelületnél ellenállóbb. A bevonatrendszer tartóssága és élettartama mindig a felület leggyengébben védett részétől függ.

Az acélszerkezetek hatékony korrózióvédelmének biztosítása érdekében az ilyen szerkezetek tulajdonosainak, tervezőknek, tanácsadóknak, korrózióvédelmet kivitelező társaságoknak, a védőbevonatok ellenőreinek és a bevonóanyagok gyártóinak rendelkezniük kell a festékbevonatrendszerekkel való korrózióvédelemről szóló, a tudomány állása szerinti ismeretekkel. Az MSZ EN ISO 12944:2018 szabványsorozat ezt az ismeretet előírás-sorozatok formájában szándékozik megadni.

A szabványsorozat fejezetei:
1. rész: Általános bevezetés
2. rész: A környezetek osztályba sorolása
3. rész: Tervezési szempontok
4. rész: Felület- és felület-előkészítési típusok
5. rész: Festékbevonat-rendszerek
6. rész: Laboratóriumi teljesítményvizsgálati módszerek
7. rész: A festési munka végrehajtása és ellenőrzése
8. rész: Előírások kidolgozása új munkához és karbantartáshoz
9. rész: Part menti és kapcsolódó szerkezetek festékbevonat-rendszerei és laboratóriumi teljesítményvizsgálati módszerei

Ezt a szabványt a Magyar Szabványügyi Testület a nemzeti szabványosításról szóló 1995.XXVIII. Törvény alapján tette közzé. A törvény 6. § (1) szerint: A nemzeti szabvány alkalmazása önkéntes.

Korrózióvédelem bevonatokkal történő tervezésekor tisztában kell lenni azzal a ténnyel, hogy a szabvány közmegegyezéssel elfogadott műszaki dokumentum, amelynek révén általánosan elismert megoldás érhető el. Ha a szabvány alkalmazását dokumentumban hivatkozva önként vállalja, akkor a hivatkozás vonatkozásában a szabvány alkalmazása kötelező.

Az MSZ EN ISO 12944 szabványsorozat acélszerkezetek (min. 3 mm vastag) festékbevonat-rendszerekkel való korrózióvédelmével foglalkozik. Egyéb védelmi feladatokkal, mint:

- mikroorganizmusok (algásodás, baktériumok, gombák stb.),
- vegyi anyagok (savak, lúgok, szerves oldószerek, gázok stb.),
- mechanikai behatás (koptatás stb.),
- tűz elleni védelemmel nem foglalkozik.

Olyan bevonatrendszerekre vonatkozik, amelyek környezeti hőmérsékleten keményednek ki. A szabvány sorozat nem foglalkozik: porfestékekkel, zománcokkal, hőre keményedő festékekkel, tartály belső felületek védelmével. Új festési munkákra és karbantartásra is vonatkozik a szabvány.

A szabvány a bevonat tartósságát négy különböző időtartamban fejezi ki:

név	jel	év
rövid	L	legfeljebb 7
közepes	M	7-15
hosszú	H	15-25
nagyon hosszú	VH	több, mint 25

Tartósság: egy festékbevonat-rendszer várt élettartama az első nagyobb karbantartási festésig. A tartósság nem „garancia idő”. A tartósság egy műszaki fogalom, amely segít a megrendelőnek a karbantartási terv elkészítésében. A garancia idő jogi fogalom, amelyet a szerződésben határoznak meg. A garancia idő rendszerint rövidebb, mint a tartósság. Nincsenek szabályok, amelyek a két időtartamot összefüggésbe hoznák.

A légkör, a víz és a talaj által okozott korróziós igénybevételek szerint tartalmazza a szabvány a környezetek korróziós szempontból történő osztályozását. A légköri korrózió olyan folyamat, amely a fémfelületen lévő nedvességfilmben megy végbe. A nedvességfilm olyan vékony lehet, hogy szabad szemmel nem látható.

- Vízbe merülő szerkezetek (édesvíz, kevert vagy sós) osztályozásának alapja:
  - víz alatti zóna
  - változó szintű zóna
  - fröccsenéses zóna
- Földbe helyezett szerkezetek besorolásának alapja a talaj összetétele alapján:
  - talaj ásványtartalma
  - szerves anyagok
  - víztartalom
  - oxigéntartalom

Légköri korrozivitási kategóriák:

- C1 nagyon kicsi
- C2 kicsi
- C3 közepes
- C4 nagy
- C5 nagyon nagy
- CX extrém

A CX különböző szélsőséges környezeteket ölel fel. Egy különleges szélsőséges környezet az MSZ EN ISO 12944-9:2018 szabvány által lefedett offshore környezet. Más szélsőséges környezetekkel nem foglalkozik a szabvány.

Légköri korrozivítású kategóriák

Kategória	Felületre vonatkoztatott tömeg/vastagság csökkenés (a kitétel első éve)				Példák a jellegzetes környezetre (csak információ)	
	ötvözetlen acél		horgany			
	tömeg csökkenés g/m^2	vastagság csökkenés µm	tömeg csökkenés g/m^2	vastagság csökkenés µm	kültéri	beltéri
C1 nagyon kicsi	≤10	≤1,3	≤0,7	≤0,1		Fűtött épületek, pl. irodák, üzletek, iskolák, szállodák.
C2 kicsi	10-200	1,3-25	0,7-5	0,1-0,7	Kevéssé szennyezett, száraz klíma. Vidéki területek.	Fűtetlen épületek, ahol kondenzáció léphet fel, pl. raktárak, sportcsarnokok.
C3 közepes	200-400	25-50	5-15	0,7-2,1	Városi- és ipari atmoszféra mérsékelt kén-dioxid szennyezettséggel. Parti területek kis sóterheléssel.	Gyártó helyiségek nagy nedvességtartalmú és kevéssé szennyezett levegővel, pl. élelmiszergyártó berendezések, söripari és tejüzemek.
C4 nagy	400-650	50-80	15-30	2,1-2,2	Ipari és partmenti területek közepes sóterheléssel.	Vegyi üzemek, uszodák, hajógyárak.
C5 nagyon nagy	650-1500	80-200	30-60	4,2-8,4	Ipari területek, nagy nedvességtartalmú agresszív atmoszférával.	Épületek folyamatos kondenzációs és erősen szennyezett környezettel.
CX extrém	1500-5500	200-700	60-180	8,4-25	Offshore területek nagy sóterheléssel, extrém páratartalommal, trópusi és szubtrópusi környezetben.	Ipari területek extrém páratartalommal és agresszív környezettel.

Vízbe merülő és talajban lévő szerkezetek korróziós környezeti kategóriái

kategória	környezet	példák környezetre és szerkezetre
Im1	friss víz	vízi létesítmények, vízerőművek
Im2	tenger vagy sós víz	vízbe merülő szerkezetek katódos védelem nélkül
Im3	talaj	föld alatti tartályok, acél cölöpök, acélcsövek
Im4	tenger vagy sós víz	katódos védelemmel ellátott merülő szerkezetek (pl. offshore)

A szabványsorozat 3. fejezete rögzíti, hogy az egész szerkezetet úgy kell tervezni, hogy a várható korróziós gócpontok száma csökkenjen, megkönnyítse a felületelőkészítést, a festést, az ellenőrzést és a karbantartást.

A korrózióvédelmi rendszert ideálisan a szerkezet működési módjának, élettartamának és karbantartási követelményeinek megállapításakor választják ki.

A szerkezet alakja befolyásolhatja a korrózióra való hajlamát. A szerkezetet úgy kell megtervezni, hogy korróziós gócok ne tudjanak kialakulni. Ezért erősen ajánlott, hogy a tervező már a tervezési folyamat kezdeti szakaszában korrózióvédelmi szakértővel konzultáljon.

Duplex rendszerek kialakításánál a horganyzott felületeket a festés előkészítéséhez enyhe homokszórással (sweep-szórás) tisztítani, enyhén érdesíteni kell.

Megfelelő óvintézkedésekre van szükség, hogy megakadályozzák a védőfesték rendszer károsodását szállítás, emelés és helyszíni műveletek közben (pl. hegesztés, vágás és köszörülés). Fokozott figyelemmel kell lenni a festék rétegek hőmérséklettől függő megfelelő száradásának, kikeményedésének biztosítására (adatlapoknak megfelelően).

Az előregyártott szerkezetek csatlakozási pontjainak ideiglenes és állandó korrózióvédelmét figyelembe kell venni a tervezés szakaszában.

Kültéri acélszerkezetek festésénél fennáll annak a veszélye, hogy nagyobb légköri páratartalom és csökkenő hőmérséklet esetén a festendő felületen harmat csapódik le. A kondenzáció valószínűségét a levegő relatív nedvességtartalma és az acélfelület hőmérséklete alapján becsülhetjük meg, de egyszerűen alkalmazandó szabály nincs. A körülmények összetettek, mert a nedvesség lecsapódását és elpárolgását befolyásoló tényező sok van, mint például

- a szerkezet hővezetése;
- a napsugárzás a felületre;
- a környezeti levegő áramlása a szerkezet körül;
- higroszkópos anyagokkal való szennyeződés a felületen.

Festék felhordásakor, ha nincs más megállapodás, az acél felületi hőmérséklete legalább 3°C-kal nagyobb legyen a harmatpontnál. A festékgyártó előírhat más hőmérséklet-különbségeket, vagy az érdekelt felek megegyezhetnek ebben.

Hidegebb időben is alkalmazható bevonat típusokat a következő táblázatban közöljük:

kötőanyag típusa	hőmérséklet [°C]	relatív páratartalom [%]
alkidgyanta	> + 5	< 80
epoxi	> + 10	< 80
poliuretán	> 0	< 80
epoxi (téli minőség)	> ± 0	< 80

Ha az acélszerkezet tervezésekor a bevonatrendszert is meg kell jelölni, útmutatásként alkalmazható a szabvány 5. fejezében közölt bevonatrendszerek. Nagy acélszerkezetek tervezésekor gyakran külön korrózióvédelmi terv készítését írják elő, amelyet korrózióvédelemben jártas, a területre jogosultsággal rendelkező szakember készíthet.

A konkrét előírt névleges száraz bevonatvastagság követelményértékeit (az érdességi kompenzáció értékének figyelembevételével) és a megengedett minimum-, valamint maximumértékeket, az adott munkához készített MMT-ben kell rögzíteni a környezeti korróziós kategória, és az elvárt élettartam figyelem-bevételével.

A szabvány tartalmazza, hogy a táblázatokban szereplő bevonatrendszerek tájékoztató jellegűek. Azokat a rendszereket tartalmazza, amelyek a gyakorlatban már bizonyítottak, de a lista nem teljes és más hasonló rendszerek is alkalmazhatóak. A szabványban megadott bevonatrendszerek kizárólag szemcseszórással felület-előkészített felületekre vonatkoznak. Az új technológiák fejlődése folyamatos, és alkalmazhatóak, ha az MSZ EN ISO 12944-6:2018 szabvány (laboratóriumi vizsgálatok) szerinti követelményeknek megfelel.

A szabvány 6. fejezete laboratóriumi vizsgálatokat ír elő egy bevonatrendszer megfelelőségének érékelésére különböző légköri kategóriákhoz. Új festék-bevonatrendszerek C4 és C5 korróziós kategória esetén csak akkor alkalmazandók, ha többek között megfelelnek az alábbi táblázat szerinti vizsgálatoknak.

Korrozivitási kategória	Elvárt élettartam	Vizsgálati módszer 1		Vizsgálati módszer 2
		MSZ EN ISO 6270-1 vízkondenzáció, h	MSZ EN ISO 9227 semleges sósköd, h	ciklikus öregítés*, h
C4	M	240 (10 nap)	480 (20 nap)	-
	H	480 (20 nap)	720 (30 nap)	-
	VH	720 (20 nap)	1440 (60 nap)	1680 (70 nap)
C5	M	480 (20 nap)	720 (30 nap)	-
	H	720 (30 nap)	1440 (60 nap)	1680 (70 nap)
	VH	-	-	2688 (112 nap)

*Ciklikus öregítési vizsgálat

1 ciklus (168 óra) 3 vizsgálatból tevődik össze:

- 72 óra UV sugárzás kondenzációval az MSZ EN ISO 16474-3 szerinti A módszer (4 h UVA-340 lámpával megvilágítás (60±3) °C, 4 h kondenzáció (50±3) °C.
- 72 óra semleges sósköd (NSS) az MSZ EN ISO 9227 szerint
- 24 óra hűtés -20°C-on

A laboratóriumi gyorsított vizsgálatok előtt a bevonat értékelése a következő szabványok szerint történik:

MSZ EN ISO 2409 Rácsvágás (csak 250 µm vastagságig), előírt fokozat: 0-2; MSZ EN ISO 4624 Merőleges irányú leszakítás, előírt érték: 2,5 MPa (alapfémtől nem szakadhat), 5 MPa (szakadástól függetlenül).

A laboratóriumi gyorsított vizsgálatok után a bevonaton létrejött változások értékelése a következő szabványok szerint történik:

szabvány	paraméter	előírt
MSZ EN ISO 4628-2	hólyagosodás	0 S(0)
MSZ EN ISO 4628-3	rozsdásodás	Ri 0
MSZ EN ISO 4628-4	repedezettség	0 S(0)
MSZ EN ISO 4628-5	leválás	0 S(0)
MSZ EN ISO 4628-8	karcolás	1,5 mm
MSZ EN ISO 2409	Rácsvágás (csak 250 µm vastagságig)	Fokozat: 0-2
MSZ EN ISO 4624	Merőleges irányú leszakítás	2,5 MPa (alapfémtől nem szakadhat) 5 MPa (szakadástól függetlenül)

A bevonatrendszerek védő és díszítő tulajdonságainak változásáról, várható élettartamáról laboratóriumi gyorsított vizsgálati módszerek segítségével tájékoztatást kaphatunk, de korrelációt megállapítani nem lehet a bevonat élettartamára vonatkozóan.

Az MSZ EN ISO 12944 szabvány 7. fejezete az acélszerkezeteken a műhelyben vagy a helyszínen végzett festési munkák kivitelezésével és ellenőrzésével foglalkozik. Tervezésnél a szabványban javasoltakat figyelembe kell venni.

A kivitelezési munkát minden szakaszában ellenőrizni kell. Az ellenőrzés mélysége a létesítmény típusától és fontosságától, a munka és a helyi viszonyok nehézségi fokától, valamint a bevonat típusától és tervezett élettartamától függ.

A bevonatot ellenőrizni kell az előírás szerinti megfelelőség szempontjából, például:
- szemrevételezéssel (egyenletességet, színt, fedőképességet és hibákat, úgymint a kimaradt részeket, megfolyásokat, ráncosodást, kráterképződést, levegőbuborékokat, lepattogzást, repedezést)
- műszerekkel a száraz réteg következő jellemzőit: szárazréteg-vastagságot (MSZ EN ISO 2808 szerint) általában roncsolásmentes módszerrel, tapadás roncsolásos módszerekkel (MSZ EN ISO 2409 vagy MSZ EN ISO 4624, ill. helyszíni munkáknál az MSZ EN ISO 16276-1), porozitás kis- vagy nagyfeszültségű átütési szilárdságvizsgálattal.

Az MSZ EN ISO 12944 szabványsorozatnak 8. fejezete segítséget nyújt korrózióvédelmi előírás kidolgozásához. A mellékletben számos előírás és jegyzőkönyv űrlap javaslat szerepel, valamint új munka és karbantartási munka tervezéséhez folyamatábra is található.

A bevonathibák
A festék- és bevonathibák okainak és kiküszöbölési módjainak meghatározása rendkívül bonyolult feladatot jelent. Ez azért van, mert egy adott hibajelenség legtöbbször többféle okra vezethető vissza, ugyanakkor gyakran több hibajelenség egyszerre jelentkezik. A hibajelenség okainak felderítésére az összes hibaforrást együttesen kell tekintetbe venni. Vizsgálni kell a festék minőségét, összetételét, a felület előkészítését, a festék felhasználási módját, a festékrendszer felépítési módját, a festék adott igénybevételi módjával összefüggő hibalehetőséget. A festési hibajelenségek magyarázata és kiküszöbölése minden esetben egyedi megfontolást igénylő szakmai feladat. A tájékozódást megkönnyíti a legfontosabb festési hibatípusok ismerete.

4.7. Tűzgátló festékek

Tűzgátló festékek: habrétegképző anyagot tartalmaznak (karbamid, formaldehid, foszforsavas ammónium vegyületek, szénhidrátok, mint vázképző anyagok, egyéb a habréteget stabilizáló szerek), és a teherhordó acélszerkezetek járulékos tűzvédelmét szolgálják. A tűz hatására 200-300°C között megindul a habosodási folyamat. Ezáltal az acélszerkezet felületén hőszigetelőréteg képződik, amely sűrű, zártpórusú rendszerből áll. Megkezdődik a habréteg részbeni elszenesedése, ami biztosítja a stabil védő szigetelőréteget eredményező szén alapú váz kialakulását. A további hőmérséklet-emelkedéssel (hosszabb égési idővel) a hab külső rétegeiben megkezdődik a teljes kiégés és utána a hab elveszti stabil szerkezetét. További hőmérsékletemelkedéssel a védőhatás fokozatosan romlik, majd gyorsan csökken a hatékonyság.

A tűzgátló festékekre vonatkozik a 275/2013. (VII. 16.) Korm. rendelet, továbbá figyelembe kell venni a TvMI 11.2:2020.01.22. tűzvédelmi műszaki irányelveket.

A tűzgátló bevonatok nem biztosítják az acélszerkezetek korrózió elleni védelmét. Acélszerkezetekre tervezett tűzgátló festék alá szükséges a tűzgátló festékkel összeférhető, megfelelő korrózió elleni védelmet biztosító alapozó festék alkalmazása. Kültéri használatra tervezett, tűzgátló festékkel ellátott acélszerkezetek esetén egy napsugárzásnak ellenálló (UV-álló), a tűzgátló bevonattal összeférhető és a habosodását nem gátló átvonó festék-réteget is tervezni kell.

A tűzvédelmi termékekre vonatkozó európai előírás (ETAG 018) különböző környezeti feltételekre vonatkozó felhasználási kategóriákat határoz meg:

kategória típus	körülmények
X	bármilyen (belső, külső)
Y	belső és félig külső (nincs esőnek és erős UV hatásnak kitettség)
Z1	belső, 0ºC felett
Z2 belső	max. 85% páratartalom és 0ºC felett

Javasolt az acélszerkezetek tervezésénél megadni a környezeti kategóriát, a festés előtti felület tisztasági fokozatot, az alapozó réteg vastagságát, tűzgátló festék vastagságát (Egy adott tűzgátló festék szükséges száraz bevonat vastagságát a megkívánt tűzállósági teljesítményen felül befolyásolja a védendő szerkezet profiltényezője (szelvénytényezője), valamint kritikus hőmérséklete, ill. a tűzhatásnak kitett oldalak száma), és ha szükséges, az átvonó réteg vastagságát (az elvárt vastagság tűrésekkel együtt). A tűzgátló festékek tapadására nincsenek egyértelmű előírások. Gyakorlati tapasztalatok alapján javasolt a tűzgátló bevonatok esetén minimum 2,0 MPa értéket előírni azzal a feltétellel, hogy alapfémtől és rétegek között nem történhet szakadás.

4.8. Acélszerkezetek korrózió elleni védelmének tervezése

Acélszerkezetek tervezésekor célszerű a korrózió elleni védelemre is előírásokat rögzíteni. Az acélszerkezetet érő környezeti hatásoktól, tervezett élettartamától, a korrózió elleni védelem módjától függően kell a paramétereket előírni.
Acélszerkezetek bevonattal történő korrózió elleni védelem esetén az acélszerkezeti terv műszaki előírásában a következők rögzítése javasolt:

- acélszerkezet funkciójának megadása
- szerkezet típusának leírása
- korróziós kategória (igénybevétel) meghatározása a szerkezet környezetének mikroklímájának és egyéb vegyi és mechanikai igénybevétel figyelembevételével
- korrózió elleni védelem elvárt élettartamának megadása
- korrózióvédelmi szempontokból legfontosabb geometriai paramétereinek megadása: élek lekerekítése, varratok előkészítési fokozatának megadása, technológiai nyílások méreteinek megadása
- az elvárt esztétikai igény megadása (szín, optikai jelölés, fényesség, fémes megjelenés stb.)
- a termékekre meg kell határozni, milyen követelményeknek kell megfelelniük (pl. súrlódó kapcsolat, UV állóság, csúszásmentesség, helyszíni alapozás. optikai igény stb.)
- a korrózióvédelmi munkákra Technológiai utasítás TU és Mintavételi és Minőségigazolási Terv (MMT) készítés szükségességének előírása.

Acélszerkezetek tervezésénél szükséges lehet más előírások ismerete is.
Példaként felsorolunk néhányat (az előírások érvényességét alkalmazás előtt ellenőrizni kell):

- MÁV: 3/2021. (I. 22. MÁV ÉRT. 1.) EVIG SZ. H.2.2. UTASÍTÁS, A VASÚTI MŰTÁRGYAK ACÉLSZERKEZETEINEK KORRÓZIÓVÉDELME
- KÖZÚT ÚME: e-UT 07.04.11 - Acélszerkezetek korrózióvédelme
- MOL, FGSZ előírások

A későbbi viták elkerülése érdekében az acélszerkezetek bevonatokkal történő korrózió elleni védelme kivitelezésére vonatkozó szerződéshez minden esetben javasolt műszaki mellékletben rögzíteni a következő paramétereket:

- korróziós kategória (igénybevétel)
- korrózió elleni védelem elvárt élettartamának megadása
- felülettisztítás módja
- elvárt felülettisztaság
- felhordandó festékek megnevezése
- felhordandó festékek rétegrendje, rétegenkénti vastagsága, a megengedett tűrésekkel együtt

- a bevonat egyéb paraméterei (pl. tapadás, átütési szilárdság stb.) a minőségigazolás dokumentálására vonatkozó előírás

4.9. Beton, vasbeton

A beton és vasbeton szerkezetek összetettségének, károsodási formáinak ismerete, védelmének tervezése nagyon szerteágazó, többféle szakmai ismeretet igényel. A rövid felkészítő anyag nem alkalmas az ismeretek széles körű összefoglalására, csak vázolni próbáljuk a teljesség igénye nélkül a beton védelmének tervezéséhez szükségeseket.

A beton mesterséges építőanyag, amely kötőanyagból (cement), vízből és természetes vagy mesterséges adalékanyagokból, adalékszerekből és egyéb kiegészítő anyagokból készül. A beton alapvető tulajdonsága, hogy az összekevert alkotóanyagokból készült friss beton rövid ideig szabadon formázható, alakítható, majd a fizikai és kémiai folyamatoknak köszönhetően megköt és szilárdul és létre jön a megszilárdult beton.

A cement hidratációja

A hidratációs folyamat időben öt fő szakaszra bontható:

1. Keveredési reakciók
2. Nyugalmi állapot
3. Megkötés
4. Hűlés
5. Sűrűsödés

Hidratációs reakciók:

$3CaO.SiO_2 + nH_2O \longrightarrow CaO.SiO_2.(n-1)H_2O + Ca(OH)_2$

trikalcium-szilikát: gyorsan szilárduló, jó hidraulikus, tulajdonságú. A beton kezdő szilárdságát adja.

$2CaO.SiO_2 + mH_2O \longrightarrow CaO.\ SiO_2.pH_2O + Ca(OH)_2$

dikalcium-szilikát: fontos szerepe van az utószilárdulásban.

$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3\ .6H_2O$

trikalcium-aluminát: jelentős hőfejlődéssel, gyorsan kötő ásványi alkotó.

$4CaO.\ Al_2O_3.Fe_2O_3 + 2H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.12H_2O + CaO.\ Fe_2O_3$

tetrakalcium-aluminát-ferrit: a beton időállóságát növeli.

A friss cementkő heterogén rendszer, amely még nem hidratálódott cementszemcsékből, gélszerű anyagból és már jól kialakult kristályokból áll. A friss beton tehát bonyolult rendszer, amelyben állandó változás megy végbe. Ez a cement-víz rendszer a szilárduláskor térfogatában csökken, zsugorodik. A felesleges, fel nem vett víz elpárolgása következtében a betonban pórus- és kapilláris rendszer alakul ki, amely a cement tömörségének csökkenését s ennek folytán a beton vízzáró képességének csökkenését is okozza.

Betont csak nyomásra lehet igénybe venni. Acélbetétet helyezve bele nyomásra és húzásra is ellenáll. A vasbeton stabilitását nagyrészt annak köszönheti, hogy a cement szilárdulása során keletkező $Ca(OH)_2$ (mész) 12 – 14 pH-jú, lúgos környezetet hoz létre. Az acélbetétek általában szénacél szerkezeti anyagok, amelyek különböző káros hatásra a betonban is korrodálhatnak. Az acélbetét korróziója a beton károsodását vonja maga után.

A beton és vasbeton mechanikai, kémiai, fizikai és biológiai okok miatt károsodhat.

4.10. Fizikai korrózió

Legfontosabb mechanikai hatás az acélbetétek korróziója, ugyanis az acélon kialakuló rozsda két-háromszor akkora térfogatú, mint az acélbetét. Ez a térfogatnövekedés repedést eredményez a betonban. A repedések a betonfelülethez közelebb lévő acélbetétek vonalában jelentkeznek. Ismert az is, hogy a vasbeton húzott oldalán az acélbetétek csak akkor dolgoznak, ha a terhelés hatására a beton bereped, viszont ez addig nem tekintendő károsodásnak, amíg azok a vasbeton tervszerű használatából adódnak, és egy előírt mértéket nem lépnek túl. Mechanikai sérülés koptató és ütőhatásra is bekövetkezik. Ilyen lehet a hordalék és forgalom koptató hatása autóutakon, repülőtéri kifutópályákon.

Fizikai hatások közé soroljuk a térfogat növekedést okozó kristályosodást, és a fizikai hatások által keletkezett repedéseket, fagy és a sózás együttes hatását, nem jól tapadó rétegbevonatok meghibásodását.

Beton romlása fagy hatására

Fagy okozta károsodás csak akkor jöhet létre, ha a kapilláris pórusokat részben vagy egészben víz tölti ki. Kapilláris vízfelszíváshoz a betonnak közvetlenül érintkeznie kell a vízzel, kapilláris pórusokban a vízszintemelkedés a pórus átmérőjének függvénye. Minél kiesebb a kapilláris sugár, annál vízzáróbb a beton. Ha kapilláris sugár $r \geq 2$ mm, akkor a víz csak nyomás alatt jut be a kapillárisokba. Kapilláris nedvességfelszívás során a beton a légkör nedvességéből vesz fel vizet, illetve oda adja le az egyensúlyi állapot kialakulásáig. A víz jéggé alakulása 9 térfogatszázalék tágulással jár. Megfagyáskor a kiterjedni nem tudó jég, nyomást fejt ki a betonra. A beton fagy és sózás állóvá tehető a betonban létrehozott gömb alakú légpórusok által, helyet biztosítva a fagy miatt kitáguló jégnek. Viszont a felesleges légpórustartalom kerülendő, ugyanis 1 térfogatszázalék légtartalom kb. 5% nyomószilárdság csökkenést eredményez.

Jégolvasztó sók hatása a beton tartósságára

A jégolvasztó sók csökkentik a víz fagyáspontját, valamint megnövelik a beton higroszkóposságát, ami azt jelenti, hogy késleltetik a vízleadást, tehát megnő a fagyni képes vízmennyiség. Ez eredményezheti a beton réteges megfagyását. A legfelső porózus rétegből az eső kimossa a megelőző sózásból adódó sót, ennek a rétegnek a fagyáspontja kb. 0 °C. Alatta sóban dús alacsonyabb fagyáspontú réteg következik, majd ezt egy újabb magasabb víz- és sótartalmú réteg követi nagyobb fagyásponttal. A hőmérséklet csökkenésekor az első és harmadik réteg gyorsan megfagy, a második réteg csak további hűlés után fagy meg, így az tágulás hatására lerepesztheti a felső réteget. Jég olvasztásához hő szükséges, azt a hőt a jég a környezetétől veszi el, így a kiszórt só a betonfelület közelében hirtelen hőmérséklet csökkenést okoz. Ezt hőlökésnek nevezzük, ami feszültséget okoz a beton felületén.

Hőtágulási együttható

A beton hőtágulási együtthatója az alkotók hőtágulási együtthatójától függ, ezek jelentős különbséget mutatnak, ami belső feszültséget eredményez.

Külön hatásként említhető meg, hogy a bedolgozásból adódóan a beton felületén cementdús habarcsréteg keletkezik, aminek nagyobb a hőtágulási együtthatója, mint a betoné.

Tűz hatása

Nagyobb hőhatásra (pl. balesetek, vagy tűzesetek alkalmával) a beton károsodik (pl. a nagy hőingadozás miatt megrepedezik és szilárdságcsökkenés következik be).

Ha egy betonszerkezet közelében gyakran tüzelnek, akkor a levegőben gyakori a magas széndioxid-koncentráció, így a karbonátosodás veszélye, illetve sebessége is nagyobb.

4.11. Kémiai korrózió

Beton stabilitását annak köszönhetjük, hogy a szilárdulása során keletkező mész $Ca(OH)_2$ lúgos környezetet hoz létre. Korrózió azáltal is végbemehet, hogy az egyes tényezők hatására a beton lúgossága megszűnik. Másik fontos ok olyan agresszív anyagok hatása, melyek a beton alkotóival úgy képeznek vegyületet, hogy térfogatnövekedést okozva mállasztják a betont pl.: Na_2SO_4 (talajvízből), ipari vízből a szulfátok, cementben lévő alkálik, és a légszennyezők. Levegő CO_2 tartalma elősegíti a beton felületén a kalcium-karbonát kialakulást, csökkentve annak lúgosságát, ami a betonacél korrózióját eredményezi. Ez a karbonátosodás.

Reverzibilis korrózióról akkor beszélhetünk, ha az agresszív közeg eltávolítása után a beton viszszanyeri eredeti tulajdonságai (olajszennyezés eltávolítása).

Légköri szennyezések hatása

Az ipari fejlődés és a megnövekedett közúti forgalom olyan mértékű légköri szennyezést okozhat, ami a beton korróziójához vezet. A kén-dioxid vegyületek szulfátvegyület formájában beépülnek a beton felső rétegébe, ez segíti a betonban a gipszképződést, ami térfogat-növekedéssel jár. A levegőben lévő nitrogén-oxidok és a belőlük keletkező salétromsav a betonba jutva csökkentik annak pH-ját.

A vasbeton korróziós károsodását a beton és az acél korróziósebességét befolyásoló tényezők határozzák meg. A beton adalékokból (kavics, homok stb.) és kötőanyagból (cement) álló heterogén és kemény anyag, amelynek minőségét és fizikai, valamint kémiai tulajdonságait elsősorban a felhasznált cement vegyi összetétele határozza meg. A cementek vegyi összetétele széles határok között változhat, de minden cement legalább CaO-, SiO_2-, Al_2O_3- és Fe_2O_3-vegyületet tartalmaz. Minden forgalmazott cement legalább 40%-a CaO (általában több mint 50%) – ami nagymértékben meghatározza a beton korróziós viselkedését.

A betonok korrózióját meghatározó főbb tényezők

A víz: főleg a lágy talajvizek és az agresszív anyagokat tartalmazó szennyvizek általában kimossák a beton kötőanyagát, a CaO-ot, amely ennek következtében $Ca(OH)_2$-ként kijut a beton felületére, ahol a levegő CO_2-jával reakcióba lépve $CaCO_3$-ként rakódik le.

A felületvédelem nélküli beton szabad mésztartalmát már a „tiszta” levegő 0,3% széndioxid-tartalma is megtámadja, és a pórusokba hatolva semleges kémhatású kalcium-karbonáttá alakítja:

$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

Ez a karbonátosodási folyamat nedves környezetet igényel, vagyis a széndioxid vízben oldva, szénsav formájában támad:

$Ca(OH)_2 + H_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2\ H_2O$

A szerves és szervetlen savak: vizes közegekben elsősorban a CaO-ra hatnak azt kioldva a betonból. De hathatnak az adalékokra is a betont pórusossá téve, ami gyorsítja a víz rongáló hatását.

A légkört szennyező, agresszív kén- és nitrogéntartalmú oxidok vizes oldatai, a kénsav és a salétromsav: semlegesítik a szabad meszet
$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2\ H_2O$
$Ca(OH)_2 + 2\ HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2\ H_2O$
és valamennyi szerves sav, a talaj huminsavai, a növényi gyökérsavak, a szervesanyag bomlást segítő nitrifikáló és tiobaktériumok által termelt savak, mind a szabad mész semlegesítését végzik.

A szervetlen sók (főleg a vízben oldódó szulfátok és kloridok): reakcióba lépnek a cementtel (cserebomlási reakcióban a cementből vízben jól oldódó sók, főleg $FeSO_4$, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_2$ stb. képződnek).

A beton lúgos kémhatásának csökkenése bekövetkezhet cserebomlási korrózió révén is, amikor a szabad mész reakcióképes, semleges sókkal lép reakcióba, például magnézium-kloriddal:
$Ca(OH)_2 + MgCl_2 \rightarrow CaCl_2 + Mg(OH)_2$
vagy ammónium-nitráttal:
$Ca(OH)_2 + 2\ NH_4NO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2\ NH_3 + H_2O$
melyek során duzzadó, roncsoló hatású vegyületek is képződnek.

A penészgombatelepek (főleg a metabolizmusuk által termelt agresszív savas anyagokkal) rongálják a betont, de hatásukhoz nagymértékben hozzájárul az is, hogy gombafonalaik (hifáik) a beton szerkezetébe hatolva megkötik a vizet (tehát a beton nedvességét) és ezáltal számottevően növelik elektromos vezetését.

A szabad mész esetében jellegzetes folyamat a kioldódási korrózió: amikor a vízoldható kalcium-hidroxid előre gyártott elemek kiszáradásakor, szivárgó csapadékvíz, vagy víztárolók belső, hidrosztatikus víznyomása alatt kimosódik a szerkezet felületére, és ott karbonát formában szilárdul meg.

Támadás a klinkerásványok ellen
A beton tulajdonképpeni kötőanyaga, a cementkő is hajlamos korrózióra. A megszilárdult aluminát- és szilikáthidrátok kémiai korróziójának legismertebb változata a szulfátkorrózió, amelyben szulfátionok környezetében az alumináthidrátokból ettringit (az ún. cementbacillus) lesz:
$Ca_3AlH_6 + 3\ (CaSO_4 \bullet 2\ H_2O) \rightarrow 3\ Ca_3Al \bullet CaSO_4 \bullet 32\ H_2O$
A szilikáthidrátokból taumazit képződik:
$Ca_3S_2H_3 + 3\ (CaSO_4 \bullet 2\ H_2O) + 2\ CaCO_3 \rightarrow 2\ (CaCO_3 \bullet CaO \bullet SiO_2 \bullet CaSO_4 \bullet 15\ H_2O)$
Mindkét reakciótermék erőteljesen duzzadó-roncsoló hatású ásvány.

Jelentős károsodást okoz az alumináthidrátokat oldó lúgkorrózió is, amelyben a hazai vörösiszap katasztrófa kapcsán is ismert, erősen lúgos, vízoldható nátriumaluminát képződik:
$Ca_3AlH_6 + 3\ Na_2O + 3\ H_2O \rightarrow 3\ Na_2AlO_3 + 3\ Ca(OH)_2 + 6\ H_2O$
Az alkáli-szilikát reakció inkább az olyan külföldi országokban gyakori, ahol folyami homokos kavics hiányában alkálifém tartalomra érzékeny, szilikát kőzetzúzalék adalékanyagot is használnak:
$Na_2O + SiO_2 + n\ H_2O \rightarrow Na_2SiO_3 \bullet (n–x)\ H_2O + x\ H_2O$

A képződő reakciótermék az ettringithez és taumazithoz hasonlóan duzzadó-roncsoló hatású. Az erős ásványi savak nemcsak a szabad meszet, hanem a cementkövet is oldják.

A betonvas korrózióját meghatározó főbb tényezők

Az aránylag nagy CaO-tartalomnak köszönhetően a beton eleve lúgos közeg, amiben a karbonacélok termodinamikailag viszonylag stabilak. Tehát jó minőségű, kis porozitású, nem károsodott betonban az acélok nincsenek korróziós veszélynek kitéve. A gyakorlati tapasztalatok azonban azt mutatják, hogy miután a betonban elindul a károsodási folyamat, az agresszív anyagok eljutnak az acél felületig, és ezen megindulnak a korróziós folyamatok.

A károsodott nedves beton elektrolitként viselkedik, ezért a betonba ágyazott acélok korróziósebességét több tényező együttes hatása határozza meg: a beton porozitása, agresszív ionok (Cl^-, SO_4^{2-}stb.), valamint a penészgombák jelenléte, a levegő CO_2-tartalma, egyen- és váltakozó áramú kóboráram stb. Mivel az acélbetét korrózió termékének – a rozsdának – nagyobb a térfogata, mint a károsodott fémé, a rozsdásodott acélbetét és az azt körülvevő beton között mechanikai feszültség keletkezik. Ez a feszültség elérheti a 4000 N/m^2-t is, aminek hatására a beton pórusai kinyílnak, repedések keletkeznek, az agresszív anyagok könnyebben eljutnak az acélbetéthez és így a károsodási folyamat lényegesen felgyorsul.

A talajba ágyazott vasbeton károsodásának mechanizmusa

A talajban ágyazott aránylag nagyméretű vasbeton szerkezetek főleg a nagyvárosok infrastrukturális építményeire jellemzőek: metróalagutak, épületalapok – pincék, víz- és szennyvízgaléria stb. Mivel ezeknél a rendszereknél a korróziós károsodások általában szemmel nem látható helyeken keletkeznek, gyakran csak későn veszik észre, amikor már nem lehet vagy nem érdemes javításokat végezni. Ezekben az esetekben a károsodásoknak már komoly anyagi, szociális és nem utolsósorban környezetszennyezési következményei lehetnek.

A talajban ágyazott vasbeton szerkezetek általában ki vannak téve a talajvíz hidrosztatikus nyomásának, de minden esetben nedves környezetnek, ami nagymértékben meghatározza korróziós viszonyaikat. Ezeknél az építményeknél általában a penészgombatelepek kialakulását és fejlődését kedvezően befolyásoló valamennyi feltétel (nedvesség, aránylag állandó hőmérséklet, tápanyagok, ásványok stb.) teljesül. A talaj általában heterogén közeg és aránylag jó másodfajú vezető. Az intenzív ipari fejlődés következtében egyre nagyobb méretű a talaj szennyezése elektromágneses erőtérrel, ami az ezzel járó egyen- és váltakozó áramú kóboráram révén korróziósebességet növelő tényezővé vált.

A talajban ágyazott vasbeton korróziójának főbb lépései a következők:

a) A talajvíz behatol a beton pórusaiba és onnan kioldja kötőelemét, a CaO-ot (főleg a lágy, kis Ca-tartalmú vizek). A keletkezett $Ca(OH)_2$ a hidrosztatikus nyomás hatására áthalad a falon és ezen a levegő CO_2-tartalmával $CaCO_3$-ot képez.
b) Az *a)* folyamat révén a beton bázikussága csökken, ami az acélbetéten korróziós gócok képződéséhez vezet.
c) Az állandó nedvesség hatására a beton felületén penészgombatelepek fejlődnek ki, hifáik behatolva a beton szerkezetébe megkötik a vizet, metabolizmusuk hatására agresszív anyagok keletkeznek.
d) Az *a)*, *b)* és *c)* folyamatok valamint a pórusokon behatoló levegő (O_2, CO_2) felgyorsítja a vasbetét korróziósebességét (helyi korrózió).
e) A *d)* folyamatban keletkezett korrózió termékek belső feszültségekhez vezetnek, ezek kitágítják a pórusokat, repesztik a betont és így lényegesen felgyorsítják az *a)*, *b)* és *d)* folyamatokat, sőt esetenként a beton teljes leválásához vezetnek.

f) Az *a)*, *c)*, *d)* és *e)* folyamatok nagymértékben növelik a beton elektromos vezetésének fajlagos értékét. Ennek valamint a talaj elektromágneses erőterének hatására keletkezett kóboráram anódos az acélbetéteken, ami az acél károsodásához vezet.

A talajba ágyazott vasbeton korróziós károsodását befolyásoló főbb tényezők a nedvesség, a penészgombatelepek, valamint elsősorban az egyenáramú vontatásból, valamint a háromfázisú villamosenergia-rendszerből eredő váltakozó áramú kóboráramok. Ezek egymást kölcsönösen befolyásolva együttesen meghatározzák a károsodás mértékét, azaz a korrózió sebességét.

A vasbetonszerkezetekhez felhasznált beton, ezen belül elsősorban a cementkövet, korróziós folyamatok rombolják, az idő az idő előrehaladásával egyre erősödő degradációt idézve elő.

Vasbetonszerkezetek állapotvizsgálatakor tisztában kell lennünk az adott szerkezet minőségével, a rá ható környezeti feltételekkel, vizsgálati lehetőségeinkkel, illetve a hozzáférhető műszaki adattokkal. Ismernünk kell a jelenlegi és a szerkezet tervezésekor életben lévő szabályozásokat. Mindezek tudatában tudunk teljes értékű megállapításokat tenni egy-egy műtárgy állapotáról.

Diagnosztikai lehetőségek: Ahhoz, hogy a korrózió mértékét, illetve annak szerkezetkárosító hatását felmérhessük, a szerkezeteket diagnosztikai vizsgálatoknak vetjük alá. Legegyszerűbb és kézenfekvőbb eszköz a szemrevételezéses vizsgálat, leginkább a nagymértékű korrózió okozta látványos állapotromlásokat tudjuk megállapítani. Vasbeton, nem feszített szerkezeteket esetén a repedések 0,3 mm-es tágasságig megengedettek.

Pontos eredményeket kaphatunk például kémiai vizsgálatok során. Ebből meg tudjuk állapítani:
- a tervezett betonreceptúrától való eltérést
- a szennyezőanyagok mennyiségét, illetve milyenségét (akár a környezeti osztályba sorolás megfelelőségét is tudjuk ellenőrizni)

Régi vasbeton szerkezeteket felújítása során a kloridion-tartalom a cementtartalomra vetítve a vasbetonnál és utófeszített vasbetonnál 0,4 m%-ot, előfeszített vasbetonnál 0,2 m%-ot nem haladhatja meg. A kloridion-tartalmat ellenőrizni szükséges a felújítás korrekt megtervezése előtt.

- elektromos vezetőképesség helyszíni mérése
- pH érték megállapításával tudunk következtetni a karbonátosodás mértékére, illetve átszivárgó anyagok kilúgozási intenzitására

A karbonátosodást legkönnyebben megfelelő indikátor oldattal vizsgálhatjuk. Az egyik lehetőség, hogy a beton friss törésfelületét alkoholos fenolftalein oldattal ecseteljük. Az oldat hatására a beton törésfelületének nem-karbonátosodott, azaz lúgos kémhatású, mintegy 9 pH értéknél (nagyobb) bázikusabb része lila (kárminvörös) színűre változik. A beton felszínéhez közeli, színét nem változtató része karbonátosodott, és ebből a karbonátosodás mélysége megállapítható. Az alkoholos fenolftaleinnél megbízhatóbb módon lehet a karbonátosodási mélységet kimutatni alkoholban oldott timolftaleinnel. Lúgos oldatban, ha a pH 10 vagy annál nagyobb, a timolftalein kék. Ha a pH 10 alá csökken (azaz a beton karbonátosodott, elvesztette lúgosságát), akkor a timolftalein színtelenné válik.

Szilárdság megállapítására alkalmazhatunk roncsolásos (pl.: fúrt magminta) és roncsolásmentes (Schmidt – kalapács, ultrahang) vizsgálatokat. Roncsolásmentes szilárdságbecslésre a

visszapattanási érték meghatározása elvén (pl. Schmidt – kalapáccsal) működő vizsgálat alkalmas. E mérési módszer eredményeit befolyásolja a vizsgált szerkezet kora (karbonátosodás mértéke), így csak becslésre használhatók az eredmények.

Az MSZ 4798:2016 betonszabvány a fizikai és kémiai hatásokat összefoglaló névvel környezeti hatásoknak nevezi, a természetes talaj és talajvíz, valamint felszíni vagy felszínre jutó természetes vizek okozta kémiai korrózió hatásait az XA1, XA2 és XA3, a szennyvizek, valamint egyéb agresszív vizek, folyadékok, gázok, gőzök, permetek és erjedő anyagok okozta kémiai korrózió hatásait az XA4(H), XA5(H) és XA6(H) környezeti osztályba sorolja. A kémiailag agresszív hatóanyagok a beton duzzadásos vagy oldódásos korrózióját, esetleg egyidejűleg mind a kettőt okozhatják (MSZ 4798:2016).

Az e-ÚT 07.04.13 előírás a hidakon előforduló környezeti osztályokat az alábbiak szerint határozza meg:

Karbonátosodás:
- XC3 = esőtől védett, szabadban lévő beton
- XC4 = váltakozva száraz-nedves beton

Klorid hatása (nem tengeri só):
- XD1 = klorid a levegőből (járművek által felvert köd)
- XD3 = kloridpermet (felfröccsenés)

Fagyás hatása sóval vagy só nélkül:
- XF1 = függőleges beton só nélkül
- XF2 vagy XF2(H) = függőleges beton sós víz permettel
- XF3 vagy XF2(H) = vízszintes beton só nélkül
- XF4 vagy XF4(H) = vízszintes beton sós víz permettel

Víznyomás hatása:
- XV1(H) = kis víznyomás
- XV2(H) = közepes víznyomás
- XV2(H) = nagy víznyomás

Kémiai igénybevétel:
- XA1 vagy XA4(H) = enyhén agresszív kémiai környezet, csapadékvíz, illetve ennek gőze vagy permete

Betonok jelölése az MSZ 4798 szerint:
C25/30 - XC3 - XF4 - 16 - S2 - L- 100 év
C Concrete, normál beton (2100 ÷ 2500 kg/m^3)
25 25 N/mm^2 fck,cyl jellemző szilárdság (hengeren)
30 30 N/mm^2 fck,cube (15 cm-es kockán)
XC3 környezeti osztály, mérsékelten nedves környezetben
XF4 környezeti osztály, fagyhatásnak kitett fagyási/olvadási ciklusok hatása nagymérvű víztelítettség + jégolvasztó só
16 adalékanyag dmax (mm)
S2 konzisztencia, roskadás 50 ÷ 90 mm
L légbuborék képző adalékszer adagolása
100 év használati élettartam legalább 100 év

MSZ EN 1504 szabványsorozat vonatkozik a betonszerkezetek védelmére: Termékek és rendszerek a betonszerkezetekvédelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés

MSZ EN 1504-1: Fogalommeghatározások
MSZ EN 1504-2: A beton felületvédelmi rendszerei
MSZ EN 1504-3: Szerkezeti és nem szerkezeti javítás
MSZ EN 1504-4: Szerkezeti ragasztás
MSZ EN 1504-5: Betoninjektálás
MSZ EN 1504-6: A betonacél rudak lehorgonyzása
MSZ EN 1504-7: Betonacélok korrózióvédelme
MSZ EN 1504-8: Minőség-ellenőrzés, valamint a teljesítmény állandóságának értékelése és ellenőrzése (AVCP)
MSZ EN 1504-9: Termékek és rendszerek alkalmazásának általános elvei
MSZ EN 1504-10: A termékek és rendszerek alkalmazása a helyszínen, és a kivitel minőség-ellenőrzése

A beton, vasbeton szerkezeti elemek korrózió elleni védelmének tervezéséhez szükséges fogalmak közül néhányat említünk meg:

- Primer korrózióvédelem: a korróziós környezet hatásaival szembeni ellenálló képesség növelése a beton megfelelő összetétele (tartós beton) és a szerkezeti kialakítás megválasztásával, a szerkezet készítése során vagy elkészülte előtt.
- Szekunder (passzív) vagy utólagos korrózióvédelem: a korróziós környezet hatásaival szembeni ellenálló képesség növelése a meglévő (új vagy javítandó) betonfelület kezelésével, illetve felületvédelmével.
- Polimercement-habarcs vagy -beton (PCC): kötőanyaga polimerrel (műanyaggal) erősített cement, az ásványi adalékanyag legnagyobb szemnagysága habarcs esetén ≤4mm, beton esetén > 4 mm.
- Polimerhabarcs vagy -beton (PC): kötőanyaga polimer (műanyag), a tűziszárítású ásványi adalékanyag legnagyobb szemnagysága habarcs esetén ≤4mm, beton esetén > 4 mm.
- Részben vagy teljesen pórustelítő impregnálás: a beton felületközeli kapilláris pórusainak (részlegesen vagy teljesen póruskitöltő) átitatása (esetenként víztaszító (hidrofób) vagy inhibeáló (a korróziósebességet csökkentő) anyagokkal kombinálva), amely kikeményedése után a pórusokat részben vagy egészben kitölti, azonban nem képezhet zárt filmszerű réteget.
- Vastagbevonat: legtöbbször a 2,0 mm vastagságot meghaladó, az alkalmassá tett betonfelületre általában több réteg felhordásával kialakított bevonat. A bevonat anyaga lehet kis viszkozitású műgyanta-alapozás műgyanta rétegekkel vagy PC-habarccsal, illetve lehet vizes diszperziós kötőanyagú töltött, gyakran cement kötőanyagot tartalmazó bevonóanyag.
- Vékony védőbevonat: általában kb. 1,0 mm-ig terjedő vastagságú, egy (csak átfestés esetén) vagy több rétegnek a felhordásával kialakuló bevonat, amelyet az alkalmassá tett betonfelületre hordanak fel. A bevonat kötőanyaga általában polimer diszperzió vagy reaktív műgyanta.
- Víztaszító impregnálás (hidrofobizálás): bevonati filmet nem képező, a nyitott pórusokat csak kis részben kitöltő víztaszító hatású kezelés. A hidrofobizáló kezelés a pórusok belső felületét látja el víztaszító réteggel a beton és az azt érő folyadék közötti nedvesítési szög befolyásolásával.

A felületvédelmi rendszert betonon, vasbetonon csak a csak a gyártó által előírt feltételeknek megfelelő időjárási körülmények között szabad készíteni.

Korrózióvédelem Inhibitorokkal-I. rész

Az oktatási anyag Csabai Tibor

Korróziós szakértő

Korrózióvédelmi mesteriskola tananyagának felhasználásával készült

Tartalomjegyzék I. rész

- *Korróziós folyamatok (alapok)*
- *Inhibitorok hatásmechanizmus szerinti osztályozása*
  - *Anódos, katódos, filmképző*
- *Szervetlen és szerves inhibitorok*
- *Technológia közegek inhibitorai*
  - *Savas inhibitorok, semleges és lúgos közegek inhibitorai*
- *Környezetbarát inhibitorok (green)*

Ajánlott irodalom

- *Inhibitorok és alkalmazásuk*
  Dr. Bácskai Gyula,
  Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969
- *Fémek kémiai felületkezelése*
  Dr. Csokán Pál,
  Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.
- *Korróziós folyamatok elméleti alapjai*
  Dr. Rédey László, BME
  Tankönyvkiadó, Budapest 1965
- *A korróziós folyamatok elméleti alapjai I-II.*
  Dr. Bácskai Gyula, Dr. Horváth József, VE
  Tankönyvkiadó, Budapest 1967
- *Kémiai felületkezelés és inhibitorok*
  Dr. Bácskai Gyula, BME
  Tankönyvkiadó, Budapest 1969
- *A korrózió elmélete*
  Dr. Dévay József, BME
  Tankönyvkiadó, Budapest 1976
- *Korróziós inhibitorok*
  Dr. Dévay József, BME
  Tankönyvkiadó, Budapest 1976
- *Korróziós laboratóriumi praktikum*
  Juhászné Kiss Júlia, Dr. Lohonyai Nándor, BME
  Tankönyvkiadó, Budapest 1979

Ajánlott irodalom *folytatás*

- *Szerkezeti anyagok és korrózió elleni védelem a vegyiparban*
  Donndorf, R.
  Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982
- *A korrózió inhibitorai*
  Rozenfeld, I. L.
  Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
- *Corrosion Engineering*
  Fontana, M. G.
  Third Edition, McGraw-Hill Book Company,
  Singapore, 1987
- *Metals Handbook*
  Ninth Edition
  Vol. 13, Corrosion
  Korb, L. J.; Olson, D. L.
  ASM International
  Metals Park, Ohio, 1987
- *Corrosion Mechanisms*
  Mansfeld, F.
  Departnment of Materials Science
  University Southern California
  Los Angeles, California
  Edited by Marcel Dekker, Inc,
  New York, 1987
- *Corrosion and Protection*
  Bardal, E.
  Springer, Engineering Materials and Processes, London, 2003
- *Introduction to Oilfield Water Technology*
  Ostroff, A.G.
  NACE Publication, Huston, 1979
- *NACE Corrosion Engineer's Reference Book*
  Treseder, R.S.; Baboian, R.; Munger, C.G.
  NACE Publication, Huston, 1991

Ajánlott irodalom *folytatás*

- *Corrosion Basics An Introduction Collection.*
  NACE Publication, Huston, 1984
- *Corrosion and Corrosion Control*
  Uhlig, H.H.; Revie R.W.
  Wiley-Interscience Publications , New York, 1985
- *Corrosion and Water Technology*
  Jones, L.W..
  OGCI Publications , Tulsa, 1992
- *Applied Water Technology*
  Patton, C.C.
  John M. Campbell Publications , Dallas, 1991
- *Corrosion in the Petrochemical Industry*
  Garverick, L.
  ASM International , Ohio, 1995
- *Advances in CO_2 Corrosion*
  Bruke, P. A.; Asphahani, A. I.; Wright, B. S.
  Complied and Edited by NACE Task Group and T-1KT-1D
  NACE International, Houston, 1985
- *H_2S Corrosion in Oil and Gas Production*
  A Compilation of Classic Papers
  Tuttle, R. N.; Kane, R. D.
  NACE International, Houston, 1981
- *Corrosion Inhibitors*
  Nathan, C. C.
  NACE International, Houston, 1977
- *Corrosion Guide*
  Rabald, E.
  Elsevier Publishing Company, New York, 1968

Ajánlott irodalom folytatás

- *CO_2 Corrosion Control in Oil and Gas Production*
  Kermani, M. B.;Smith, L.M.
  EFC Publication, London, 1997
- *Control of Pipeline Corrosion*
  Peabody, A.W..
  NACE International, Houston, 2001
- *A Practical Manual on Microbiologically Influenced Corrosion*
  Kobrin, G.
  NACE International, Houston, 1993
- *Manual of Biocorrosion*
  Videla, H. A.
  CRC Lewis Publishers, 1996
- *Microbiologically Influenced Corrosion Handbook*
  Borenstein, S.W,.
  Industrial Press Inc. New York, 1994
- *Corrosion Control Handbook PEPCO*
  Energy Communications Inc. Dallas, 1972
- *Corrosion Control and Monitoring in Gas Pipelines and Well Systems*
  Asperger, R.G.; Teevens, P.; Ho-Chung-Qui, D.
  NACE Publication, Houston, 1990

Korróziós folyamat

- ***A NACE (National Association of Corrosion Engineers) megfogalmazása szerint a korrózió:***

"egy tárgy, rendszerint egy fém tönkremenetele a környezettel való kölcsönhatása miatt".

Korróziós folyamat folytatás

- *Az ISO (International Organization for Standardization) javaslata szerint*

  „a korrózió fizikai-kémiai kölcsönhatás a fémtárgy és a környezete között, amelynek révén a fémtárgy tulajdonságai megváltoznak. Ez a kölcsönhatás a fémtárgy részleges vagy teljes tönkremeneteléhez vezethet".

Korróziós folyamat folytatás

- *Tágabb értelemben a korrózió nemcsak fémből, hanem más anyagból — betonból, műanyagból — készült tárgyak környezeti hatások miatt bekövetkező károsodását is jelenti.*

Korróziós folyamatok hatására bekövetkezett károsodások

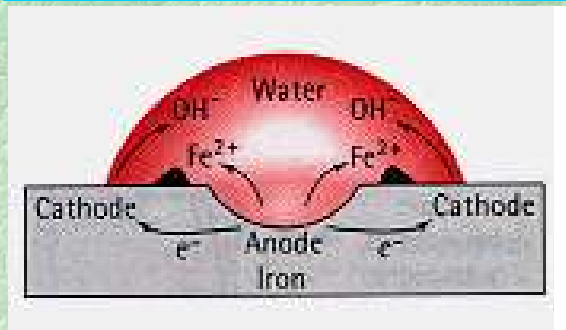
- *A termelvényben oldott korrozív gázok (NH_3, O_2, H_2S, CO_2)*
- *Vízkőkiválás, lebegő anyag-, korróziós termék lerakódás*
- *Szállítási egyenetlenségek (pangó szakaszok, turbulencia, eróziós korrózió, kavitáció)*
- *Tömítetlenségek (oxigén szennyezés)*
- *Magas sótartalom (lyukkorrózió)*
- *Technológiai paraméterek (hőmérséklet, nyomás áramlási viszonyok, szakaszos üzemeltetés, gázos-, vagy szivattyús szállítás)*
- *Emberi mulasztások (vegyszeradagolás elmulasztása, egyenetlen kezelés)*

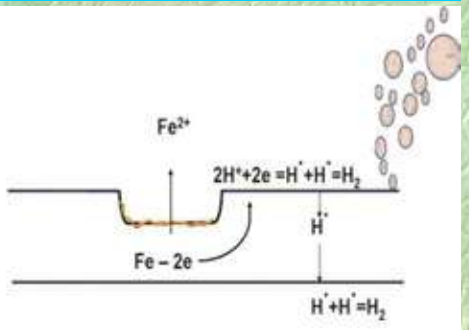
Korróziós folyamatok

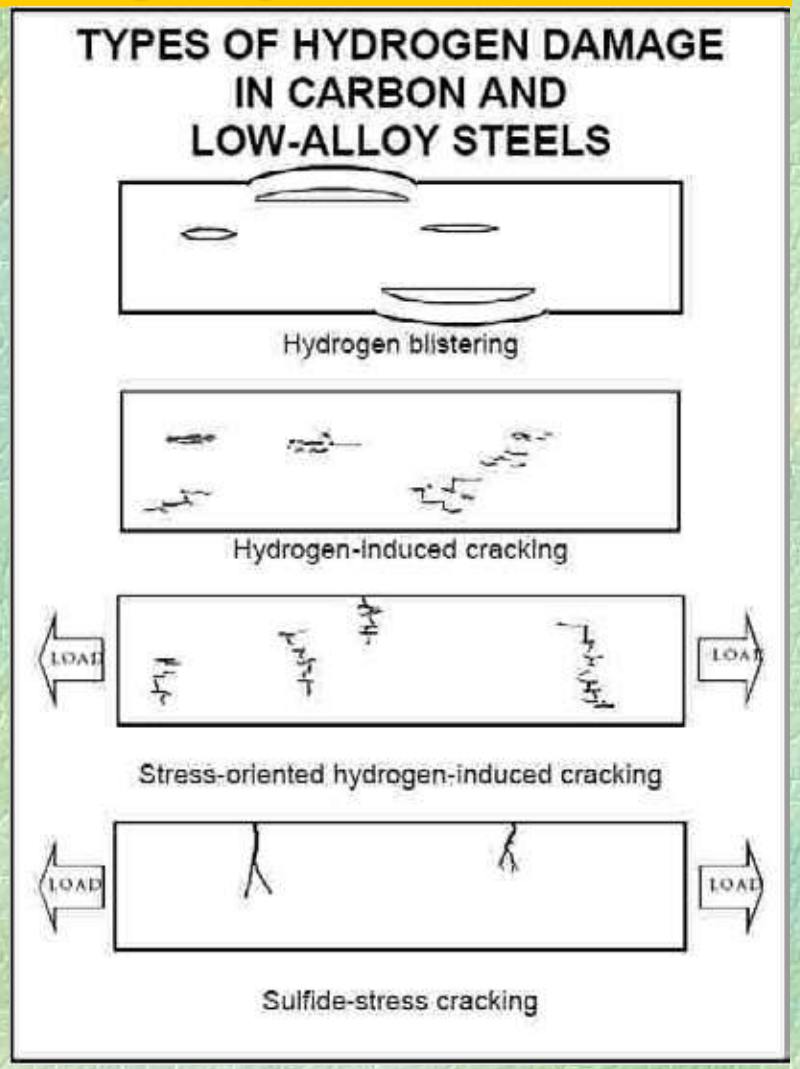
Elektrokémiai korrózió:
elektrolit jelenléte, a fém ionjai az elektrolitba oldatba mennek

Kémiai korrózió:
nincs elektrolit, gázzal, folyadékkal való érintkezés

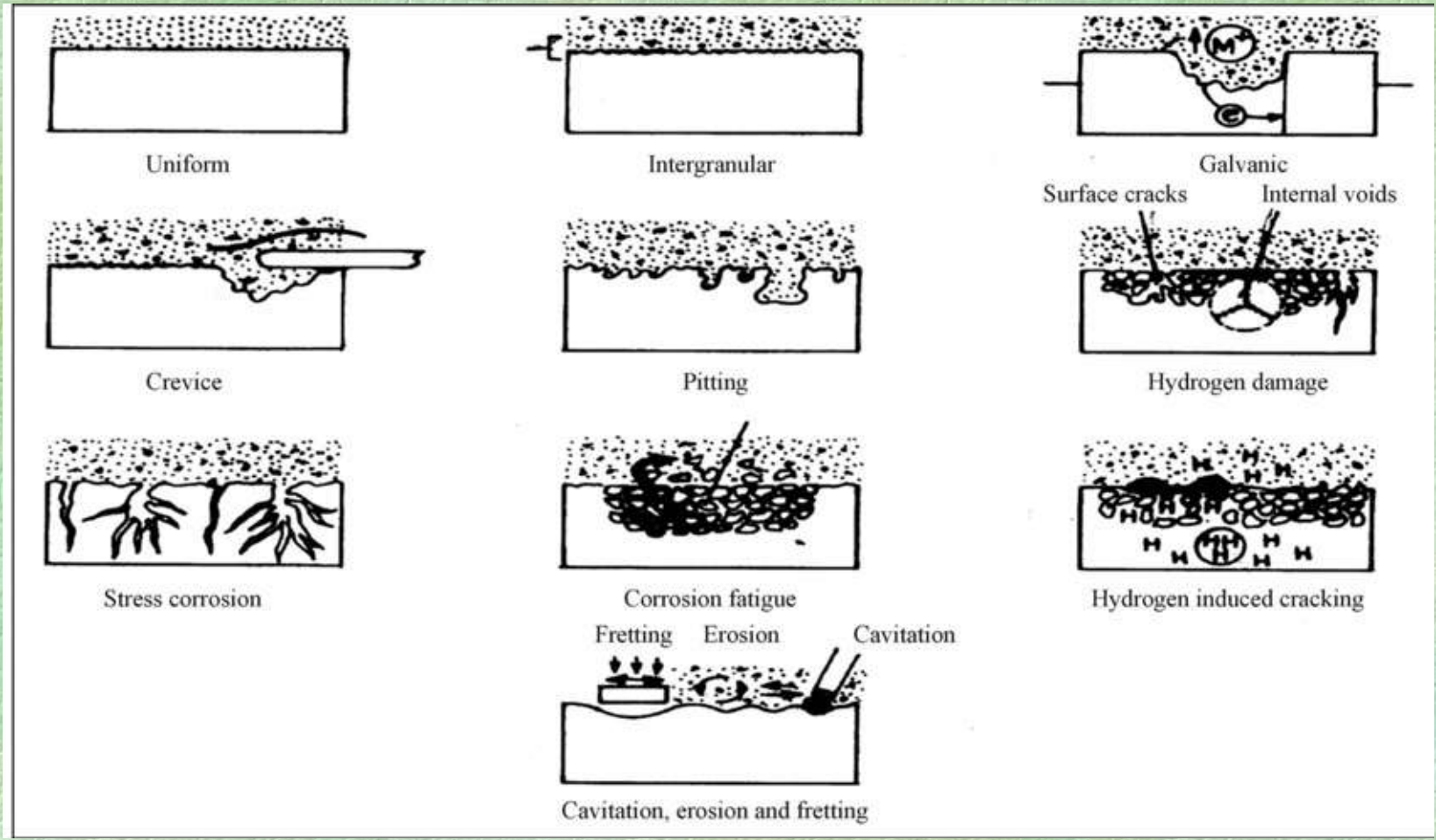
Feszültségkorrózió:
elektrokémiai korrózió + mechanikai feszültség, mely az oldódást egy adott területre koncentrálja



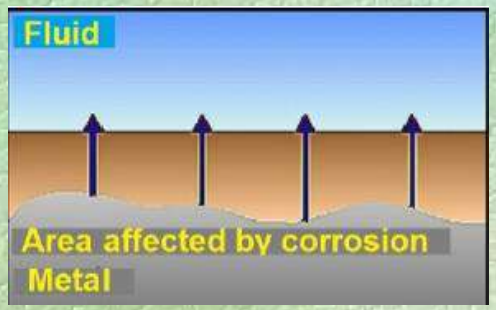




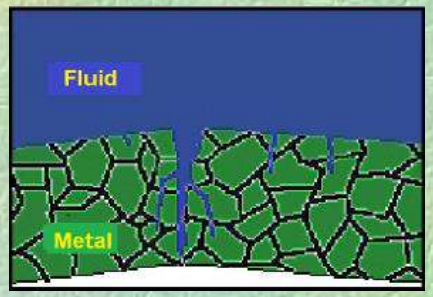
Korrózió típusai megjelenési formák szerint



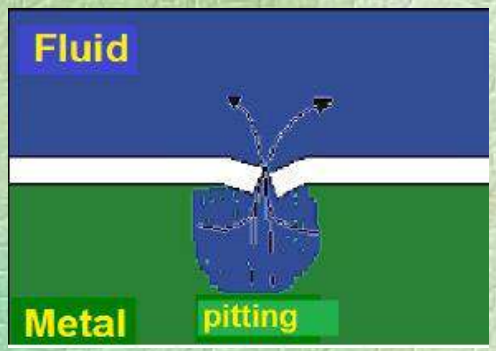
Makro korrózió típusai



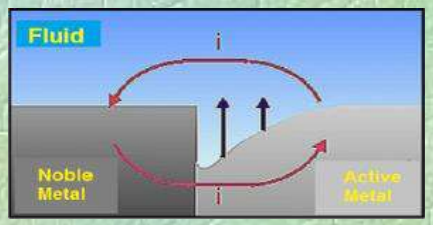
Általános korrózió



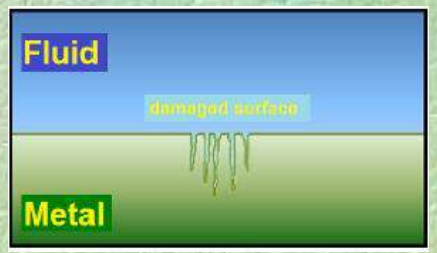
Feszültség-korrózió



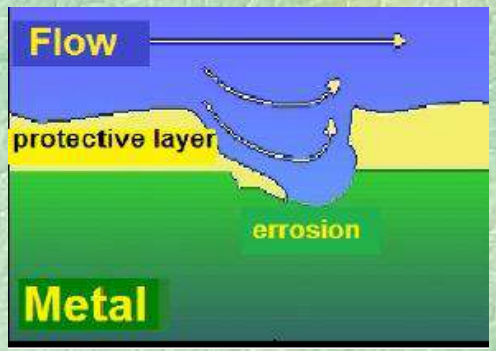
Pitting korrózió



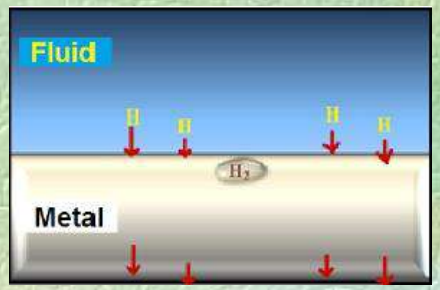
Galván korrózió



Kavitációs korrózió



Eróziós korrózió



Hidrogén hólyagosodás, ridegedés

Káresetek
1#



Eróziós korrózió.



Elvékonyodott kút bekötővezeték ívének felhasadása.

A cső felületi képe CO_2-os korróziót mutat.

Káresetek

2#


Béléscső
ridegtörése.
H_2S okozta ridegedés
Kagylós
töretkép

Káresetek

3#



Termelőkúton a CO_2 hatása.



Elégtelen inhibitorozás miatt kialakult helyi intenzív korróziós anyagfogyás.

Káresetek
4#


Rétegvíz szállító vezeték, lerakódás alatti korróziója.
Rétegvízvezeték „12 óra” irányában.
Rétegvízvezeték „6 óra” irányában.
Klorid és oxigén korrózió.
Gázvezeték, CO_2 korrózió.

Korróziós károsodások

Általános korrózió:

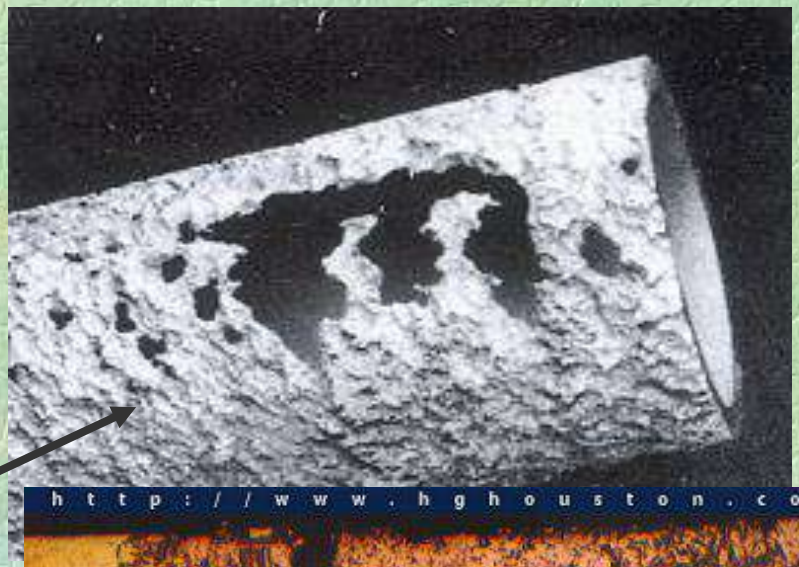
-egyenletes az egész felületen (gőzvezeték, kívül kénsavas közeg)

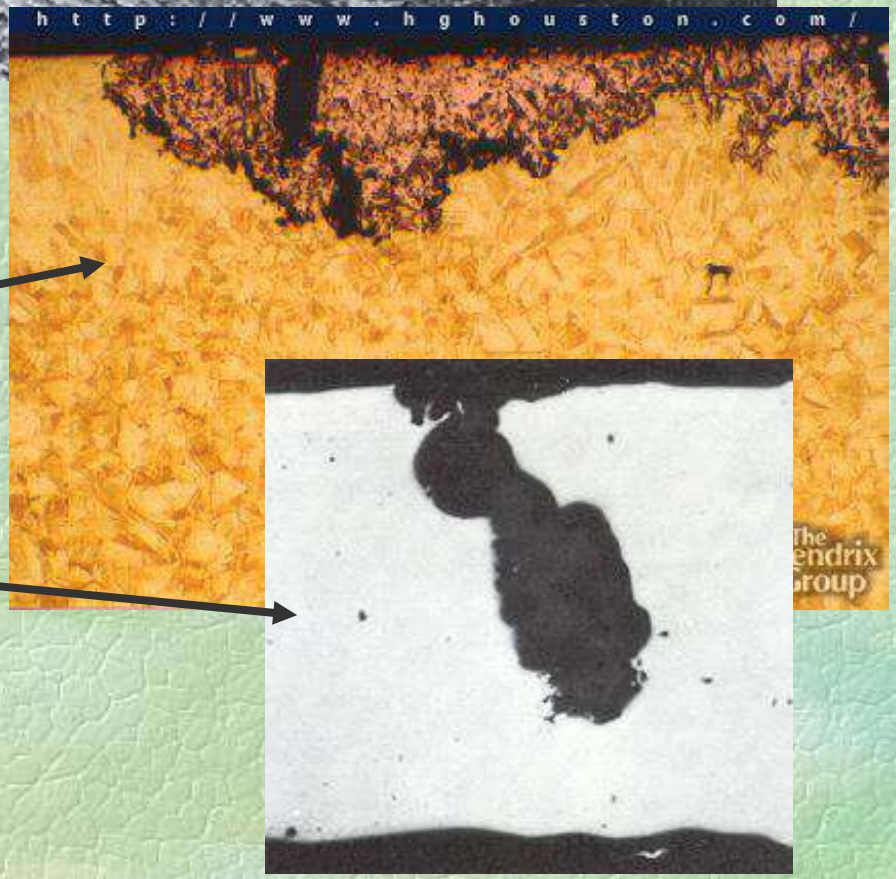
Szelektív korrózió:

-többfázisú szövetben (Cu-Zn ötvözet, a Zn korrodál)

Lyukkorrózió:

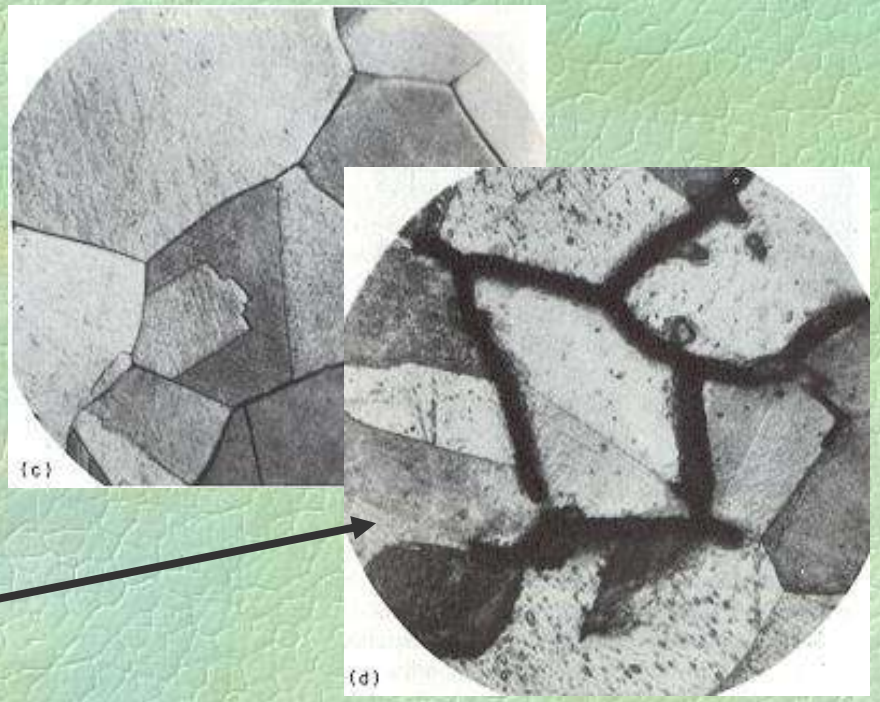
-depasszíválódott foltokban (repülőgép víztartály, tisztító-szerek)



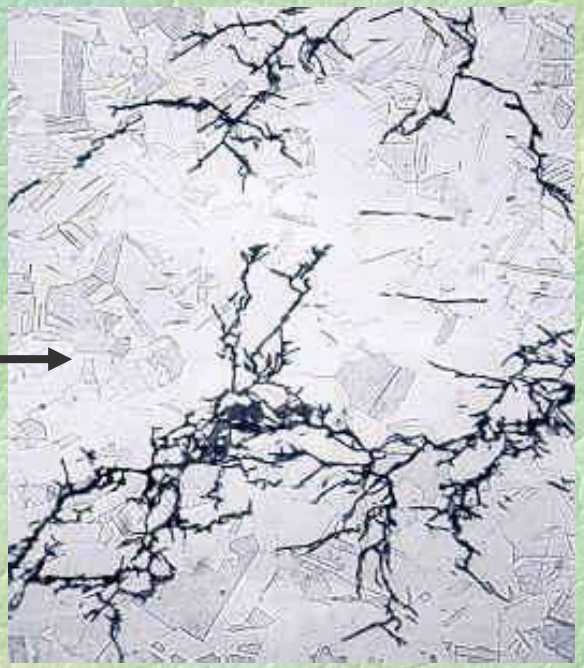


Korróziós károsodások

Interkrisztallin korrózió:
-kristályhatár menti kiválás depassziválódás (ausztenites saválló acélból készült elektrolitikus cella)



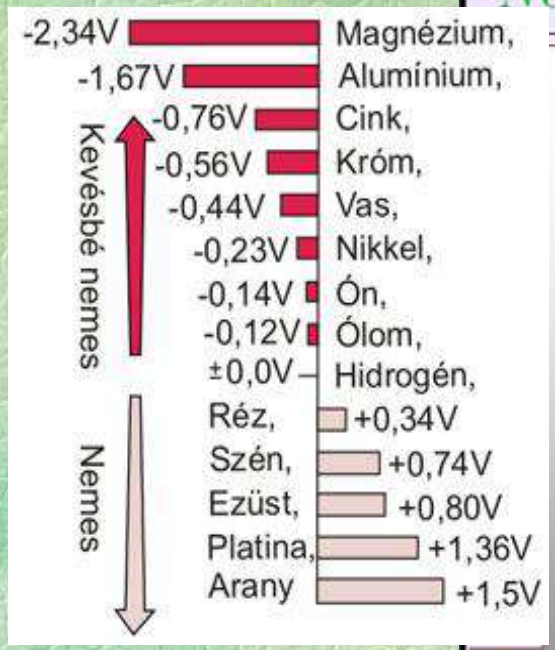
Feszültségkorrózió:
-oldékonyság változás mechanikai feszültség hatására (ausztenites acélcső, kémiai feldolgozó üzemben, klorid)



Elektrokémiai, kémiai alapok

- *Potenciál sor (elektonegativitási sorrend)*
- *Pourbaix diagramok*
- *Evans diagramok*
- *Polarizációs görbék*
- *Nelson görbék*
- *McConomy görbék*
- *Izokorróziós görbék*
- *Korrózióállósági mérnöki táblázatok, adatbázisok*

Korróziós folyamat fékezése, elektródpotenciál



	System	Potential in V
Noble end	Au / Au^{3+}	+1.5
	Ag / Ag^{+}	+0.80
	Cu / Cu^{2+}	+0.34
	H_2 / H^{+}	0.0
	Pb / Pb^{2+}	–0.13
	Ni / Ni^{2+}	–0.25
	Fe / Fe^{2+}	–0.44
	Cr / Cr^{3+}	–0.74
	Zn / Zn^{2+}	–0.76
	Al / Al^{3+}	– 1.66
Active end	Li / Li^{+}	–3.05

Increasing propensity to dissolve

Szerkezeti anyag kiválasztással!

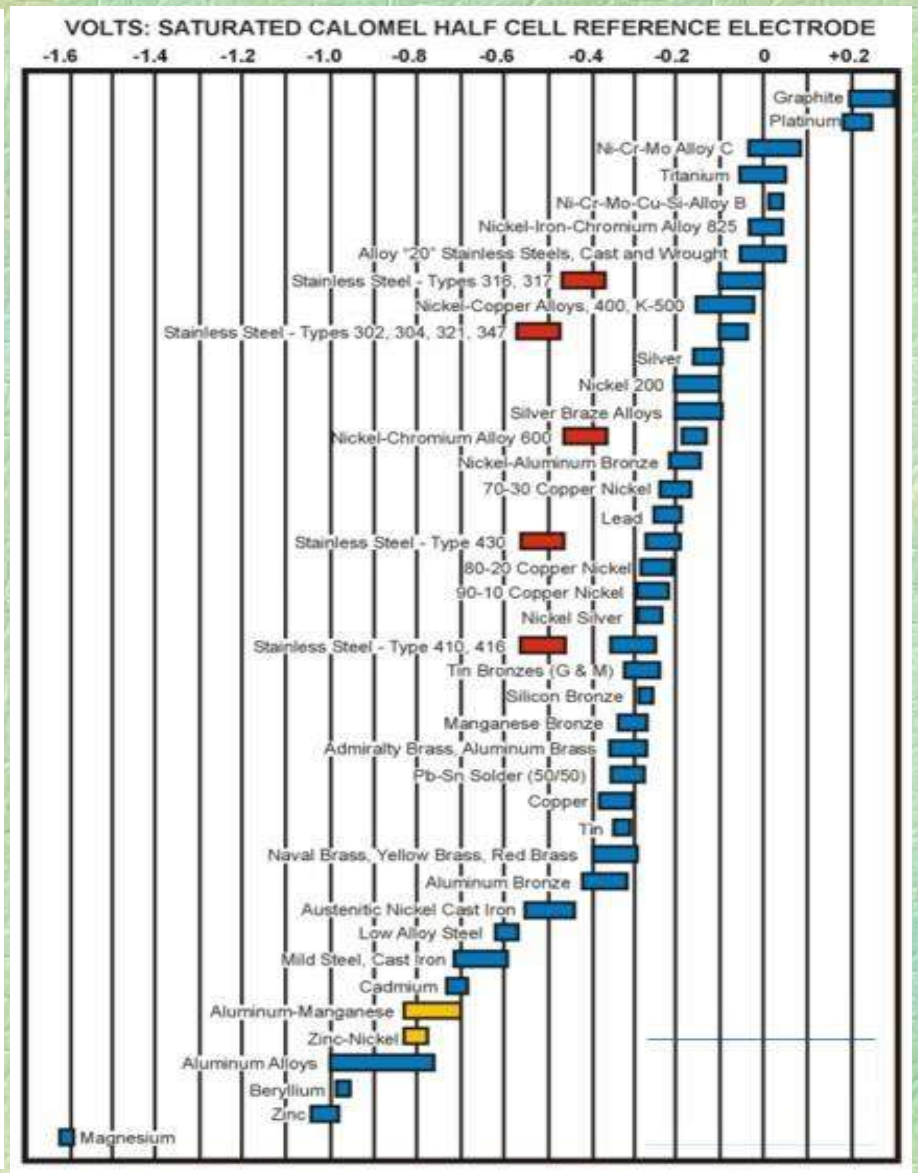
„Galvánsor”, korróziós potenciál

Galvanic Series of Metals and Alloys in Sea Water

ANODIC - High Corrosion Potential

Lithium
Magnesium Alloys
Zinc (plate)
Beryllium
Cadmium (plate)
Uranium (depleted)
Aluminum Alloys
Indium
Tin (plate)
Stainless Steel 430 (active)
Lead
1010 Steel
Cast Iron
Stainless Steel 410 (active)
Copper (plate)
Nickel (plate)
AM 350 (active)
Chromium (plate)
Stainless Steels 350, 310, 301, 304 (active)
Stainless Steels 430, 410 (passive)
Stainless Steel 13-8, 17-7PH (active)
Brass, yellow, Naval
Stainless Steel 316L (active)
Bronze 220
Copper 110
Stainless Steel 347 (active)
Copper-Nickel 715
Stainless Steel 202 (active)
Monel 400
Stainless Steel 201 (active)
Stainless Steels 321, 316 (active)
Stainless Steels 309, 13-8, 17-7 PH (passive)
Stainless Steels 304, 301, 321 (passive)
Stainless Steels 201, 316L (passive)
Stainless Steel 286 (active)
AM355 (active)
Stainless Steel 202 (passive)
Carpenter 20 (passive)
AM355 (passive)
Titanium Alloys
AM350 (passive)
Silver
Palladium
Gold
Rhodium
Platinum
Carbon/Graphite

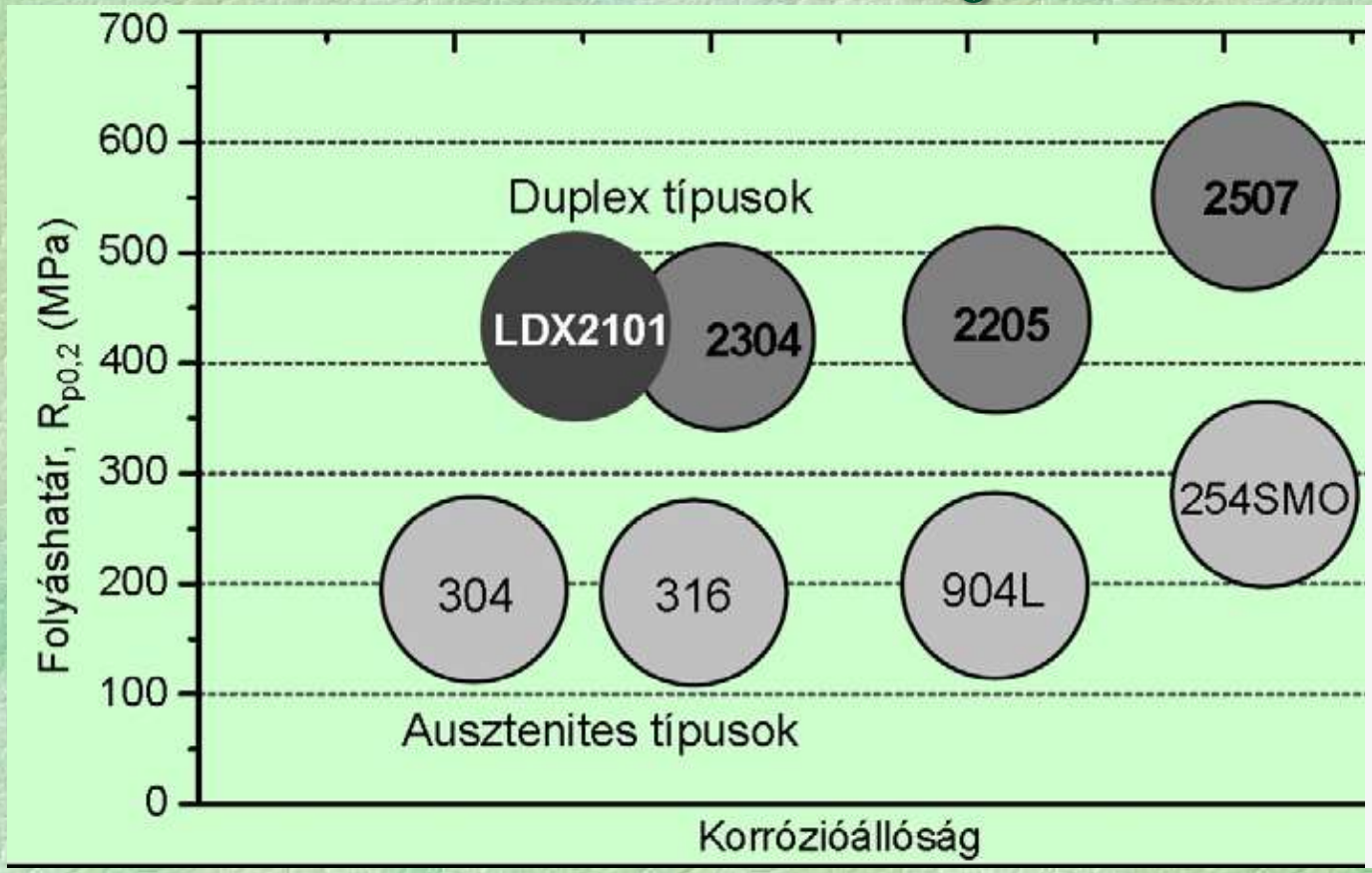
CATHODIC - Low Corrosion Potential

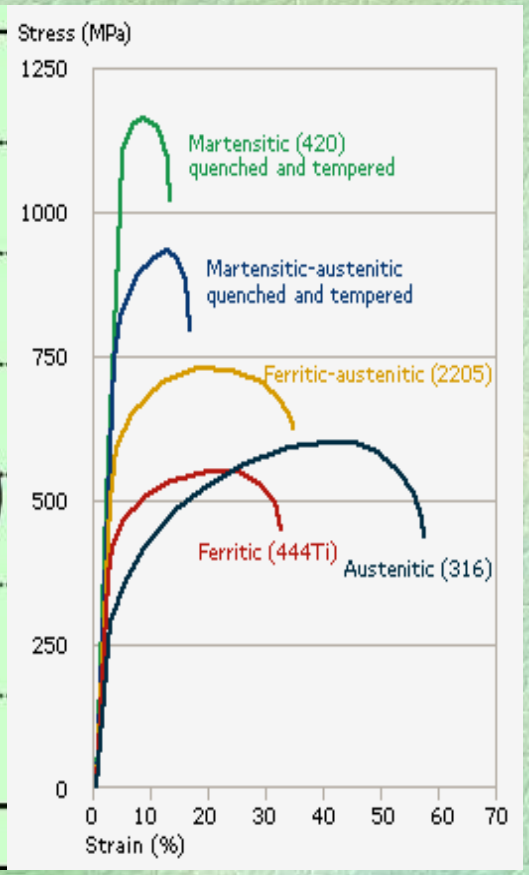


Korrózióvédelem lépései

- *Tervezés, kivitelezés, monitoring, karbantartás*
  - *Szerkezeti anyag kiválasztás*
  - *Aktív védelem (anódos, katódos)*
  - *Passzív védelem (bevonatok, inhibitorok, semlegesítő adalékok)*
  - *Technológia módosítása (p, T, áramlási sebesség, közeg összetételek)*
  - *Struktúra módosítása*

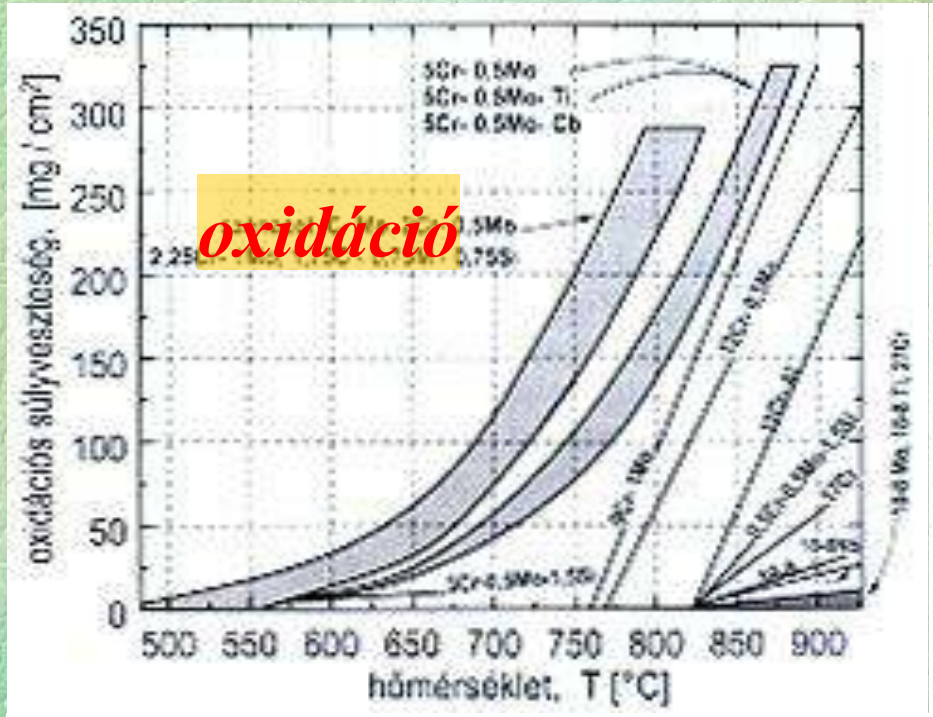
Korrózió álló szerkezeti anyag választása





A szerkezeti anyag kiválasztása számos követelmény optimális kielégítésén alapul.

További kihívások az anyagkiválasztás során



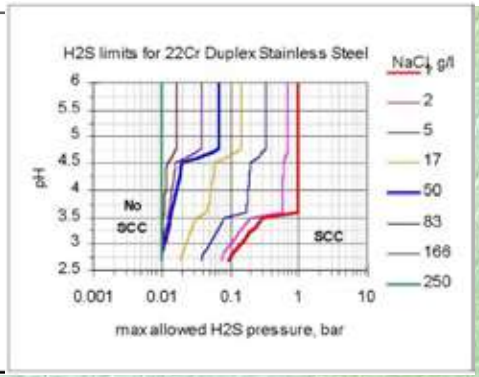


ASTM standard specifications for refinery steels

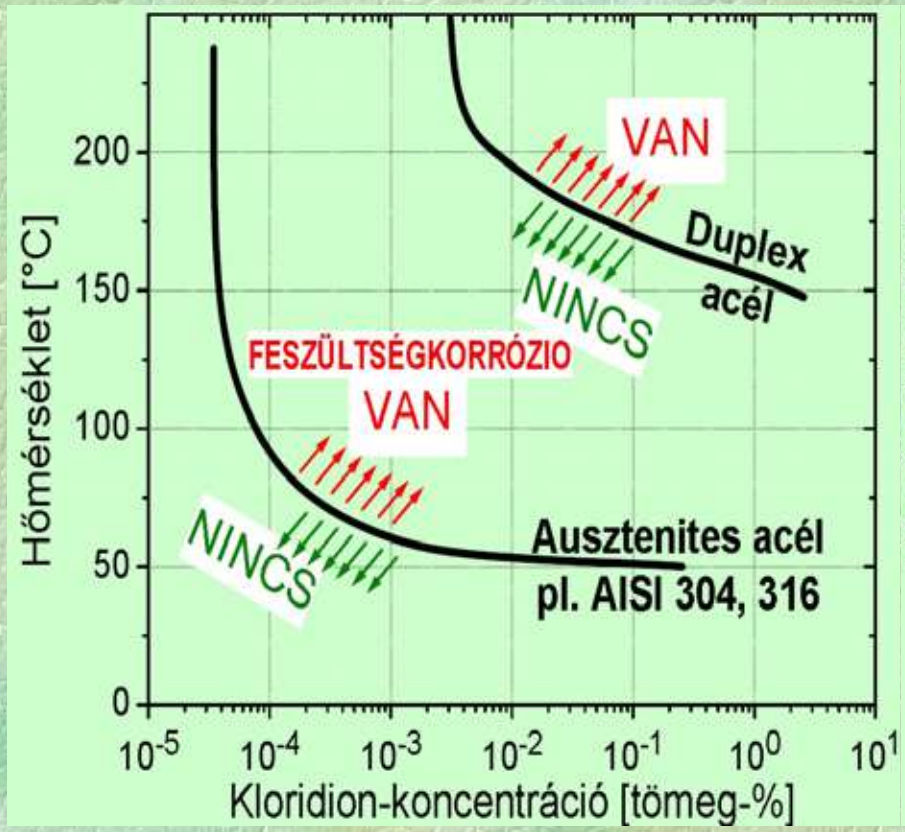
Carbon and alloy steel bolts and nuts covered by A193, A194, A320, A354, A449, A453, A540, A563

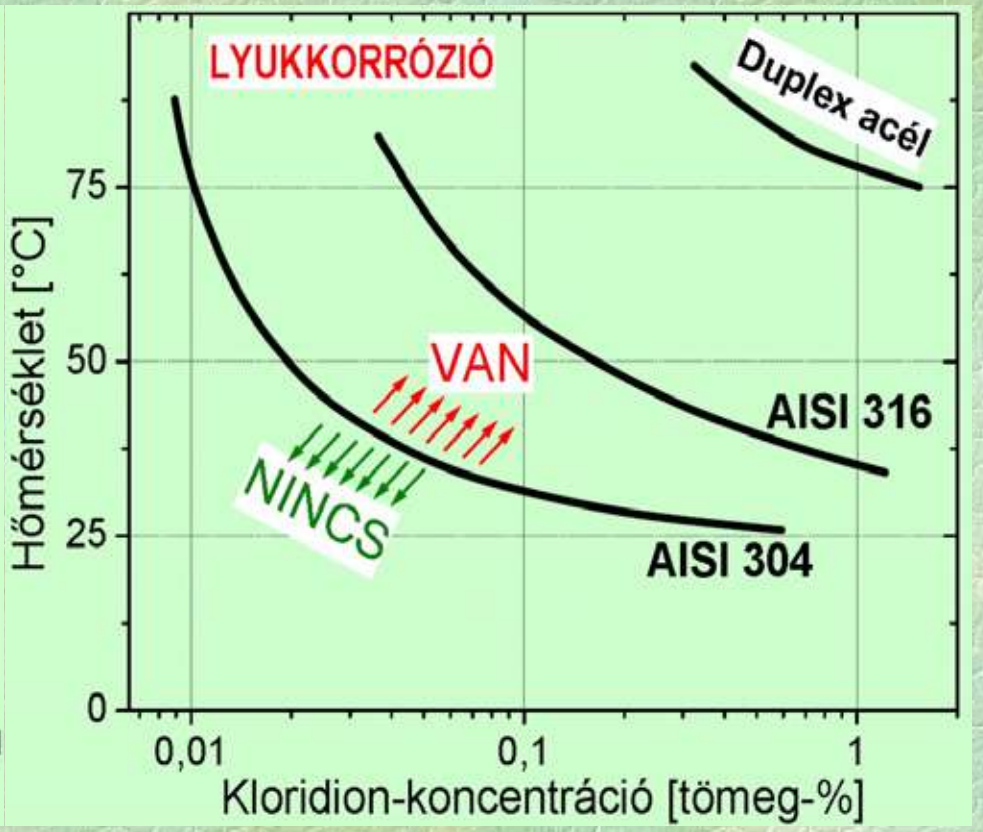
Material	Pipes and tubes	Plates	Castings	Forgings
Carbon steel	A53, A106, A120, A134, A135, A139, A178, A179, A192, A210, A211, A214, A226, A333, A334, A369, A381(a), A524, A587, A671, A672, A691	A283, A285, A299, A442, A455, A515, A516, A537, A570, A573(a)	A27(a), A216, A352	A105, A181, A234, A268, A350, A372, A420, A508, A541
C-0.5Mo steel	A161(a), A209, A250, A335, A369, A426, A672, A691	A204, A302, A517, A533	A217, A352, A487	A182, A234, A336, A508, A541
1Cr-0.5Mo steel	A213, A335, A369, A426, A691	A387, A517	...	A182, A234, A336
1.25Cr-0.5Mo steel	A199, A200(a), A213, A335, A369, A426, A691	A387, A389(a), A517	A217, A389(a)	A182, A234, A336, A541
2Cr-0.5Mo steel	A199, A200(a), A213, A369	...	...	...
2.25Cr-1Mo steel	A199, A213, A335, A369, A426, A691	A387, A542	A217, A487	A182, A234, A336, A541, A542
3Cr-1Mo steel	A199, A200(a), A213, A335, A369, A426, A691	A387	...	A182, A336
5Cr-0.5Mo steel	A199, A200(a), A213, A335, A369, A426, A691	A387	A217	A182, A234, A336
7Cr-0.5Mo steel	A199, A200(a), A213, A335, A369, A426	A387	...	A182, A234
9Cr-1Mo steel	A199, A200(a), A213, A335, A369, A426	A387	A217	A182, A234, A336
Ferritic, martensitic, and austenitic stainless steel	A213, A249, A268, A269, A271(a), A312, A358, A376, A409, A430, A451, A452, A511(a)	A167, A176(a), A240, A412, A457	A297(a), A351, A447(a)	A182, A336, A403, A473(a)

(a) These specifications are not approved by either the ANSI/ASME Boiler and Pressure Vessel Code or by the ANSI/ASME Code for Pressure Piping B31.3.



Szerkezeti anyag vagy felületvédelmi technológia?

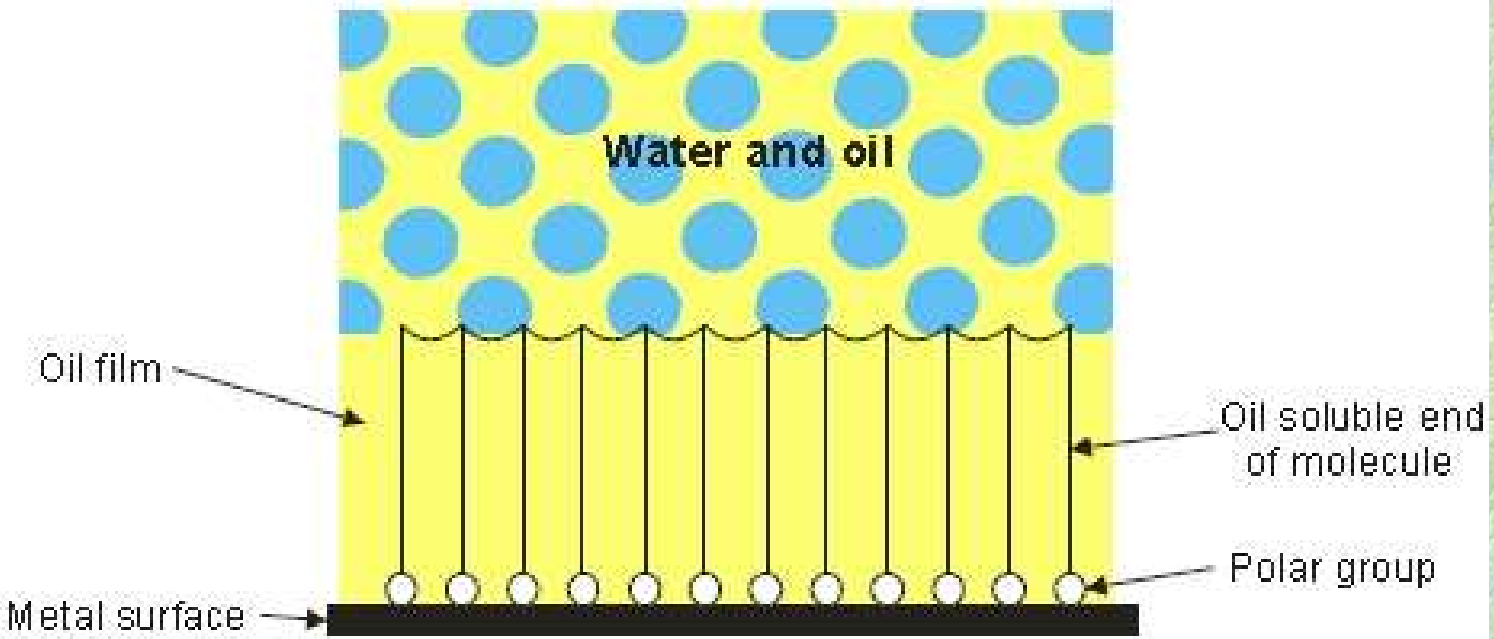




Amennyiben a közeg és a technológia paraméterein nem tudunk változtatni, az adott szerkezeti anyag védelméről vegyszeresen, vagy bevonatokkal kell gondoskodni.

Inhibitorok

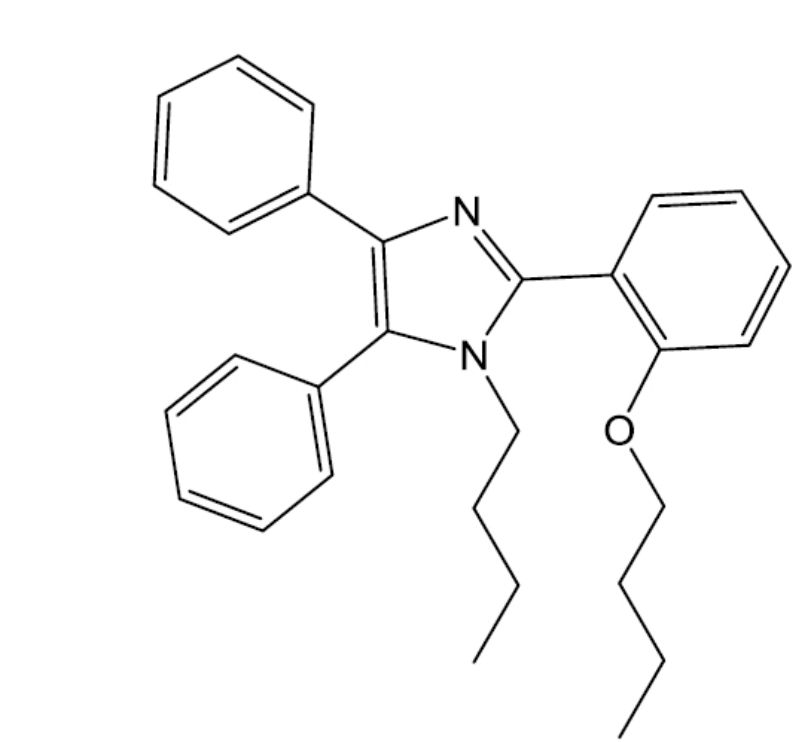
A korróziós folyamatot fékező anyagok alkalmazása



Simple schematic showing how inhibitor film prevents water contacting a metal surface

Korróziós folyamat fékezése

- Inhibitorok
- Passzívátorok
- Bevonatok
  - Szervetlen
  - Szerves
  - Átmeneti (stb.)
- Neutralizáló vegyszerek



3-butyl-2-(2-butoxyphenyl)- 4,5-diphenylimidazole

Az „ihibitor”

- ***Meghatározás:***
  - *„Az az anyag, amely kémiai reakciókat lassít le”*
  - *„Katalizátor méreg” („gyorsítót fékez”)*
  - *„Folyamatot gátol”*
  - *„Az inhibitorok azáltal képesek megváltoztatni a korrózió sebességét, hogy módosítják a korrózió anódos, katódos vagy mindkét részfolyamatának sebességét” – korróziós inhibitor*

Korróziós inhibitor

- *A korróziós inhibitorok a korrozív közegbe keverve már nagyon kis koncentráció esetén is jelentősen lecsökkenthetik a korróziós folyamatok sebességét anélkül, hogy a közeg agresszivitását jelentősen megváltoztatnák.*
- *Inhibitálási hatásfok:*
  - $E\% = 100*((V_k^v - V_k^i)/V_k^v)$

    ahol V_k^v korrózió sebessége inhibitor nélkül (VAK)

    V_k^i korrózió sebessége inhibitorral (INH)

Korróziós inhibitor hatékonysága

Corrosion Inhibitors:

A corrosion inhibitor is a chemical substance that, when added in small concentration to an environment, effectively decreases the corrosion rate. The efficiency of that inhibitor is thus expressed by a measure of this improvement

$$inhibitionEfficiency\% = \frac{100(CR_{unhinhibited} - CR_{inhibited})}{CR_{unhinhibited}}$$

$CR_{uninhibited}$ = corrosion rate of the uninhibited system

$CR_{inhibited}$ = corrosion rate of the inhibited system

Korróziós inhibitorok osztályozása

- **Fizikai inhibitorok** (gyakorlati hasznuk már nincs)
  - Szerves és szervetlen anionaktív inhibitorok propargil alkohol
  - Szerves és szervetlen kationaktív inhibitorok akridin, naftokinolin
  - Inhibitor kombinációk (vegyes hatásmechanizmusú inhibitorok) (van der Waals-London erőkkel kötődnek) zselatin, butil-imin
- **Kémiai inhibitorok**
  - Kemoszorpciós vegyszerek
  - Passzíváló anyagok
  - Fedőréteg képzők, filmképzők
  - Destimulátorok

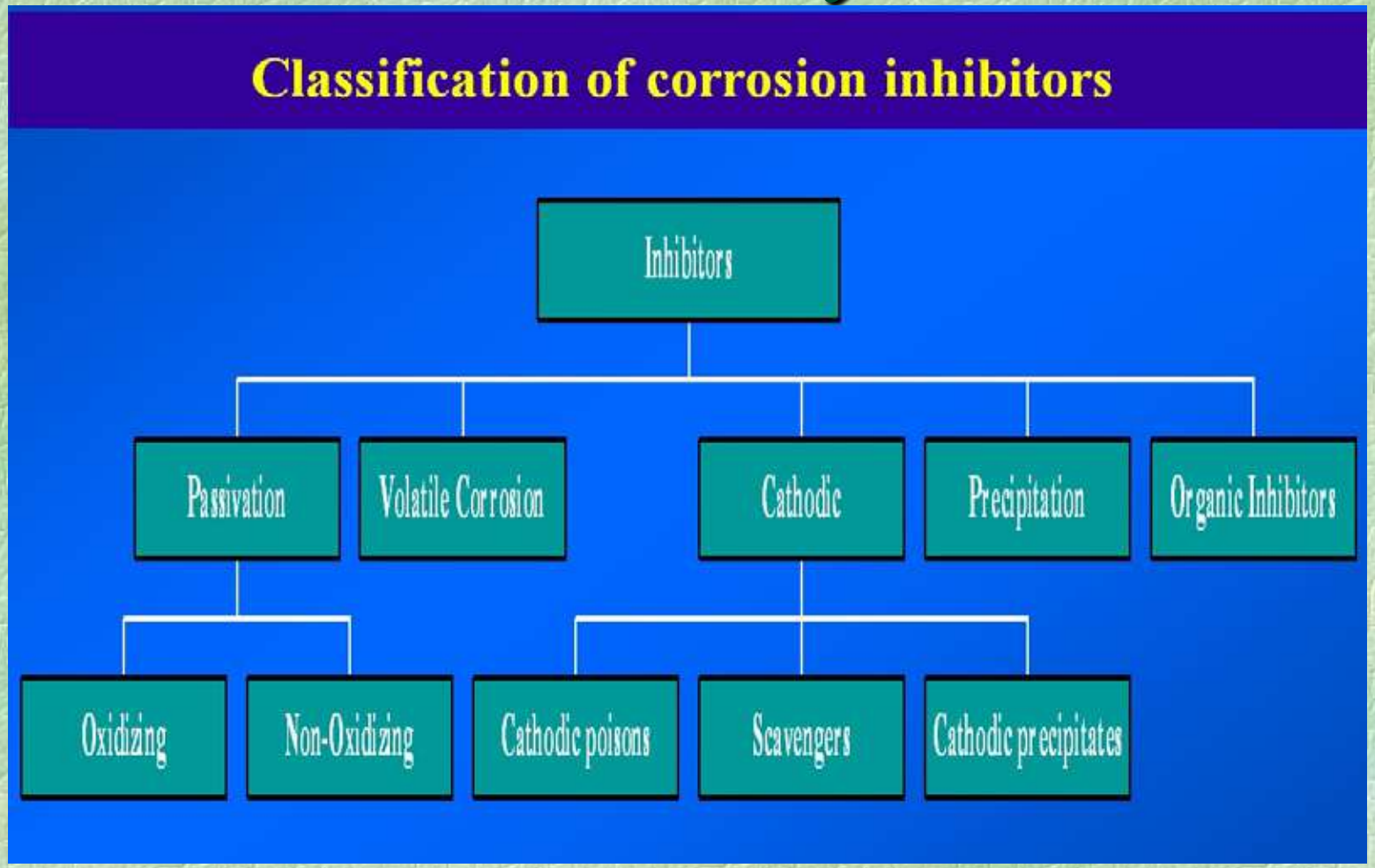
Inhibitorok osztályozása

- *Passzívátorok (anódos inhibitorok)*
  - *Oxidativ (kromát, nitrát, nitrit)*
  - *Nem oxidativ (foszfát, molibdát, volframát)*
- *Párolgó inhibitorok (VCI)*
- *Katódos inhibitorok*
  - *Katód mérgek -„poisons”(arzén, antimon)*
  - *Katód leárnyékolók filmképzők-„precipitates” (kalcium, cink, magnézium, aminok, ammónium sók)*
  - *Oxigén megkötők -„scavengers” (szulfit, hidrazin)*

Inhibitorok osztályozása folytatás

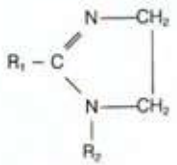
- ***Filmképző inhibitorok***
  - ***Szerves amfoter filmképzők***
  - ***Szervetlen film, passzív réteg kialakulást segítők***
- ***Szerves inhibitorok***
  - ***Hidrofób film kialakítására alkalmas hosszú molekulák, anionos, kationos és vegyes hatásmechanizmus (szerves aminok, foszfonátok, szulfonátok, imidazolinok stb)***

Inhibitorok osztályozása folytatás

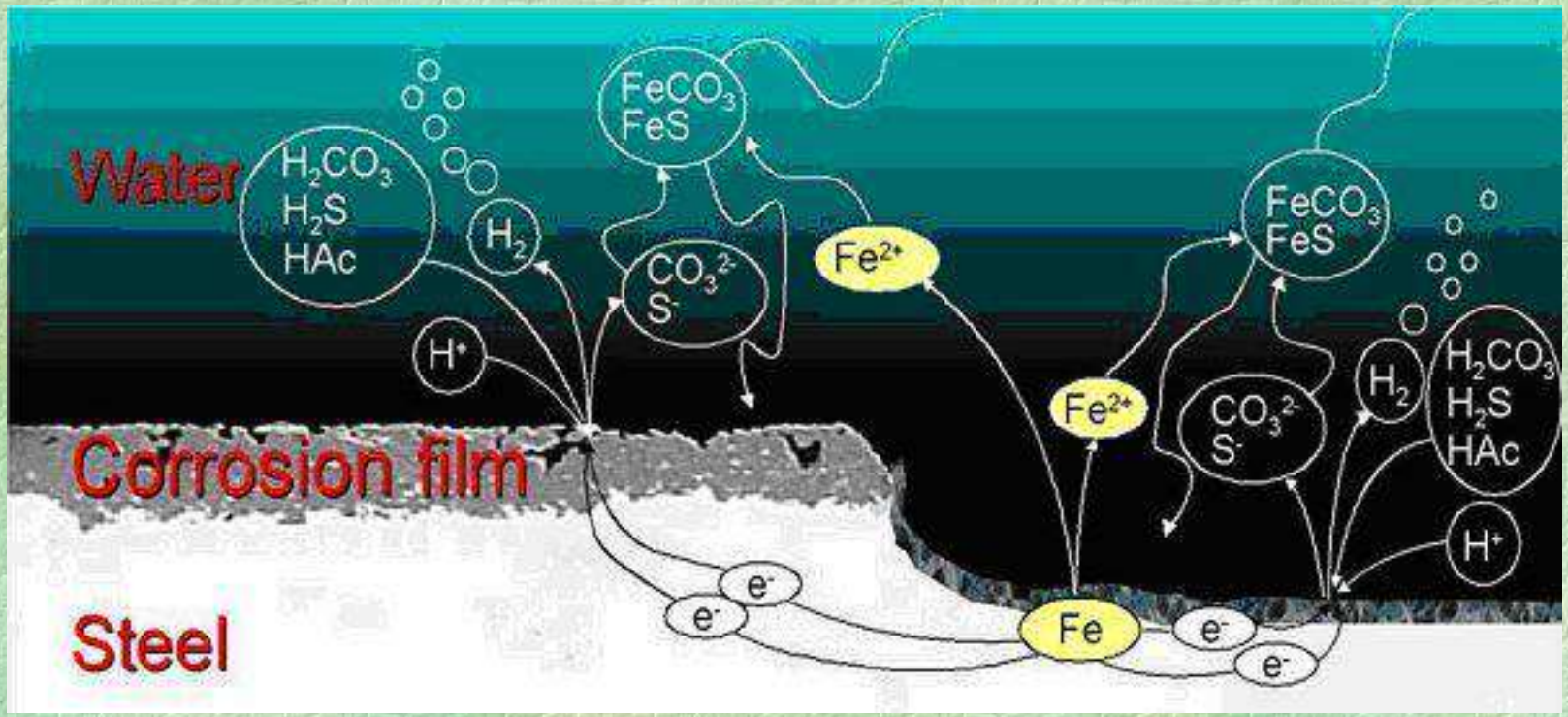


- ***Szervetlen anódos inhibitorok***
  - ***Foszfátok***
  - ***Kromátok***
  - ***Molibdátok***
  - ***Szilikátok***
  - ***Nitritek***
- ***Szerves anódos inhibitorok***
  - ***(alkil-, arril)-szulfonátok***
  - ***Merkaptobenztiazol***
  - ***Triazolok (benzo-, tollil-)***
  - ***Tiourea***
  - ***Acetil alkoholok***
  - ***Aminio -alkil foszfátok***
- ***Szerves katódos inhibitorok***
  - ***Alkil savak***
  - ***Alkil aminok***
  - ***Imidazolinok***
  - ***Amidok***
  - ***Kvaterner ammónium sók***

Inhibitor Chemicals

Group Class	*Compound*		*Applications*
Inorganic Anionic	Phosphates		Boiler feedwater, with caustic (NaOH) and dispersants
	Sodium ortho	(Na_3PO_4)	
	Sodium pyro	$(Na_4P_2O_7)$	
	Sodium tripoly	$(Na_5P_3O_{10})$	Cooling water, with phosphonates, chromates and dispersants
	Sodium hexameta	$(Na_6P_6O_{18})$	
	Chromates		Cooling water, with phosphates, phosphonates and dispersants (Use limited by toxicity)
	Sodium chromate	(Na_2CrO_4)	
	Sodium dichromate	$(Na_2Cr_2O_7)$	
	Sodium molybdate	(Na_2MoO_4)	Use same as chromates
	Silicates		Low salinity (fresh) water distribution systems
	Sodium meta	(Na_2SiO_3)	
	Sodium ortho	(Na_4SiO_4)	
	Borates		Automotive cooling systems, with phosphates, nitrite, and MBT
	Sodium meta	$(Na_2B_2O_4)$	
	Sodium tetra	$(Na_2B_4O_7)$	
	Nitrite		Same as Borates
	Sodium	$(NaNO_2)$	
Organic Anionic	Sulfonates		Cutting/cooling oils Lubricants Hydraulic Fluids
	Alkyl Aryl ($R \cdot SO_3^-$, Na^+ or Ca^{++})		
	Mercaptobenzothiazole (MBT)		Automotive (see Borates)
	Sodium MBT		Glycol dehydration systems (see Section 1, Chapter 8, Item 8.15)
	Triazoles		Antifreeze inhibitors for protection of copper
	Benzo		
	Tolyl		
	Thioureas		Drilling fluid additives
	Alkyl	$(RNH_2)_2CS$	Detergents (concentrated)
	Acetylenic Alcohols	$(RC \equiv CROH)$	Acid inhibition, with complex amines
	Propargyl		
	Hexynol		
	Phosphates	$N(RPO_3^{=} \cdot Na_2^+)_3$	Cooling water, with chromates, phosphates and zinc salts (primarily for scale inhibition and silt dispersion)
	Amino, polyalkyl -sodium salts		
Organic Cationic	Amine/Acid Salts		Base materials for oilfield inhibitors
	Typically, high molecular weight diamines	$RNH(CH_2)_3NH_2$	
	combined with high molecular weight organic acids	$R \cdot COOH$	
	Imidazolines		
	Amides	$R \cdot CONH_2$	
	Quaternary ammonium salts	$[R_4N]^+[Cl]^-$	

CÉL: Megfékezni a korróziót



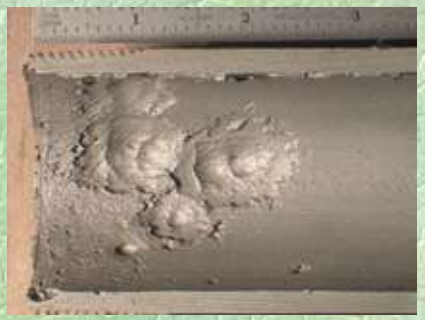
- *Elektrokémiai korrózió (vizes közeg!)*

Korrózió típusai

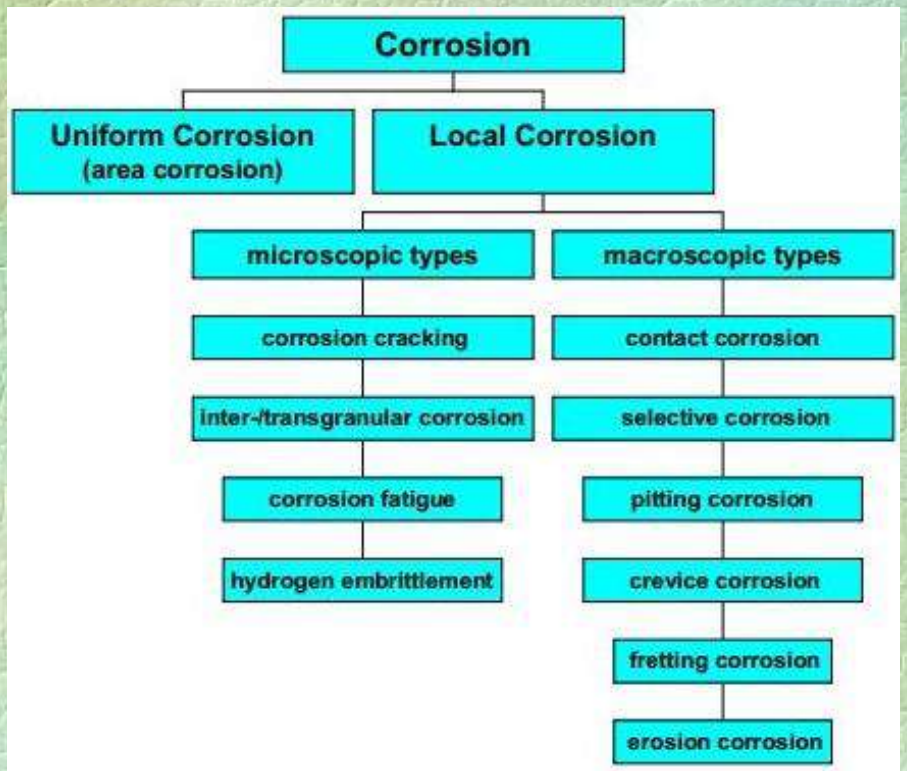
- Elektrokémiai korrózió
- Galván-korrózió
- Biológiai korrózió
- Kémiai korrózió





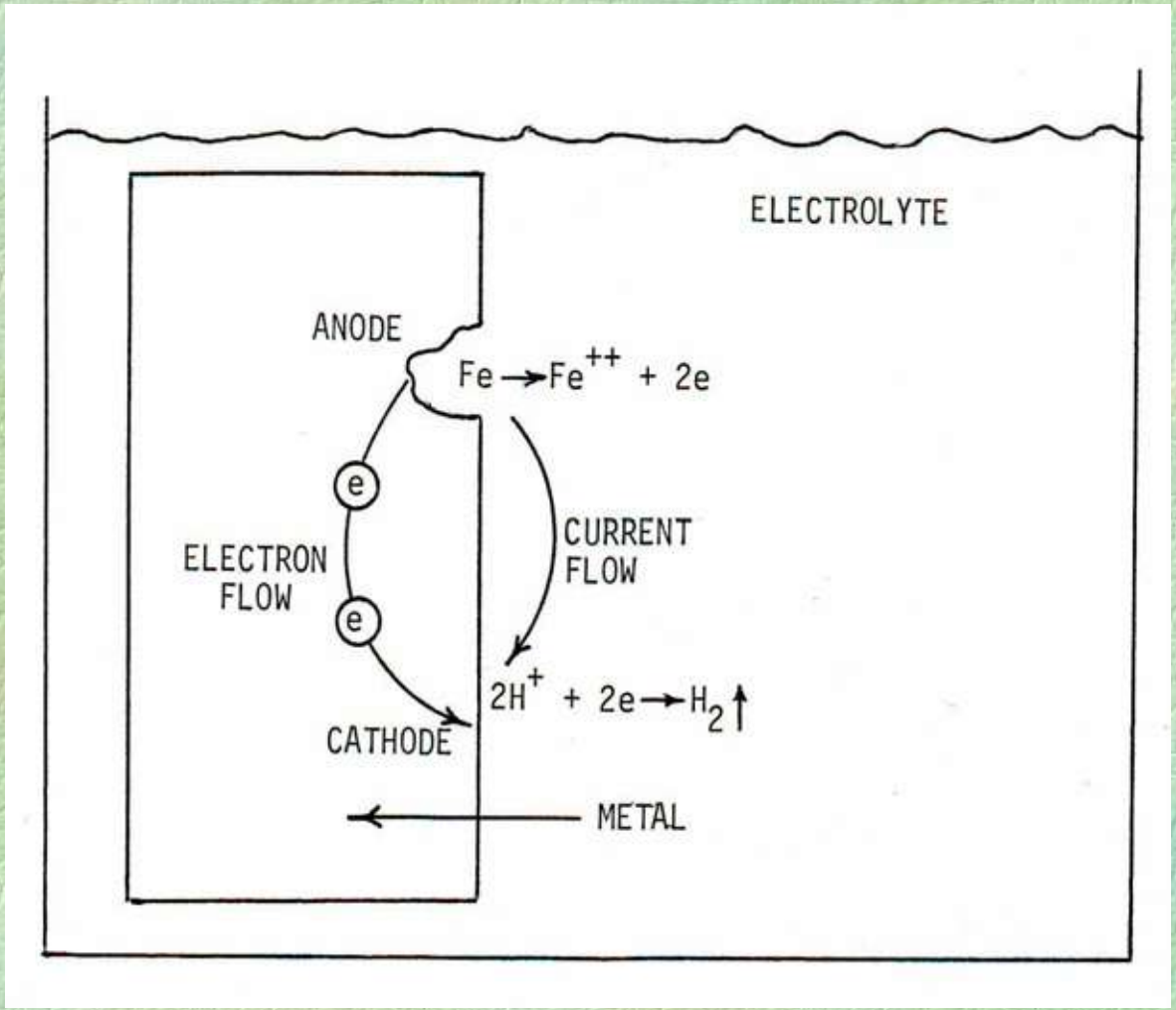






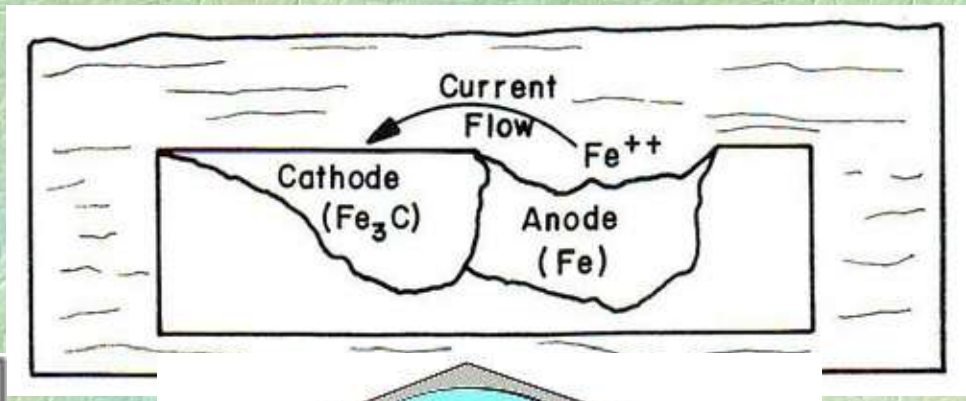
Korróziós elemi cella

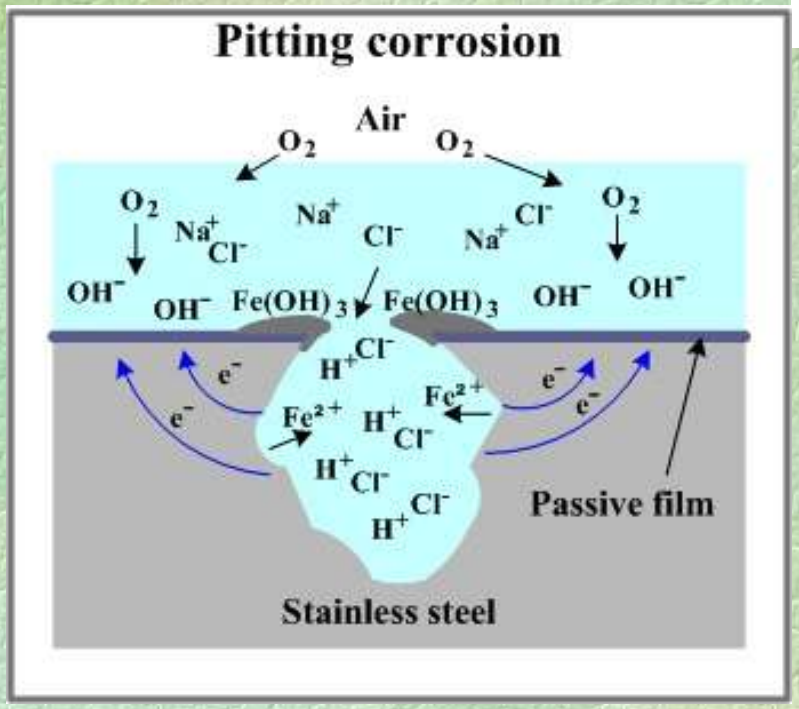
- Fém oldódása:
  - Anód folyamat
  - $Fe^0 = Fe^{2+} + 2e^-$
- Elektron befogás
  - Katód folyamat
  - $2e^- + 2H^+ = H_2^0{}_{(g)}$

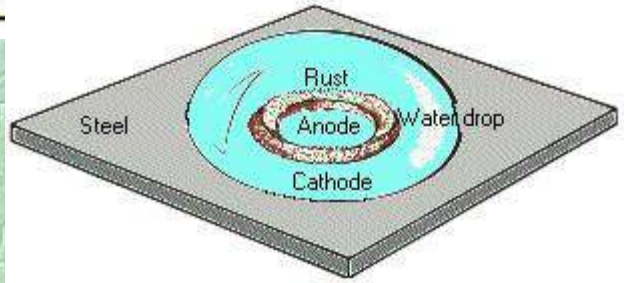


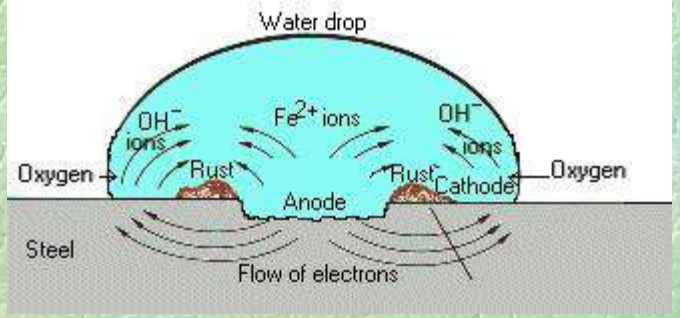
Korróziós cella: acélok inhomogenitása

- Vaskarbid, ferrit
- Korrózióálló acélok

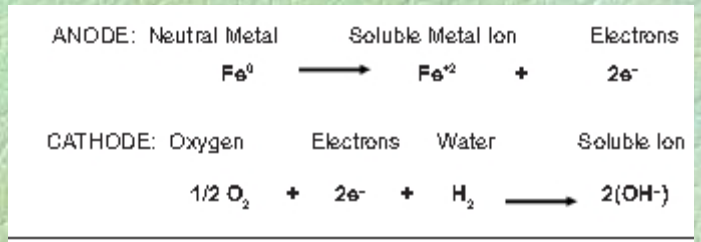


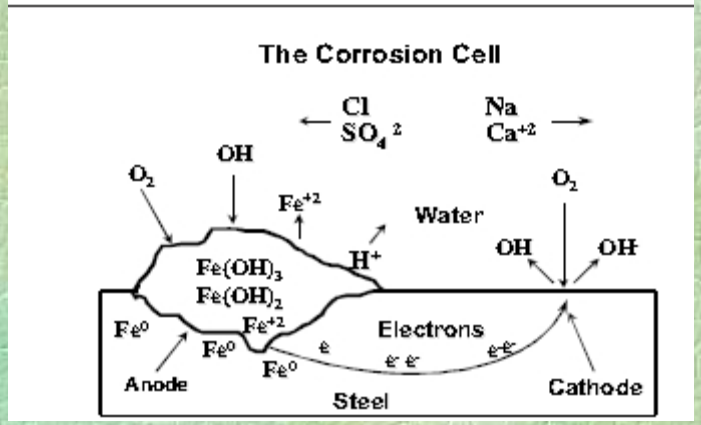


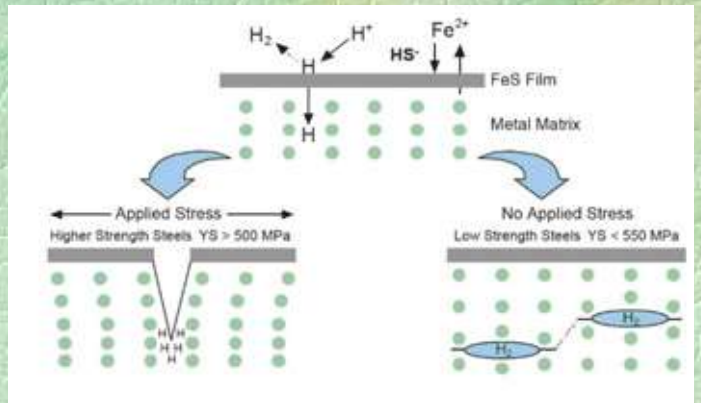


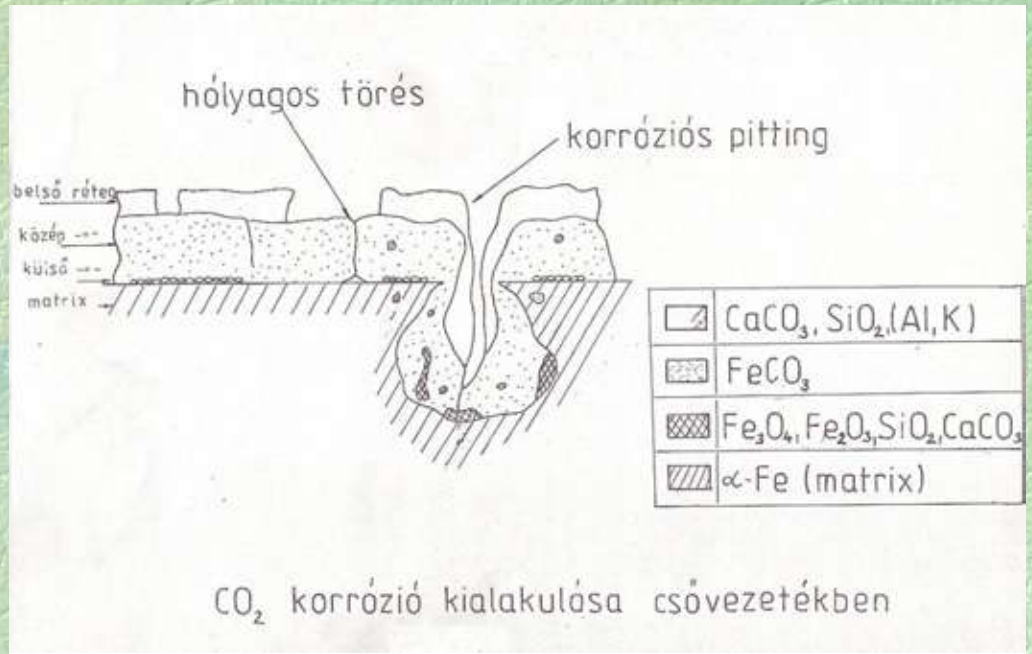


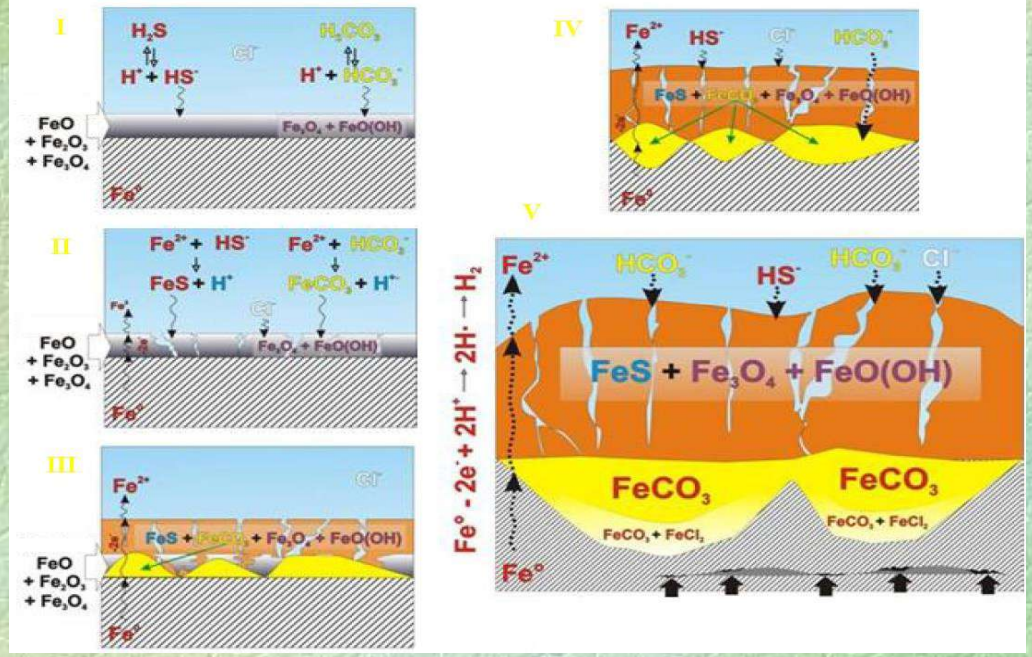
Korróziós rétegek kialakulása és hatásaik





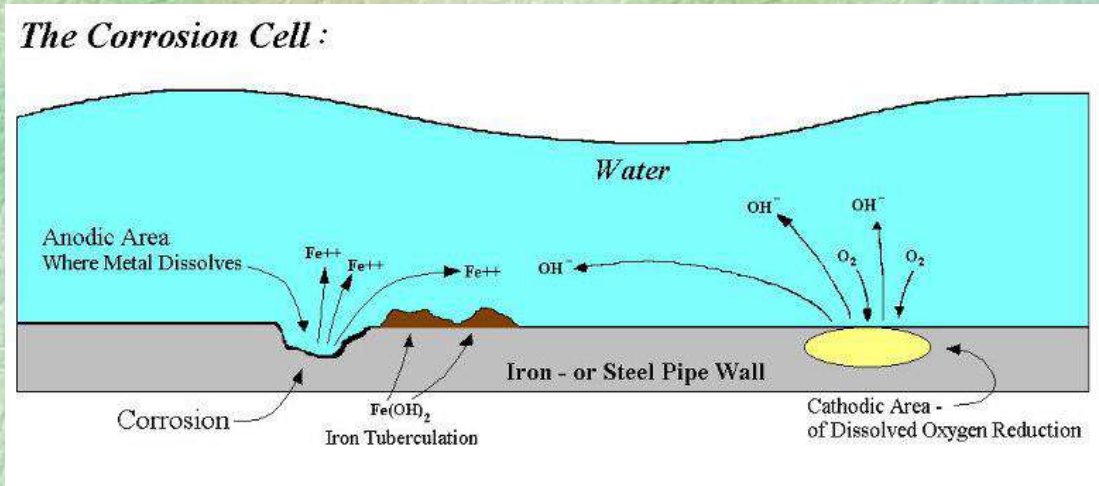


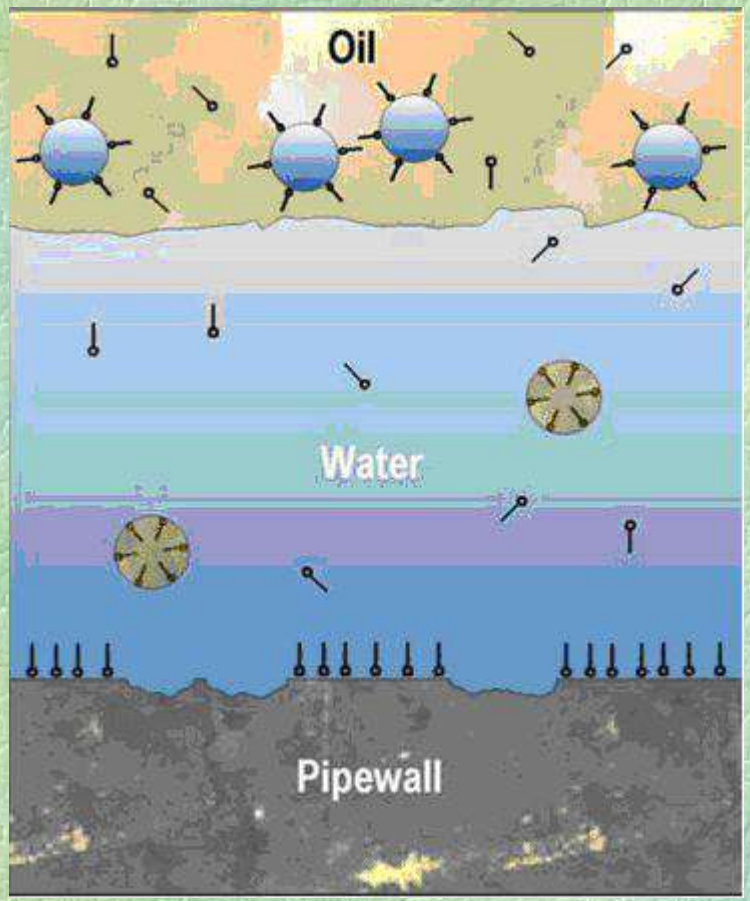




Filmképző inhibitor adszorpciója

- A hidrofil és hidrofób láncvégek „beállása a védendő fém felületén





Korrózióvédelem Inhibitorokkal-I

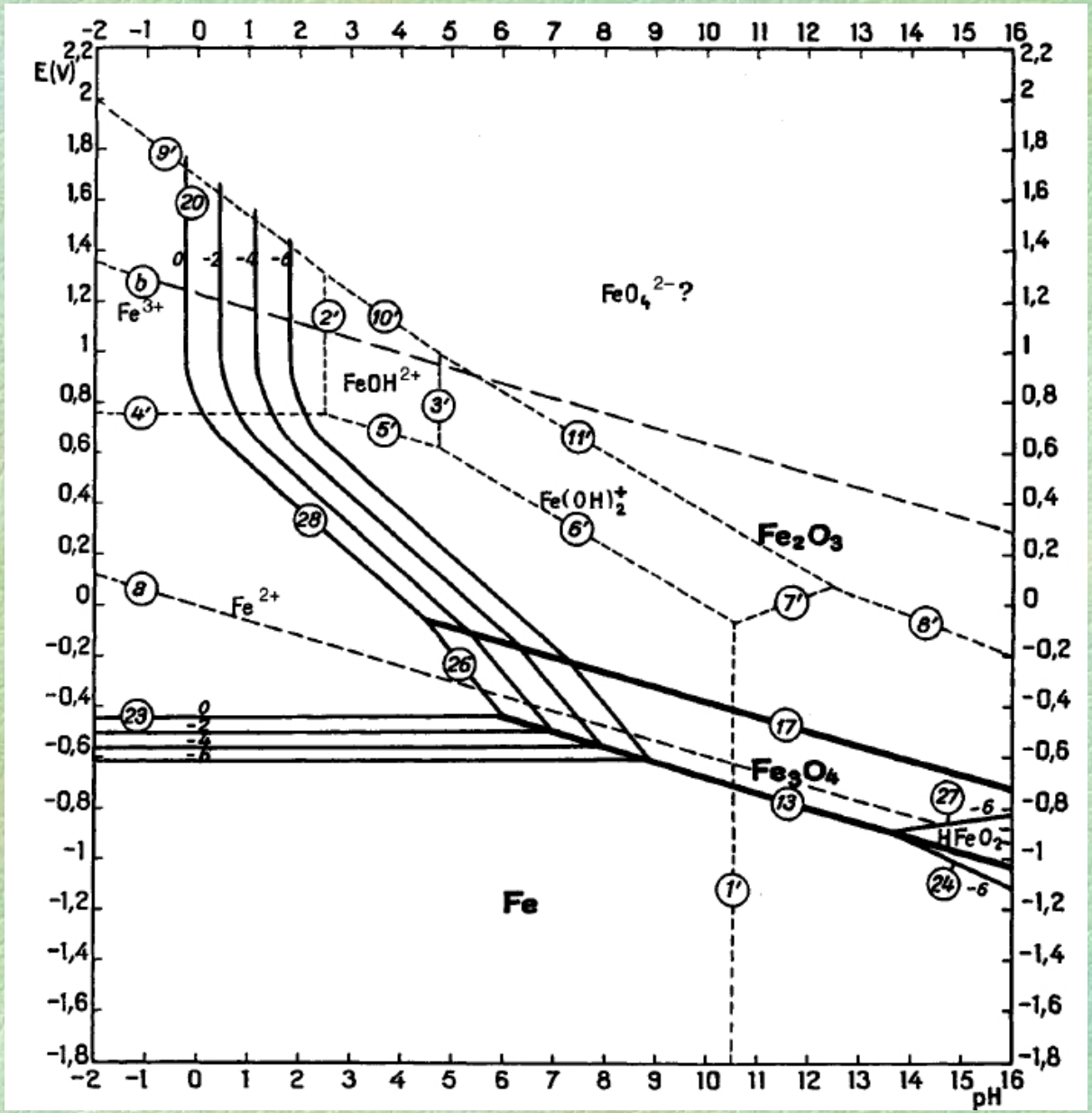
II. rész

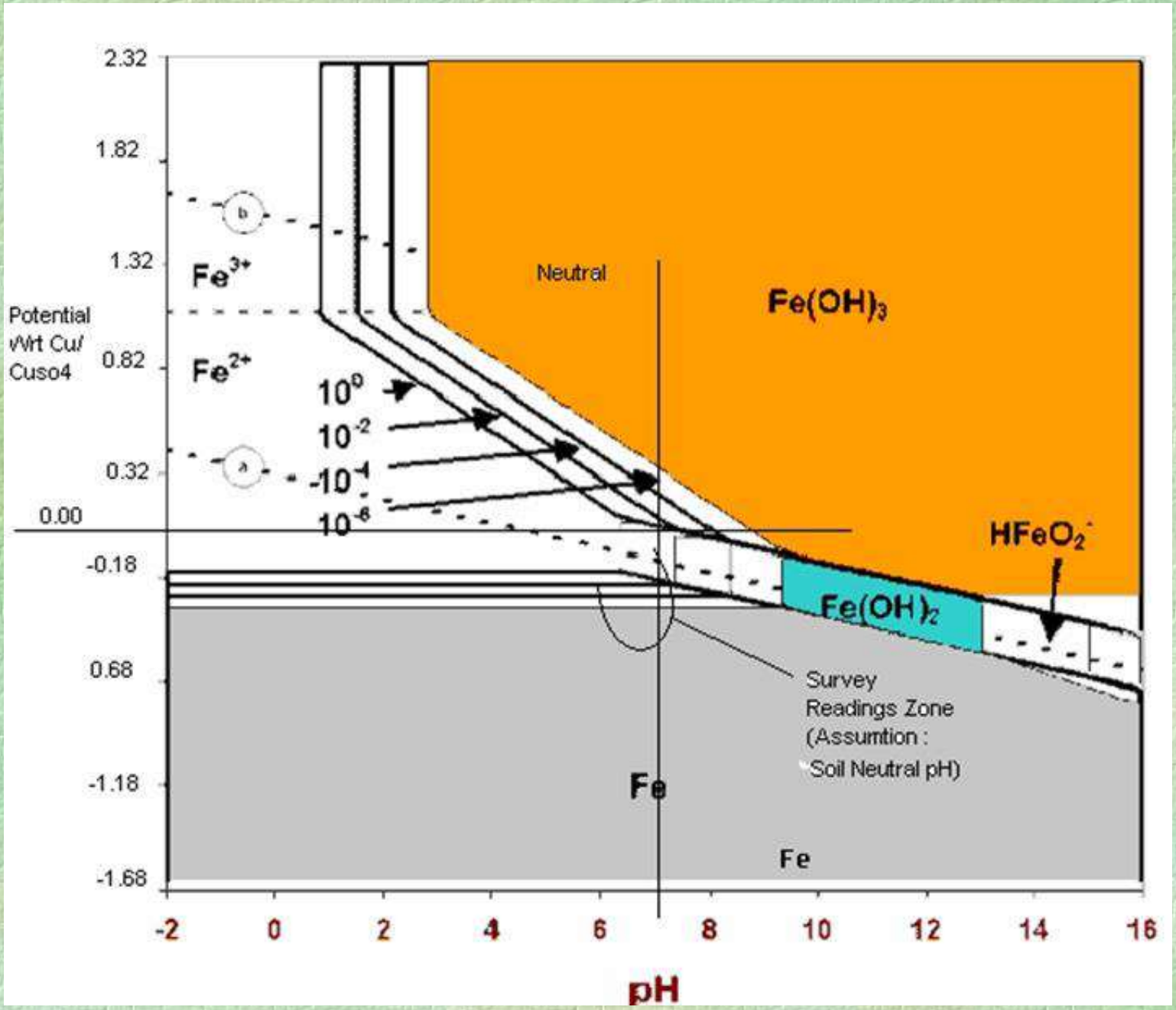
Egy kis elektrokémia és kémia



Amit nem árt ismerni:

- *Pourbaix diagram*
- *Evans diagram*
- *Polarizációs görbe*




2.32
1.82
1.32
0.82
0.32
0.00
-0.18
0.68
-1.18
-1.68
Potential
Wrt Cu/
Cuso4
b
a
Fe3+
Fe2+
Neutral
Fe(OH)3
10^0
10^-2
10^-4
10^-6
HFeO2-
Fe(OH)2
Survey
Readings Zone
(Assumtion :
Soil Neutral pH)
Fe
Fe
-2
0
2
4
6
8
10
12
14
16
pH

Reakciók (Pourbaix diagram szerkesztéséhez)

B. Reactions and Equilibrium Formulas

Two Dissolved Substances

Relative Stability of the Dissolved Substances

	$Z = +2$		
1.		$Fe^{2+} + 2H_2O = HFeO_2^- + 3H^+$	$\log \frac{(HFeO_2^-)}{(Fe^{2+})} = -31.58 + 3pH$
	$Z = +3$		
2.		$Fe^{3+} + H_2O = FeOH^{2+} + H^+$	$\log \frac{(FeOH^{2+})}{(Fe^{3+})} = -2.43 + pH$
3.		$FeOH^{2+} + H_2O = FeOH_2^+ + H^+$	$\log \frac{[Fe(OH)_2^+]}{(FeOH^{2+})} = -4.69 + pH$
	$+2 \rightarrow +3$		
4.		$Fe^{2+} = Fe^{3+} + e^-$	$E_0 = 0.771 + 0.0591 \log \frac{(Fe^{3+})}{(Fe^{2+})}$
5.		$Fe^{2+} + H_2O = FeOH^{2+} + H^+ + e^-$	$E0 = 0.914 - 0.0591pH + 0.0591 \log \frac{(FeOH^{2+})}{(Fe^{2+})}$
6.		$Fe^{2+} + 2H_2O = Fe(OH)_2^+ + 2H^+ + e^-$	$E_0 = 1.191 - 0.1182\,pH + 0.0591 \log \frac{[Fe(OH)_2^+]}{(Fe^{2+})}$
7.		$HFeO_2^- + H^+ = Fe(OH)_2^+ + e^-$	$E_0 = -0.675 + 0.0591\,pH + 0.0591 \log \frac{[Fe(OH)_2^+]}{(HFeO_2^-)}$
	$+2 \rightarrow +6$		
8.		$HFeO_2^- + 2H_2O = FeO_4^{2-} + 5H^+ + 4e^-$	$E_0 = 1.001 - 0.00738\,pH + 0.0148 \log \frac{(FeO_4^{2-})}{(HFeO_2^-)}$
	$+3 \rightarrow +6$		
9.		$Fe^{3+} + 4H_2O = FeO_4^{2-} + 8H^+ + 3e^-$	$E_0 = 1.700 - 0.1580\,pH + 0.0197 \log \frac{(FeO_4^{2-})}{(Fe^{3+})}$
10.		$FeOH^{2+} + 3H_2O = FeO_4^{2-} + 7H^+ + 3e^-$	$E_0 = 1.652 - 0.1379\,pH + 0.0197 \log \frac{(FeO_4^{2-})}{(FeOH^{2+})}$
11.		$Fe(OH)_2^+ + 2H_2O = FeO_4^{2-} + 6H^+ + 3e^-$	$E_0 = 1.559 - 0.1182\,pH + 0.0197 \log \frac{(FeO_4^{2-})}{[Fe(OH)_2^+]}$

Limits of the Domains of Relative Predominance of the Dissolved Substances

1′.	$Fe^{2+}/HFeO_2^-$	$pH = 10.53$
2′.	$Fe^{3+}/FeOH^{2+}$	$pH = 2.43$
3′.	$FeOH^{2+}/Fe(OH)_2^+$	$pH = 4.69$
4′.	Fe^{2+}/Fe^{3+}	$E_0 = 0.771$
5′.	$Fe^{2+}/FeOH^{2+}$	$E_0 = 0.914 - 0.0591\,pH$

Reakciók (Pourbaix diagram szerkesztéséhez)(folyt)

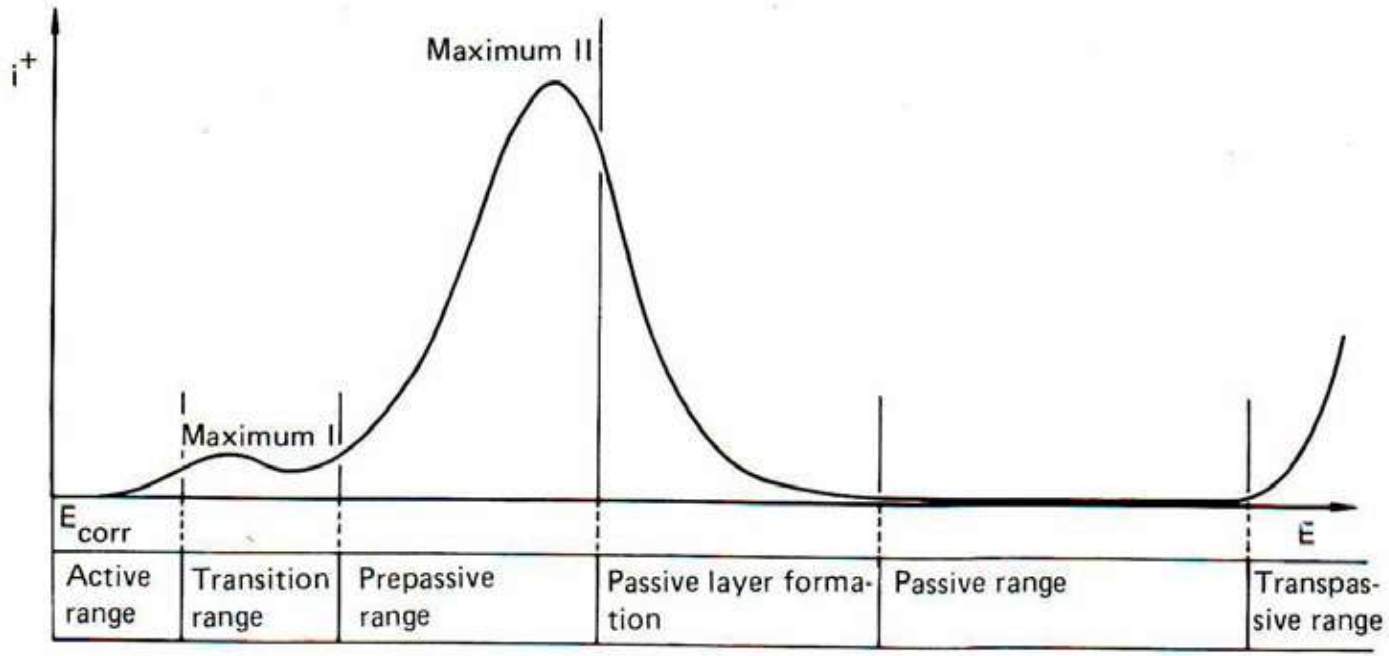
6′.	$Fe^{2+}/Fe(OH)_2^+$	$E_0 = 1.191 - 0.1182\,pH$
7′.	$HFeO_2^-/Fe(OH)_2^+$	$E_0 = -0.675 + 0.0591\,pH$
8′.	$HFeO_2^-/FeO_4^{2-}$	$E_0 = 1.001 - 0.0738\,pH$
9′.	Fe^{3+}/FeO_4^{2-}	$E_0 = 1.700 - 0.1580\,pH$
10′.	$FeOH^{2+}/FeO_4^{2-}$	$E_0 = 1.652 - 0.1379\,pH$
11′.	$FE(OH)_2^+/FeO_4^{2-}$	$E_0 = 1.599 - 0.1182\,pH$
	Two Solid Substances	
	Limits of the Domains of Relative Stability of Iron and Its Oxides and Hydroxides	
	$0 \rightarrow +2$	
12.	$Fe + H_2O = FeO + 2H^+ + 2e^-$	$E_0 = -0.047 - 0.0591\,pH$
	$0 \rightarrow +2.67$	
13.	$3Fe + 4H_2O = Fe_3O_4 + 8H^+ + 8e$	$E_0 = -0.085 - 0.0591\,pH$
	$0 \rightarrow +3$	
14.	$2Fe + 3H_2O = Fe_2O_3 + 6H^+ + 6e^-$	(a) $E_0 = -0.051 - 0.0591\,pH$ (b) $= -0.059 - 0.0591\,pH$
	$+2 \rightarrow 2.67$	
15.	$3FeO + H_2O = Fe_3O_4 + 2H^+ + 2e^-$	$E_0 = -0.197 - 0.0591\,pH$
	$+2 \rightarrow +3$	
16.	$2FeO + H_2O = Fe_2O_3 + 2H^+ + 2e^-$	(a) $E_0 = -0.057 - 0.0591\,pH$ (b) $= 0.271 - 0.0591\,pH$
	$+2.67 \rightarrow +3$	
17.	$2Fe_3O_4 + H_2O = 3Fe_2O_3 + 2H^+ + 2e^-$	(a) $E_0 = 0.221 - 0.0591\,pH$ (b) $= 1.208 - 0.0591\,pH$
	One Solid Substance and One Dissolved Substance	
	Solubility of Iron and Its Oxides and Hydroxides	
	$Z = +2$	
18.	$Fe^{2+} + H_2O = FeO + 2H^+$	$\log (Fe^{2+}) = 13.29 - 2\,pH$
19.	$FeO + H_2O = HFeO_2^- + H^+$	$\log (HFeO_2^-) = -18.30 + pH$
	$Z = +3$	
20.	$2Fe^{3+} 3H_2O = Fe_2O_3 + 6H^+$	(a) $\log (Fe^{3+}) = -0.72 - 3\,pH$ (b) $= 4.84 - 3\,pH$

Reakciók (Pourbaix diagram szerkesztéséhez)(folyt)

21.	$2\,FeOH^{2+} + H_2O = Fe_2O_3 + 4\,H^+$	(a) $\log (FeOH^{2+}) = -3.15 - 2\,pH$ (b) $= 2.41 - 2\,pH$
22.	$2\,Fe\,(OH)_2^+ = Fe_2O_3 + H_2O + 2H^+$	(a) $\log [Fe\,(OH)]_2^+ = -7.84 - pH$ (b) $= -2.28 - pH$
	$0 \rightarrow +2$	
23.	$Fe = Fe^{2+} + 2e^-$	$E_0 = -0.440 + 0.0295 \log (Fe^{2+})$
24.	$Fe + 2\,H_2O = HFeO_2^- + 3\,H^+ + 2e^-$	$E_0 = 0.493 - 0.0886\,pH + 0.0295 \log (HFeO_2^-)$
	$0 \rightarrow +3$	
25.	$Fe = Fe^{3+} + 3e^-$	$E_0 = -0.037 + 0.0197 \log (Fe^{3+})$
	$+2 \rightarrow +2.67$	
26.	$3\,Fe^{2+} + 4\,H_2O = Fe_3O_4 + 8\,H^+ + 2e^-$	$E_0 = 0.980 - 0.2364\,pH - 0.0886 \log (Fe^{2+})$
27.	$3\,HFeO_2^- + H^+ = Fe_3O_4 + 2\,H_2O + 2e^-$	$E_0 = -1.819 + 0.0295\,pH - 0.0886 \log (HFeO_2^-)$
	$+2 \rightarrow +3$	
28.	$2\,Fe^{2+} + 3\,H_2O = Fe_2O_3 + 6\,H^+ + 2e^-$	(a) $E_0 = 0.728 - 0.1773\,pH - 0.0591 \log (Fe^{2+})$ (b) $= 1.057 - 0.1773\,pH - 0.0591 \log (Fe^{2+})$
29.	$2\,HFeO_2^- = Fe_2O_3 + H_2O + 2e^-$	(a) $E_0 = -1.139 - 0.0591 \log (HFeO_2^-)$ (b) $= -0.810 - 0.0591 \log (HFeO_2^-)$

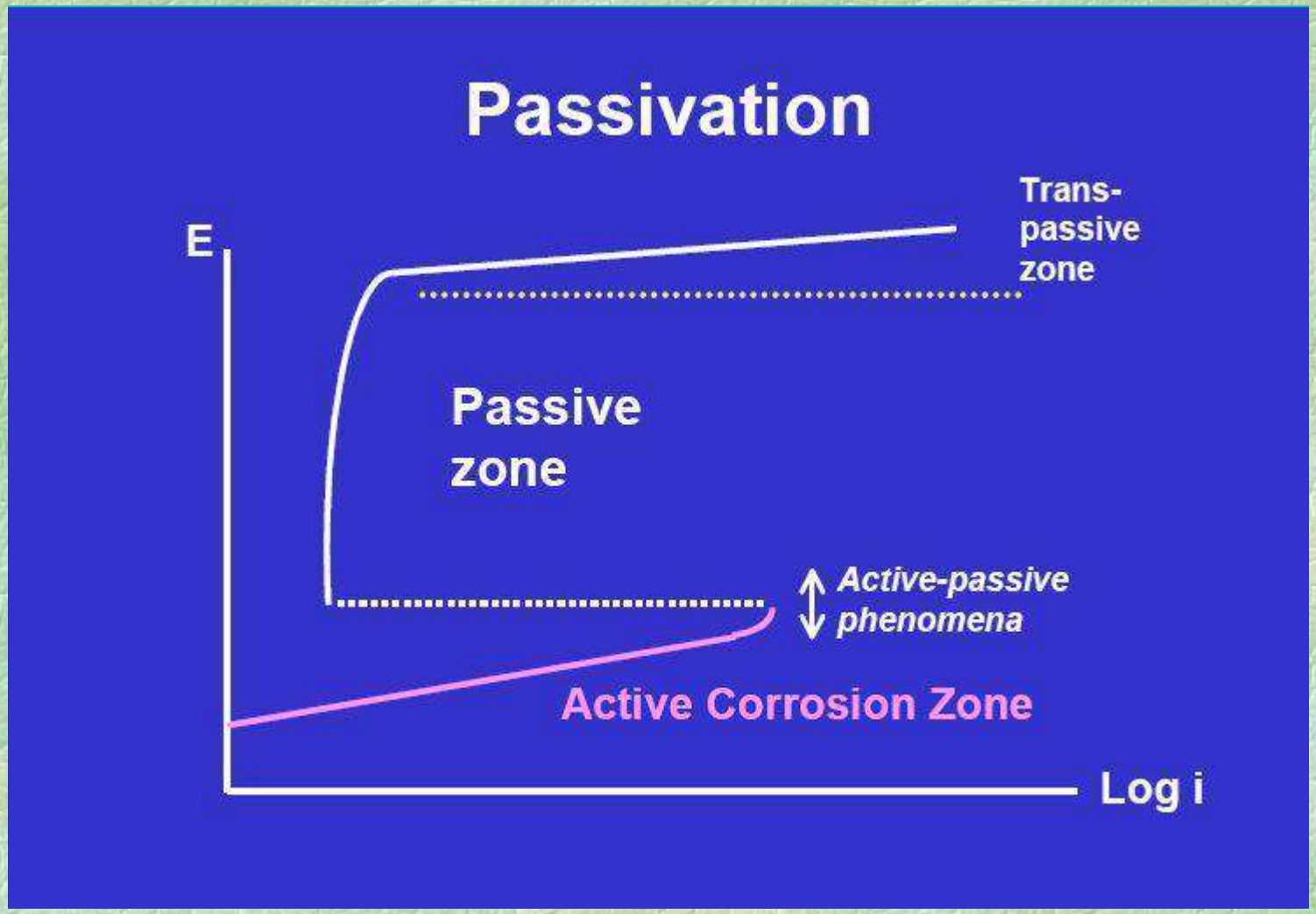
- **Lehetséges kémiai reakciók pH és potenciál függése**
  - **Az elektrokémia, termodinamikai paraméterek előre jelezhetik a korróziós folyamatot**

A vas általános polarizációs görbéje

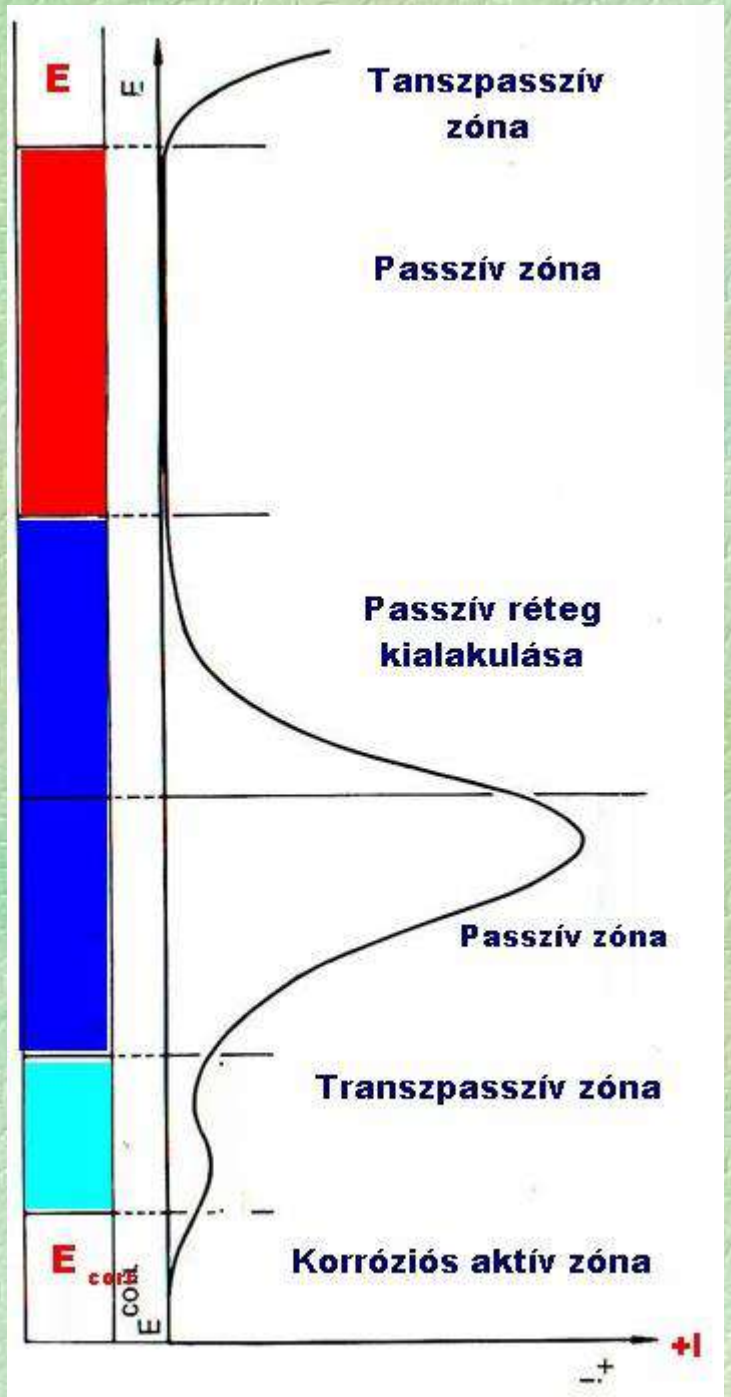


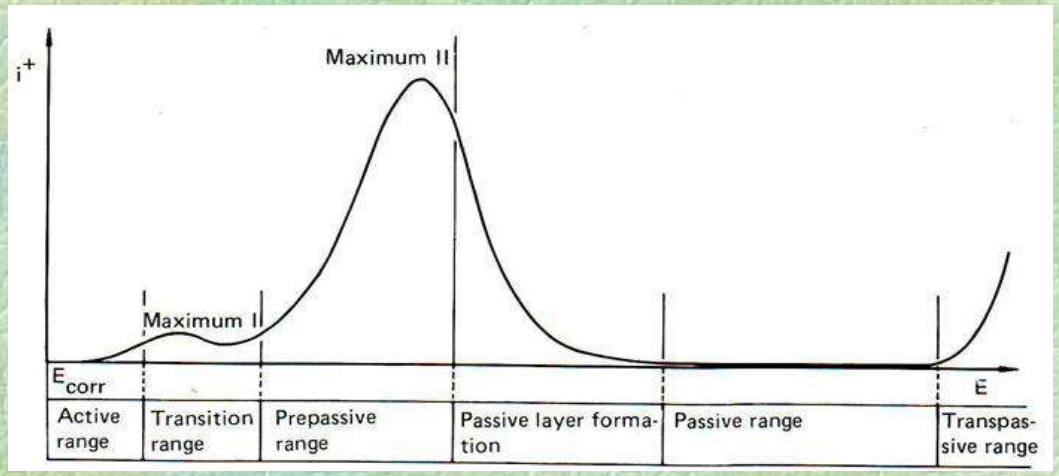
Schematic polarization curve of anodic iron dissolution in acid solutions between the active and the passive states of the metal.

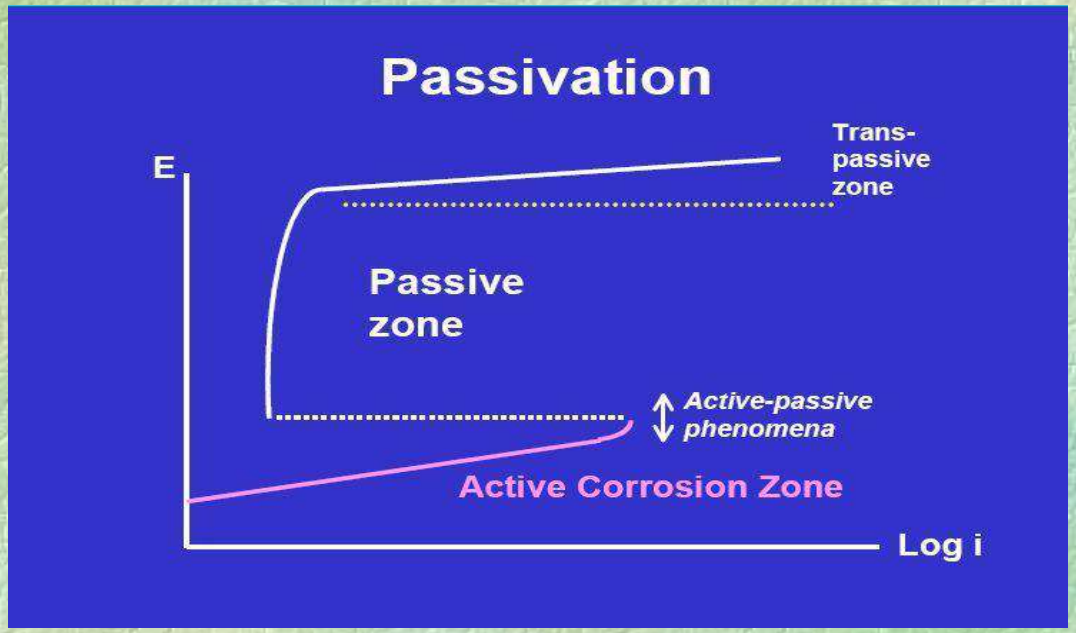
E-i „EVANS" diagram



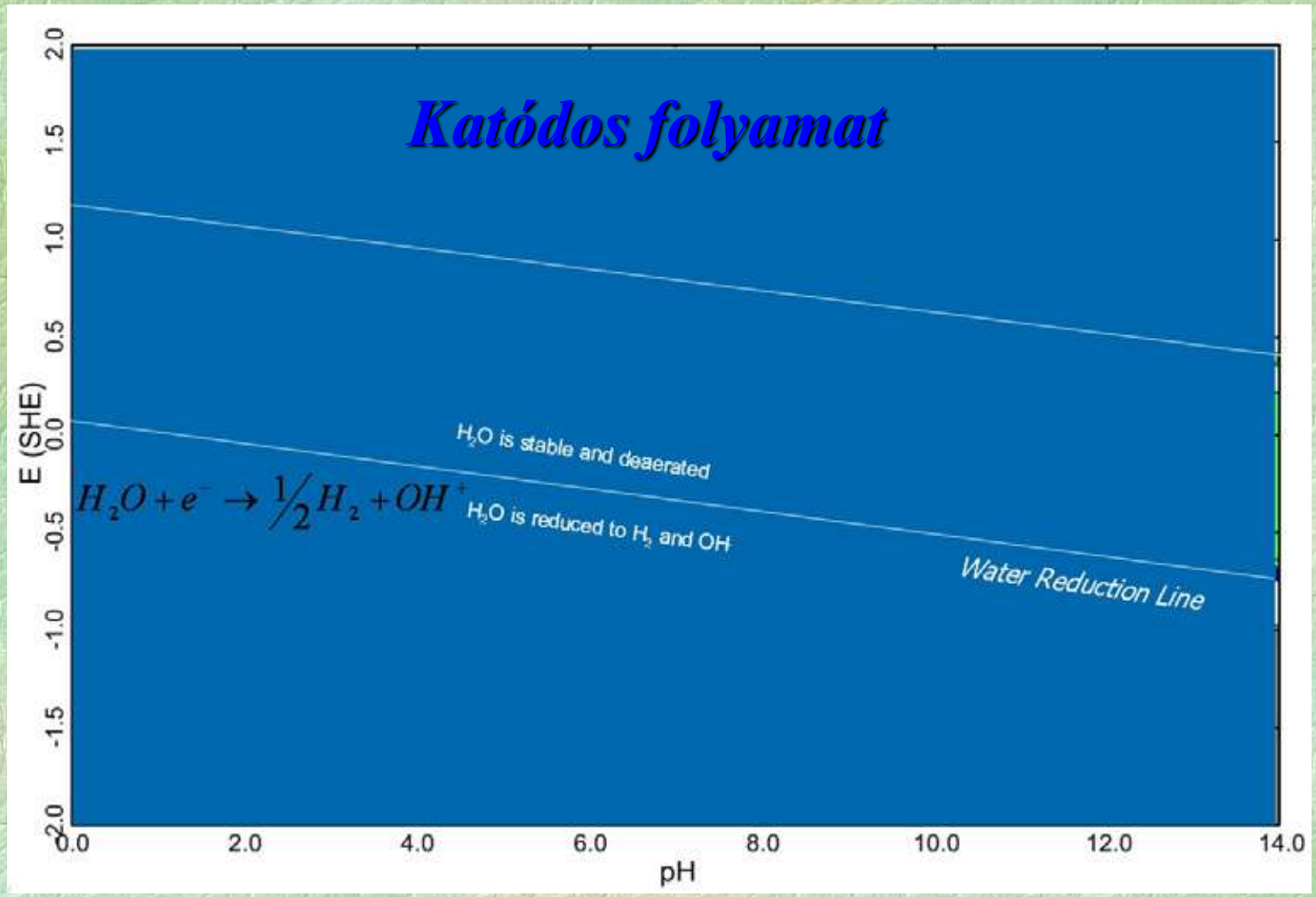
Polarizációs görbe vs. Evans diagram



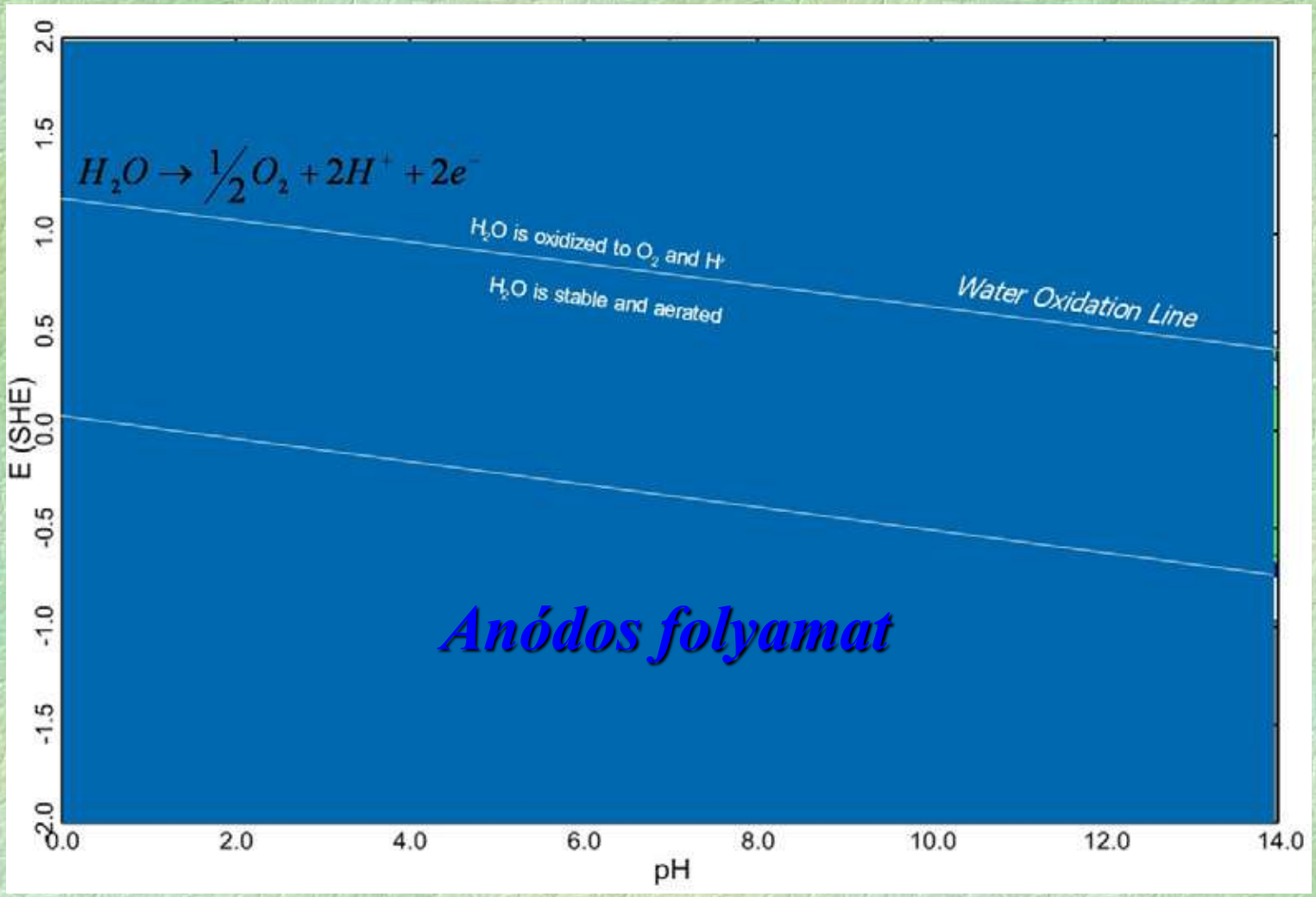




Víz Pourbaix diagram „redukció”

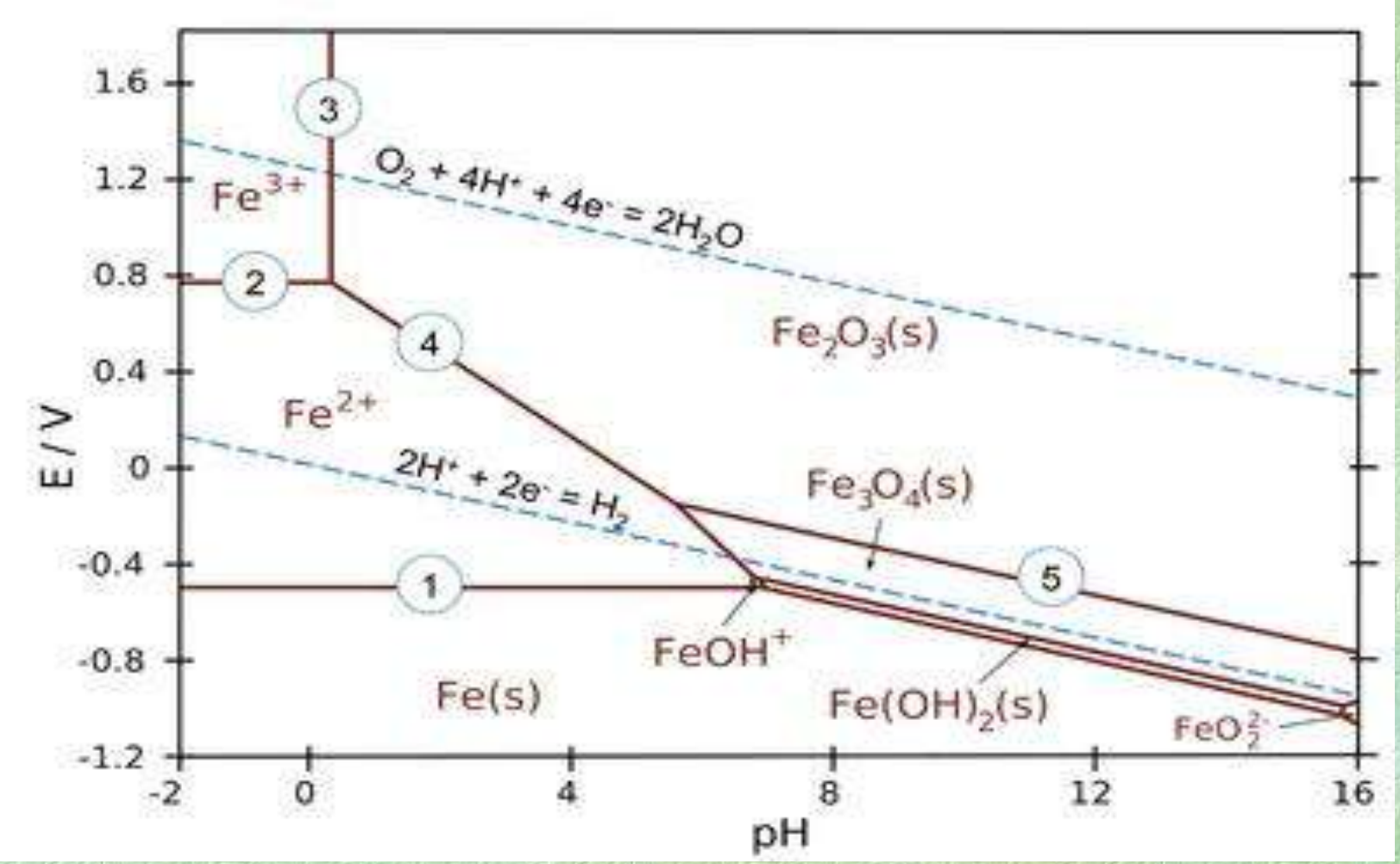


Víz Pourbaix diagram „oxidáció”

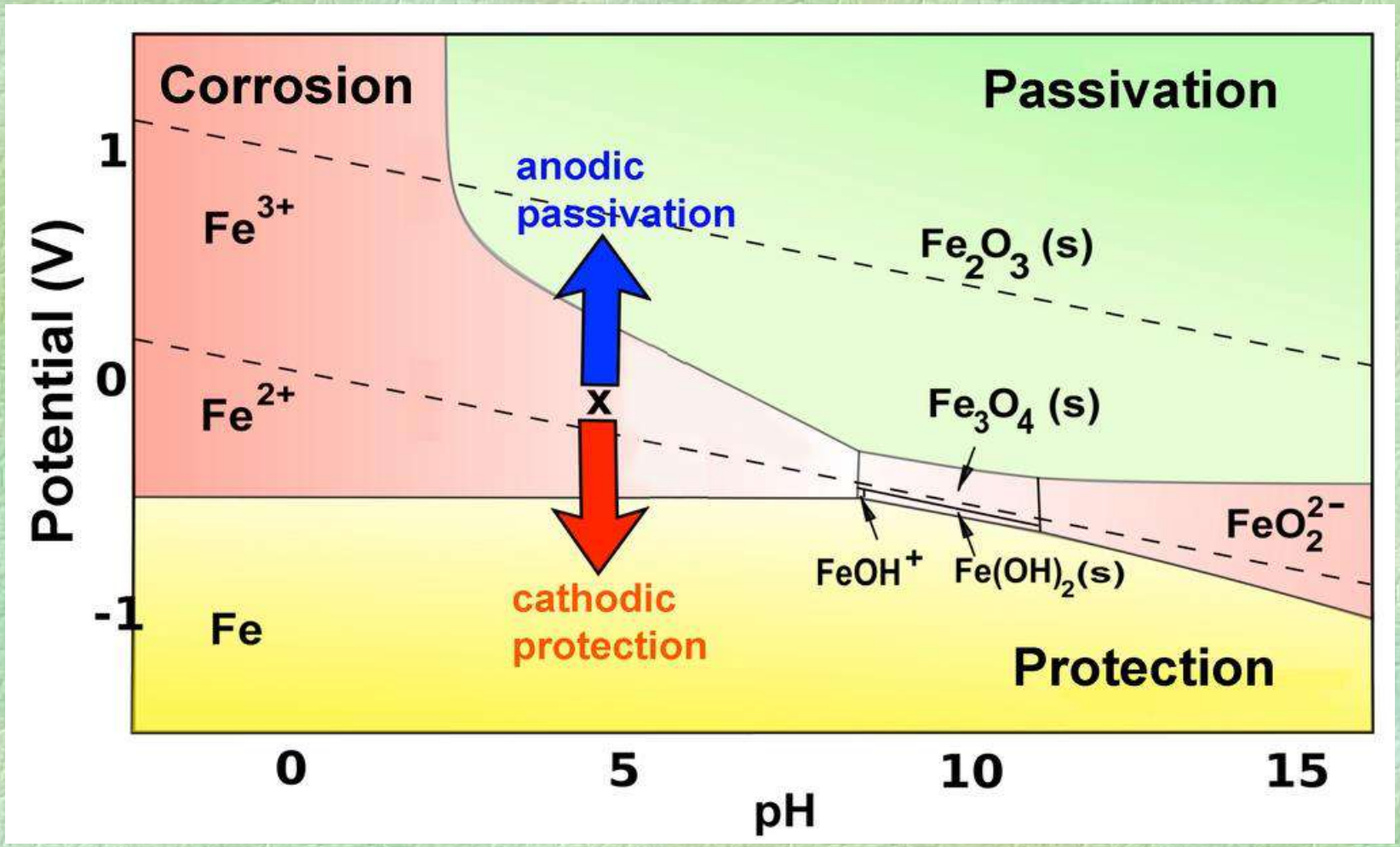


Anódos folyamat

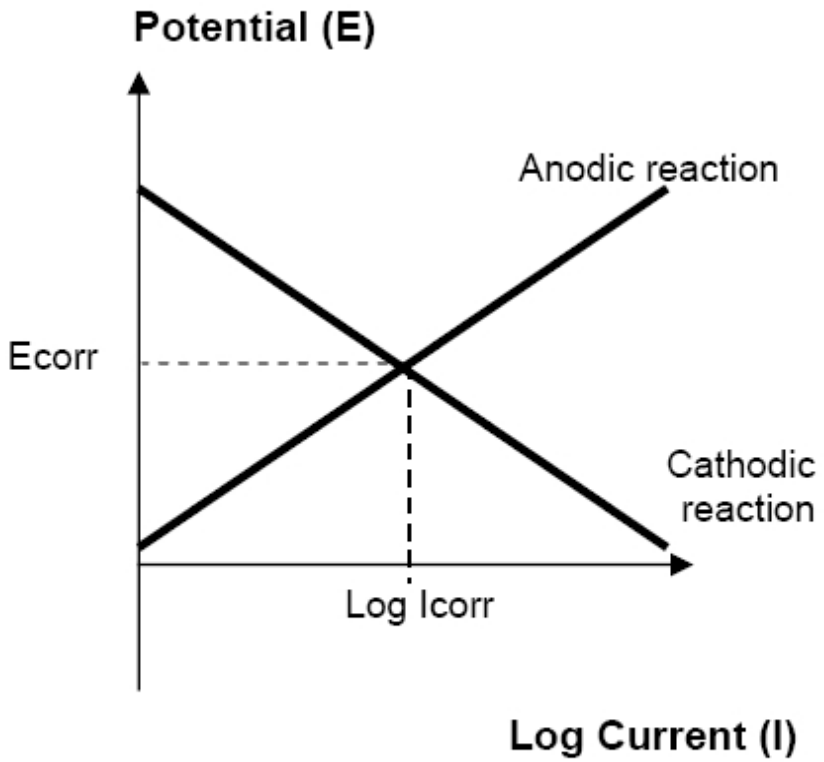
Vas Pourbaix diagramja vizes közegben



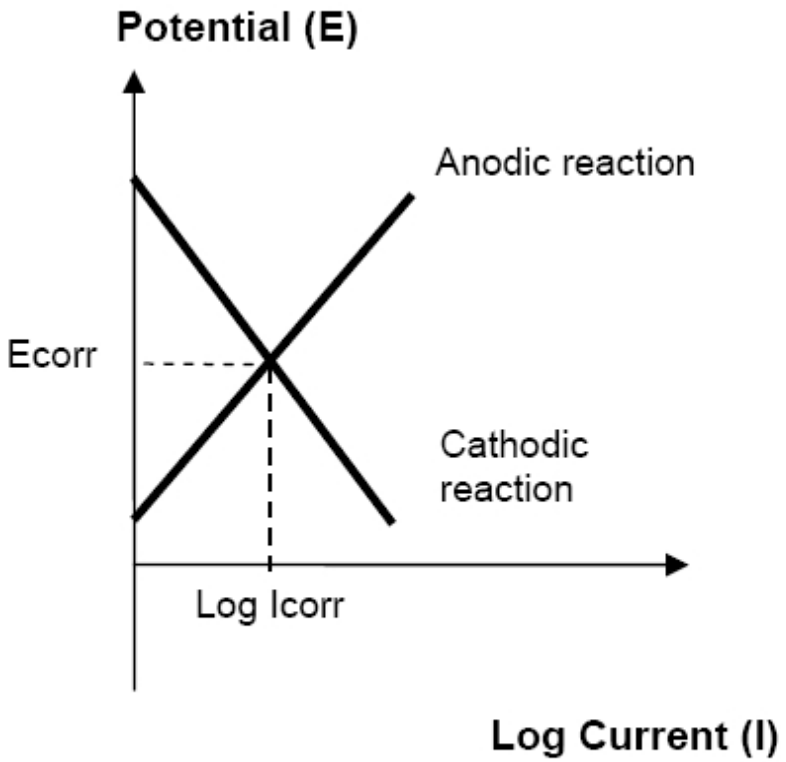
Vas Pourbaix diagramja vizes közegben, passziválás és katódos védelem tükrében



Inhibitor hatása a polarizációs görbére

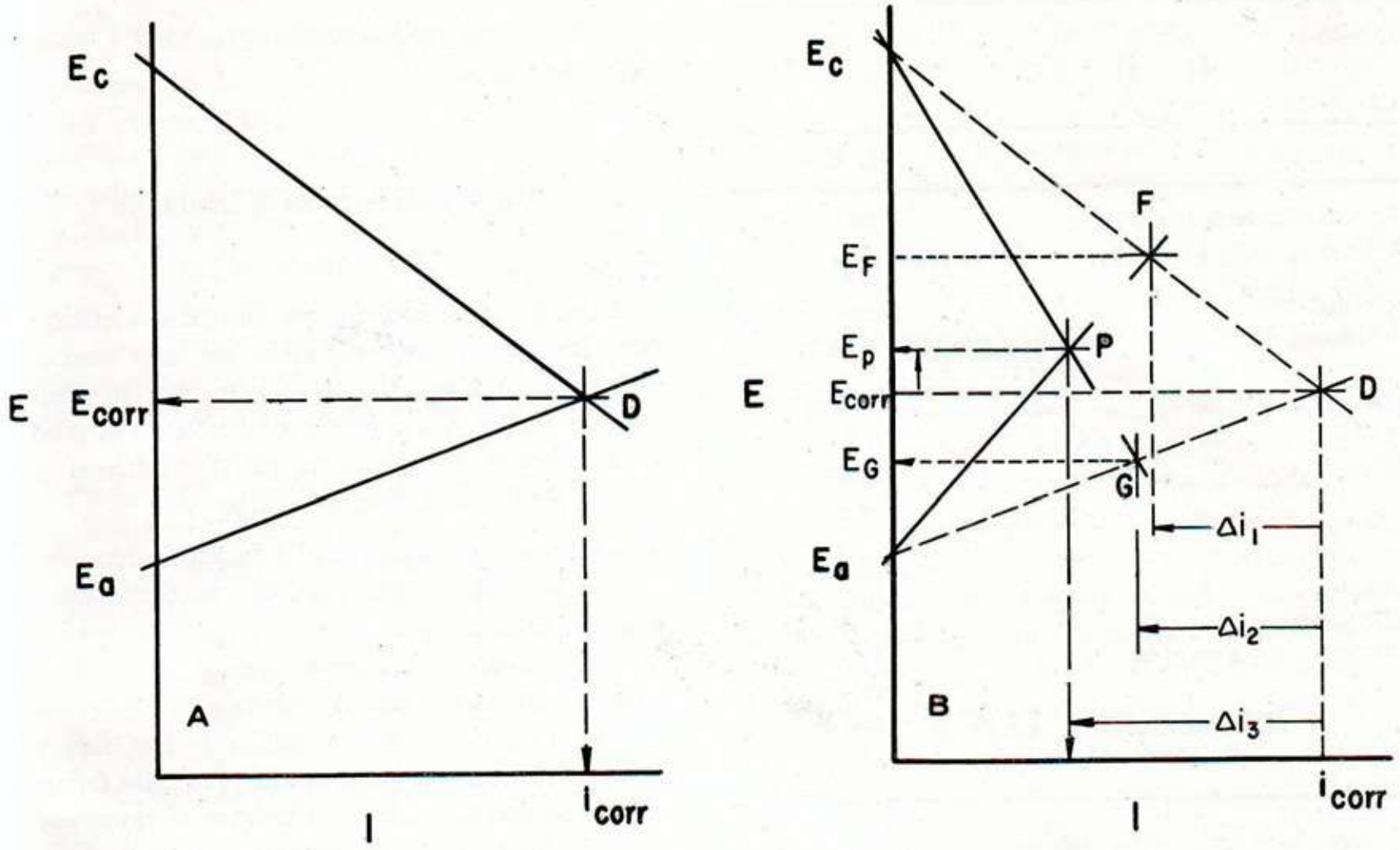


(a) Before inhibitor application

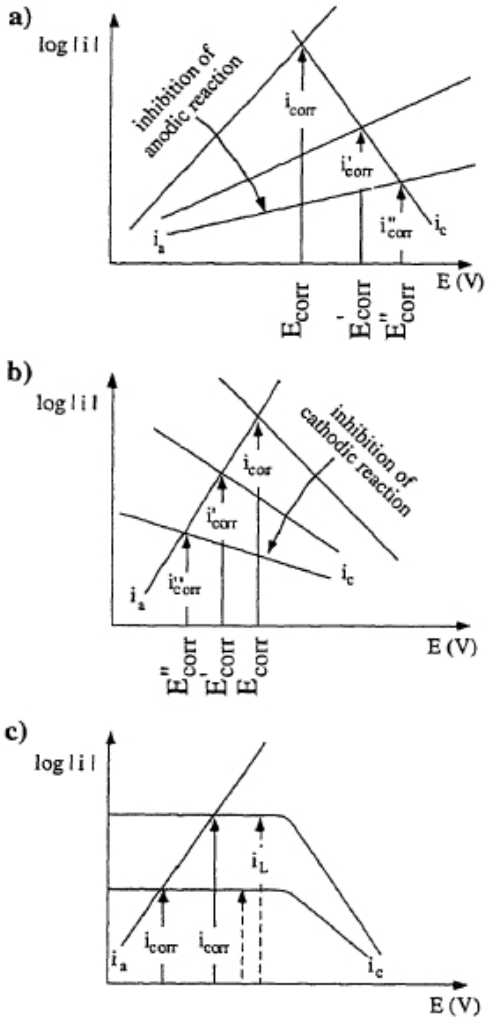


(b) After inhibitor application

A korróziós áram csökkenése inhibitorozás hatására



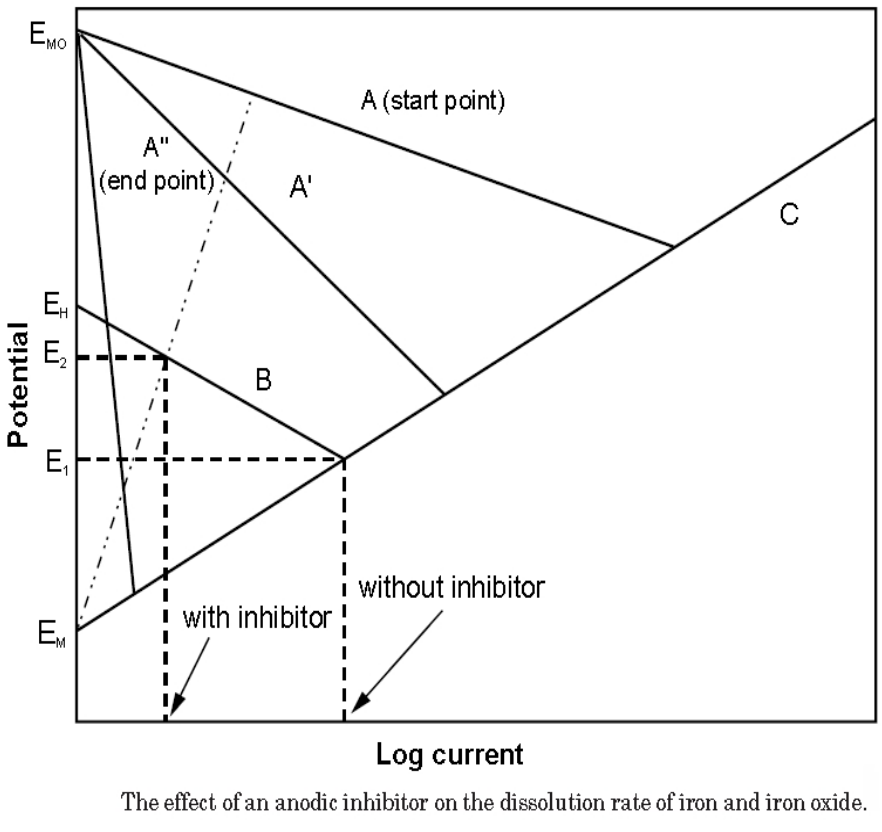
– Anodic and cathodic polarization curves. A–Illustrates significant terms for freely corroding metal. B–Schematic diagram showing relation of metallic corrosion, protection and inhibition.



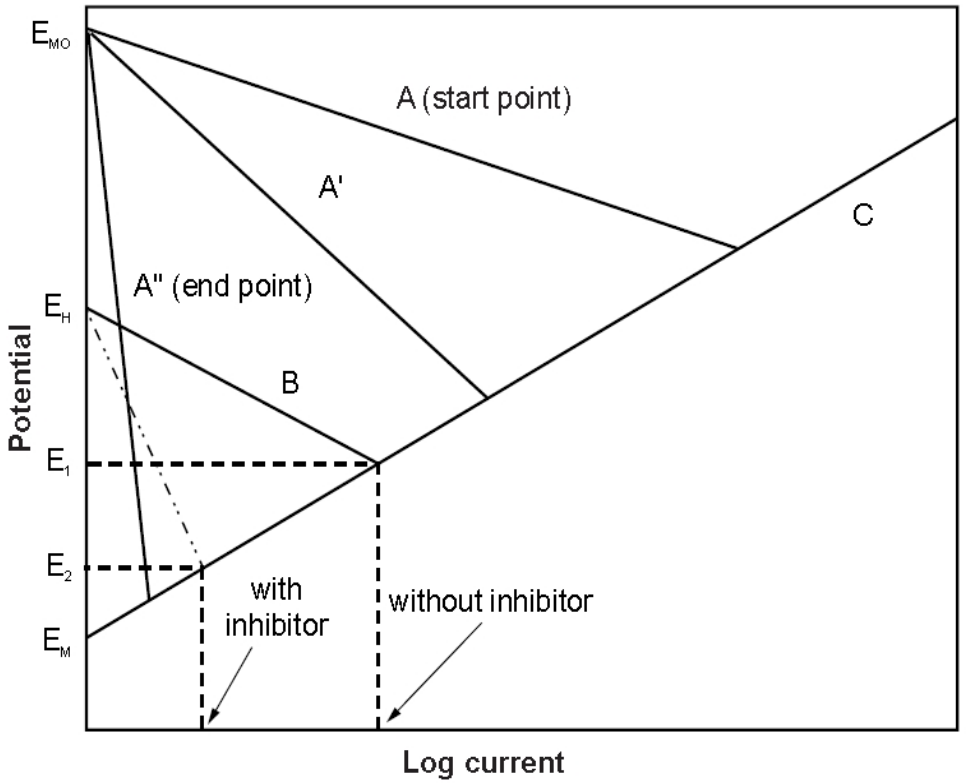
Simplified log | i | vs E diagrams to illustrate the role of rate control and influence of inhibitors.
a) reduction of corrosion rate by decrease of anodic reaction rate and shift of E_{corr} to higher values;
b) reduction of corrosion rate by decrease of cathodic reaction rate and shift of E_{corr} to lower values;
c) reduction of corrosion rate by limiting transport, given by i_L, of reductant (e.g., dissolved oxygen) to the surface ($i_{corr} \cong i_L$).

- ***a) anódos folyamat gátlása***
- ***b) katódos folyamat gátlása***
- ***c) transzport folyamatok fékezése pl. oldott oxigén csökkentése***
- ***Mindhárom lépés a korrózió sebességét csökkenti***

Anódos vs. katódos inhibitorok Evans diagramja az inhibitor működése



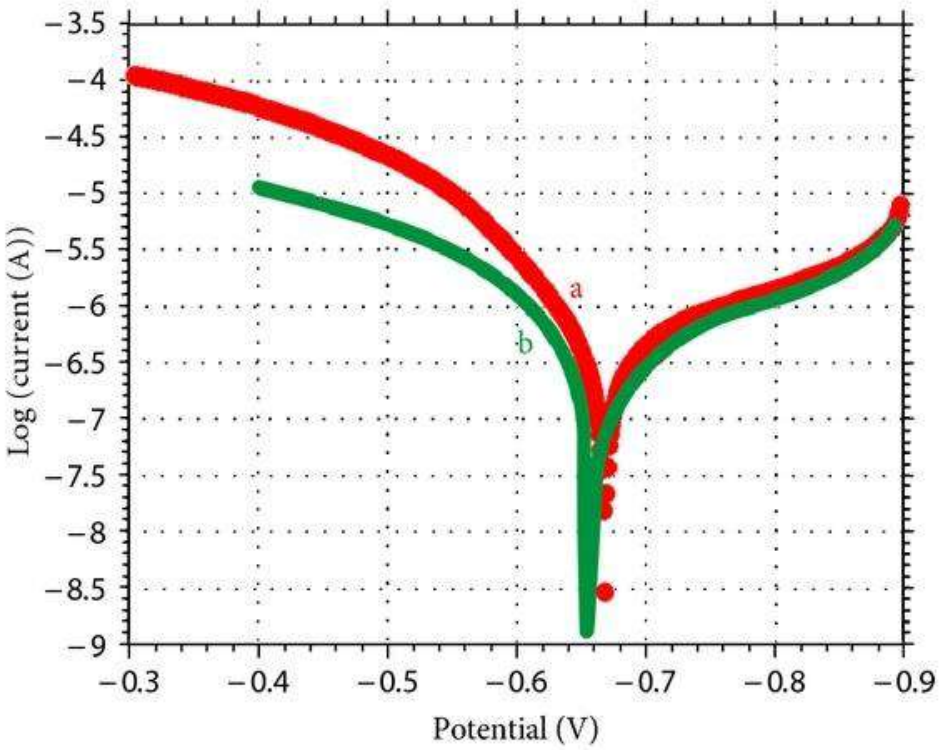
The effect of an anodic inhibitor on the dissolution rate of iron and iron oxide.



The effect of a cathodic inhibitor on the dissolution rate of iron and iron oxide.

Laboratóriumi mérés:
Inhibitor hatása a polarizációs görbére

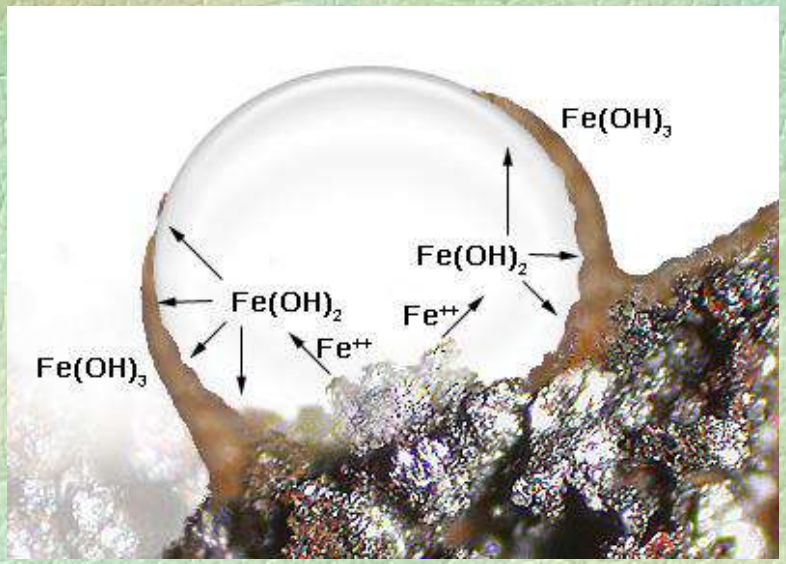
- ***Inhibitor hatékonyság vizsgálata polarizációs méréssel***

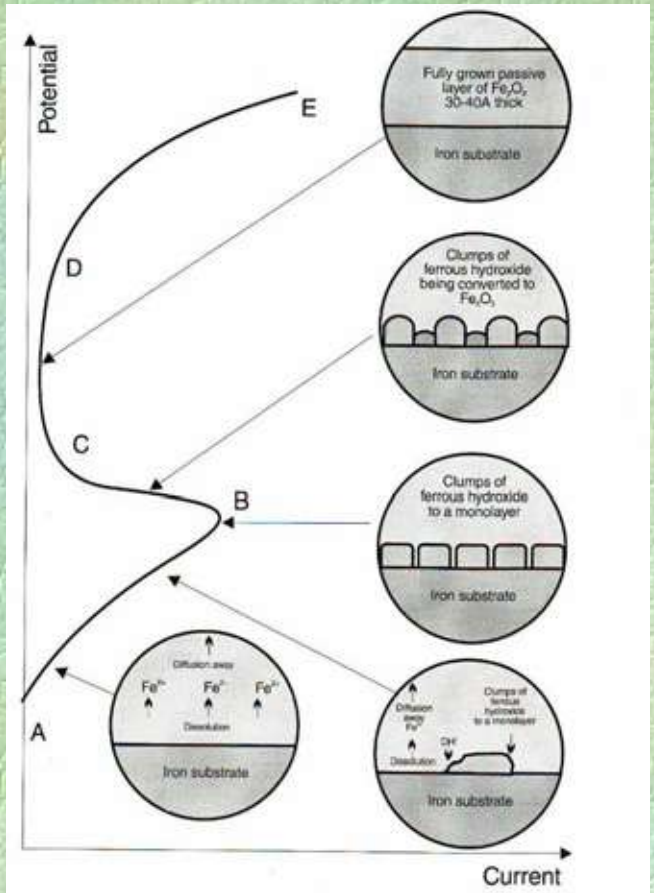


Polarization curves of carbon steel immersed in test solutions (pH = 8). (a) Well water (blank). (b) Well water + DL-phenylalanine (150 ppm) + Zn^{2+} (5 ppm).

Passzív réteg kialakulása illetve lebomlása

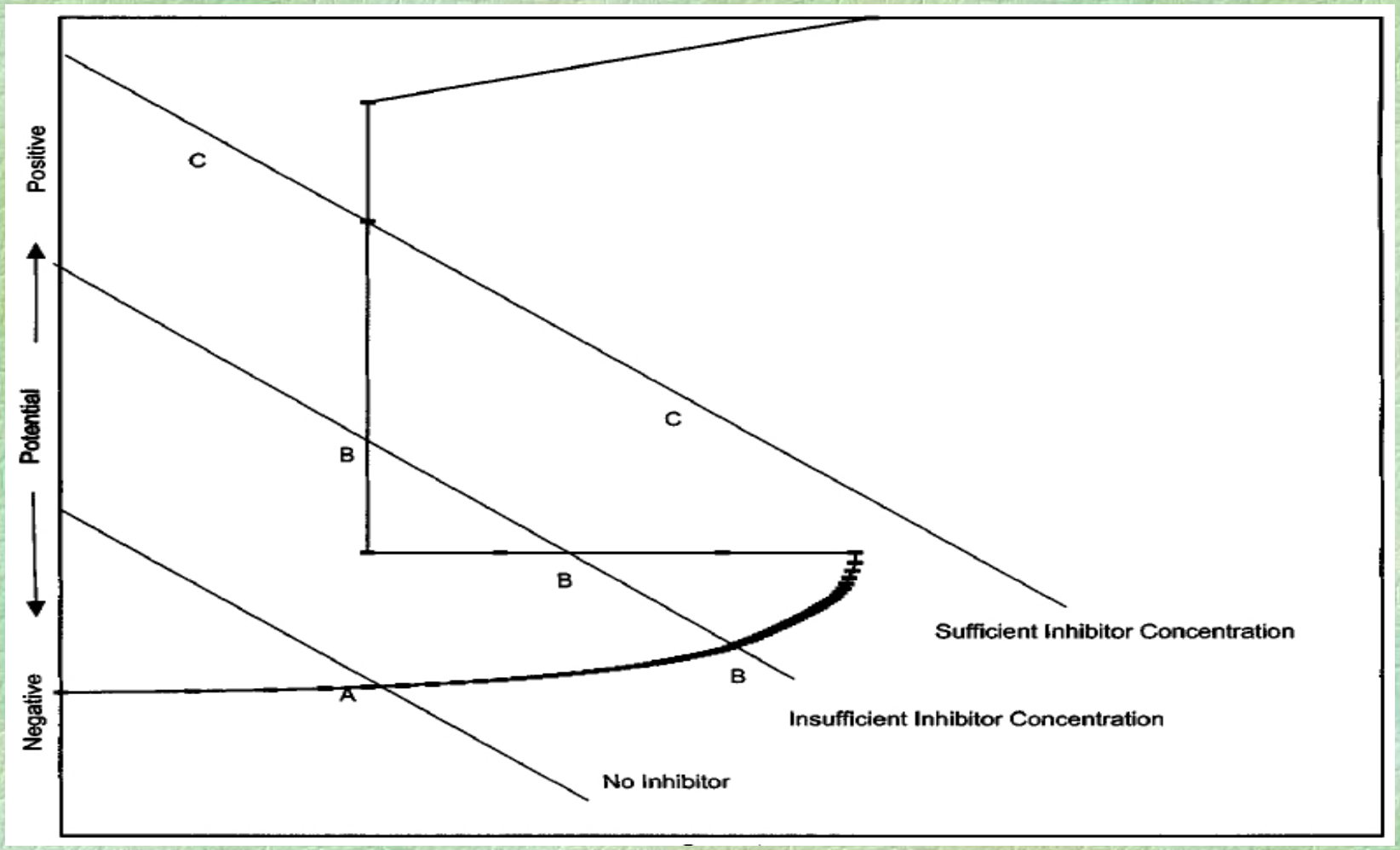
- Evans diagram
  - Jellemző rétegek
    - Fe_2O_3 kialakulása
    - $Fe(OH)_2$ átalakulása



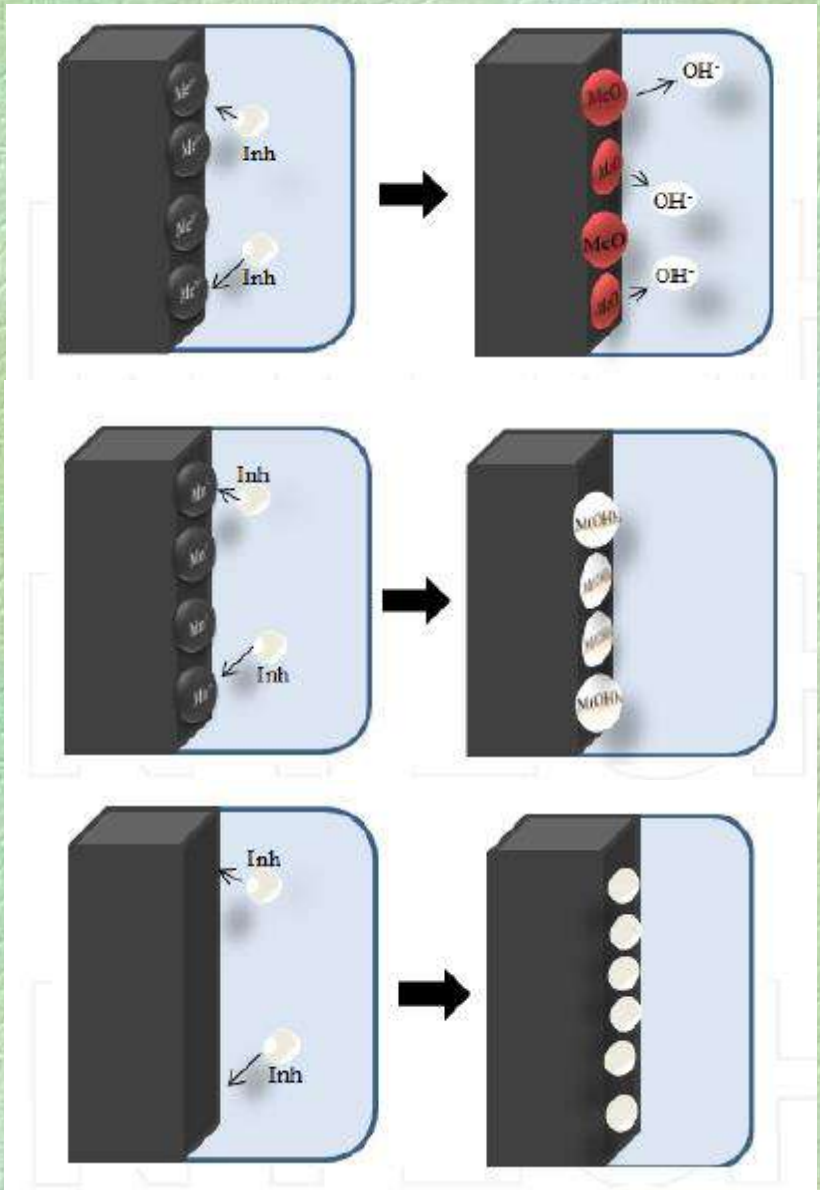


Scheme of the Genshaw-Brusic-Bockris model of formation of passive layers on iron.

Passzivátorok, anódos inhibitorok kritikus inhibitor koncentrációja



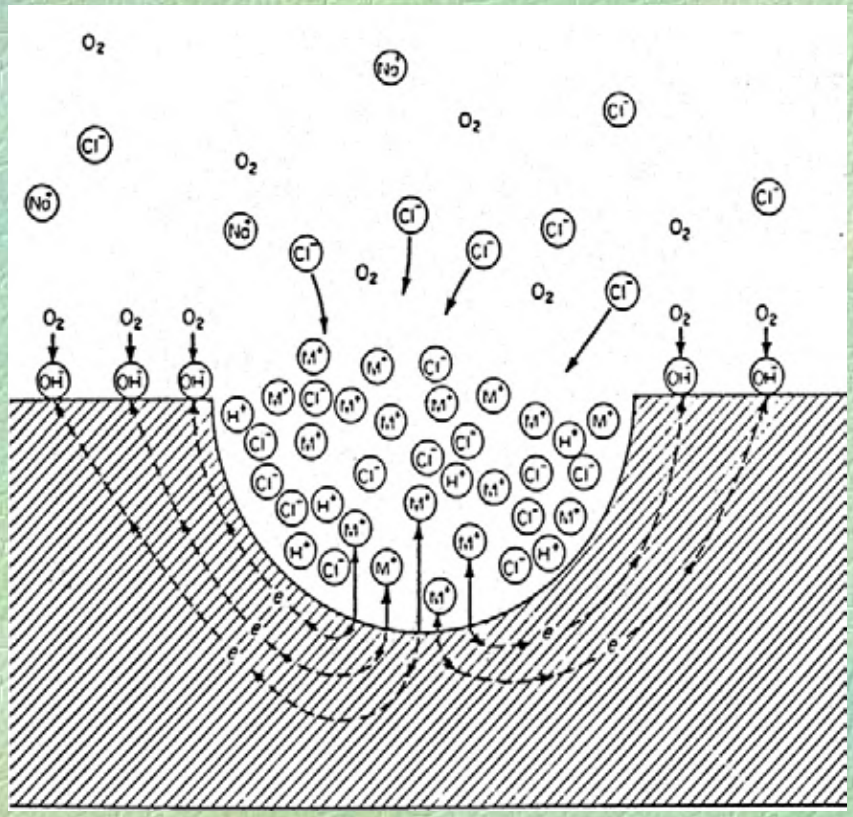
Különböző hatásmechanizmusú inhibitorok

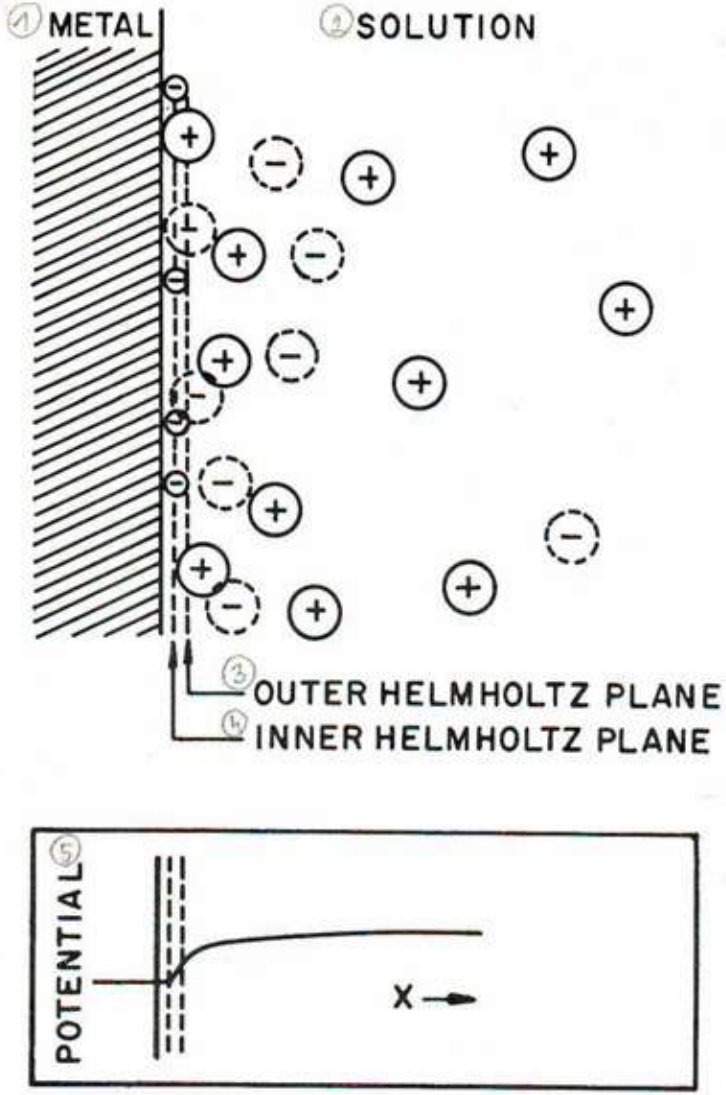


- ***Anódos inhibitorok működési mechanizmusa***
- ***Katódos inhibitorok működési mechanizmusa***
- ***Filmképző inhibitorok működési mechanizmusa***

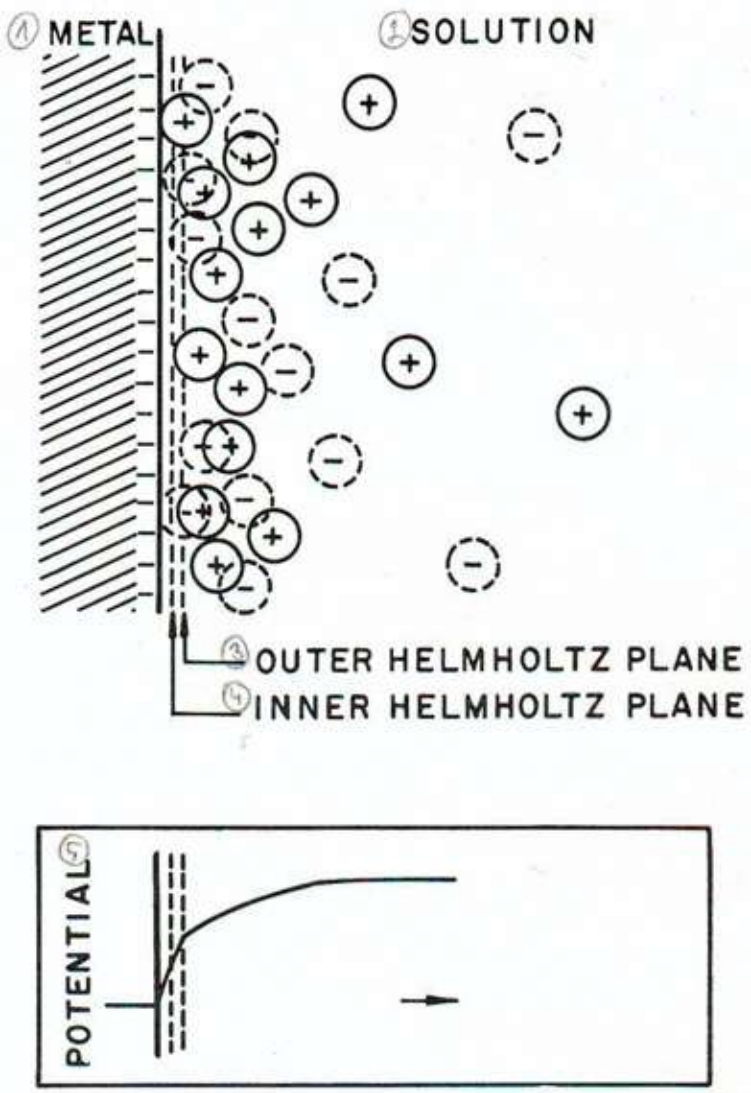
Inhibitor mérgek

- *Filmképző inhibitorok*
  - *Oldott oxigén*
  - *Klorid*
- *Megoldás*
  - *Oxigén scavenger*
  - *Savas inhibitor*





– Schematic representation of the electrical double layer at the potential of the electro-capillary maximum. Small circles represent adsorbed ions. Dotted circles represent "ghosts", ions which would be present if the double layer were not there. (D. Grahame)

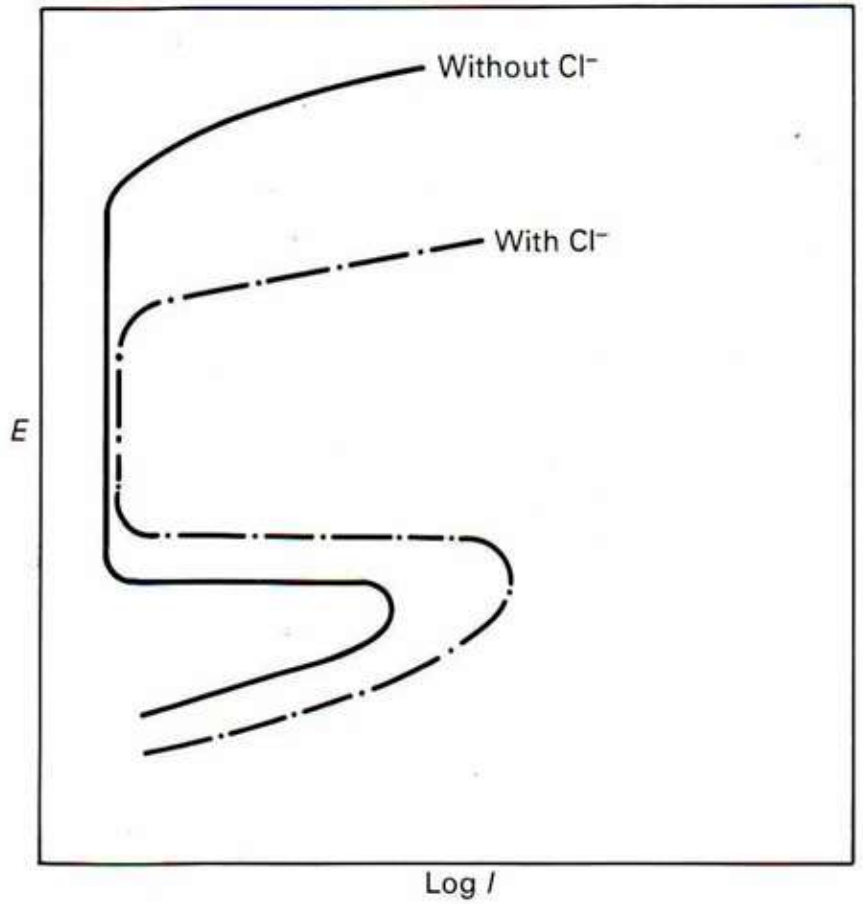


– Schematic representation of the electrical double layer with negative polarization. Note absence of adsorbed ions and increased concentration of positive ions as compared with Figure 1. The concentration of "ghosts" is also increased. (D. Grahame)

KETTŐSRÉTEGEK

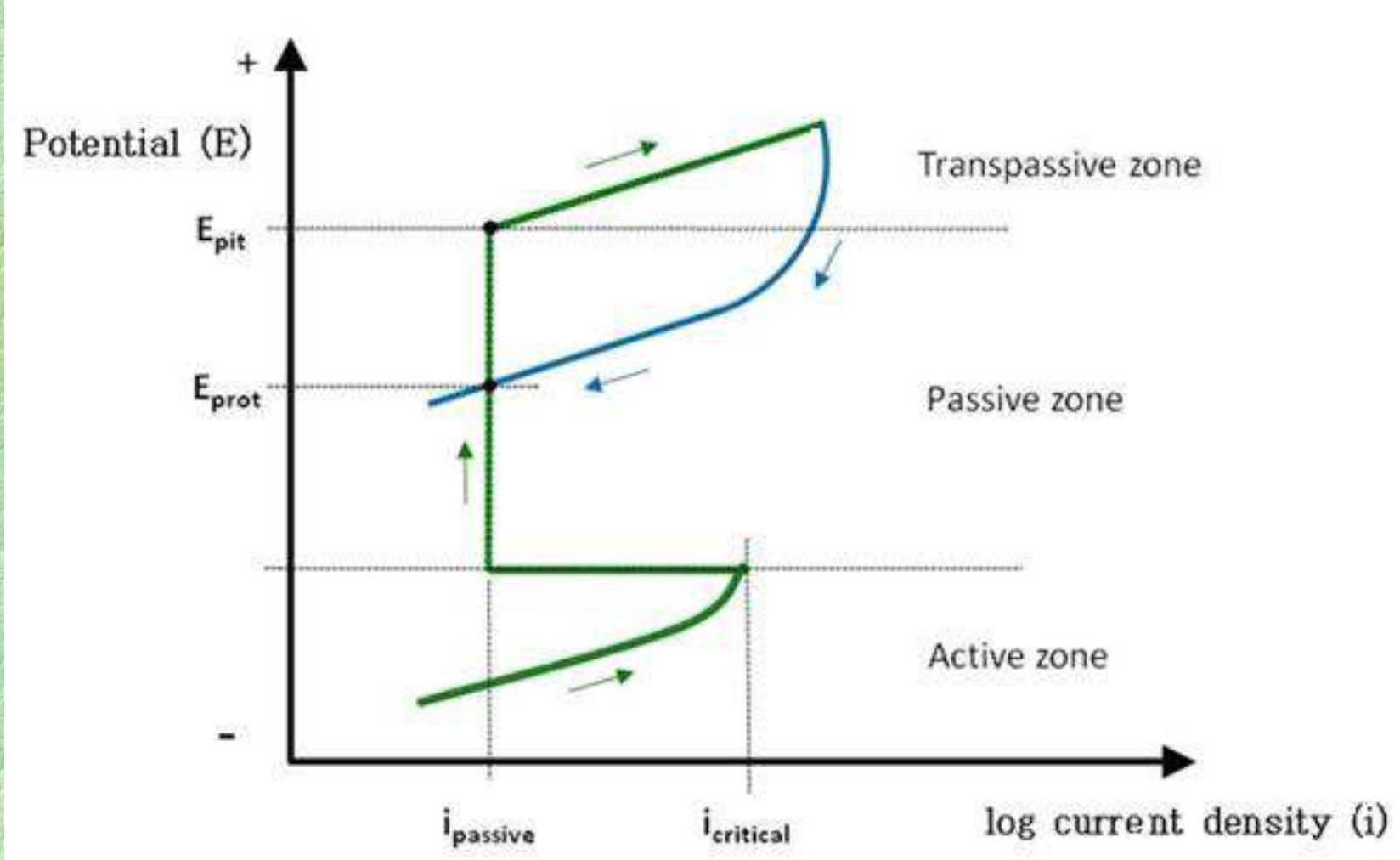
Klorid ion hatása a polarizációra

- *A polarizációs görbe „beszűkül”*
- *A korróziós áram megnő*
- *A lyukkorrózió lehetősége megemelkedik*

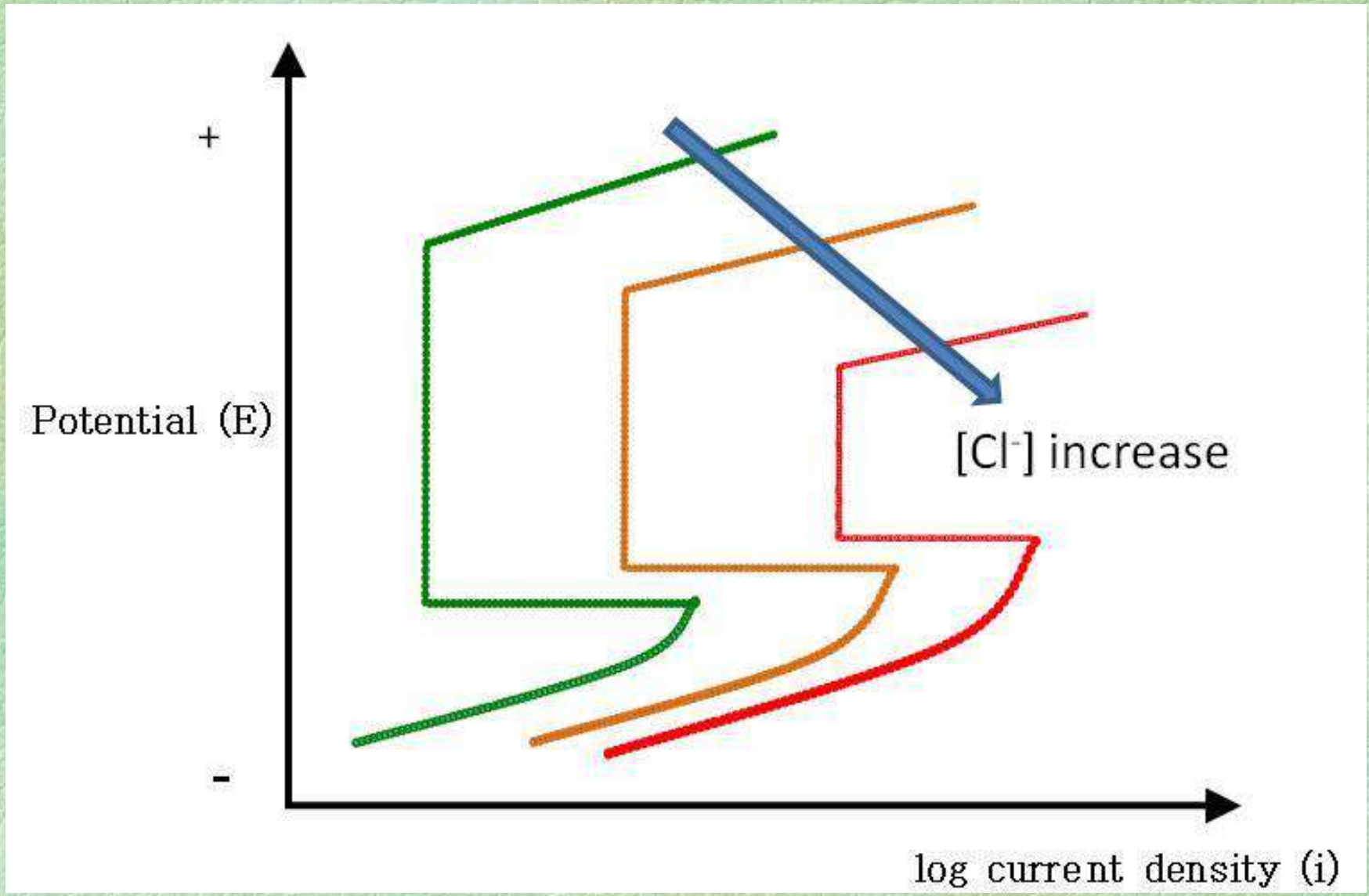


Schematic polarization curve illustrating conditions under which pitting may or may not occur

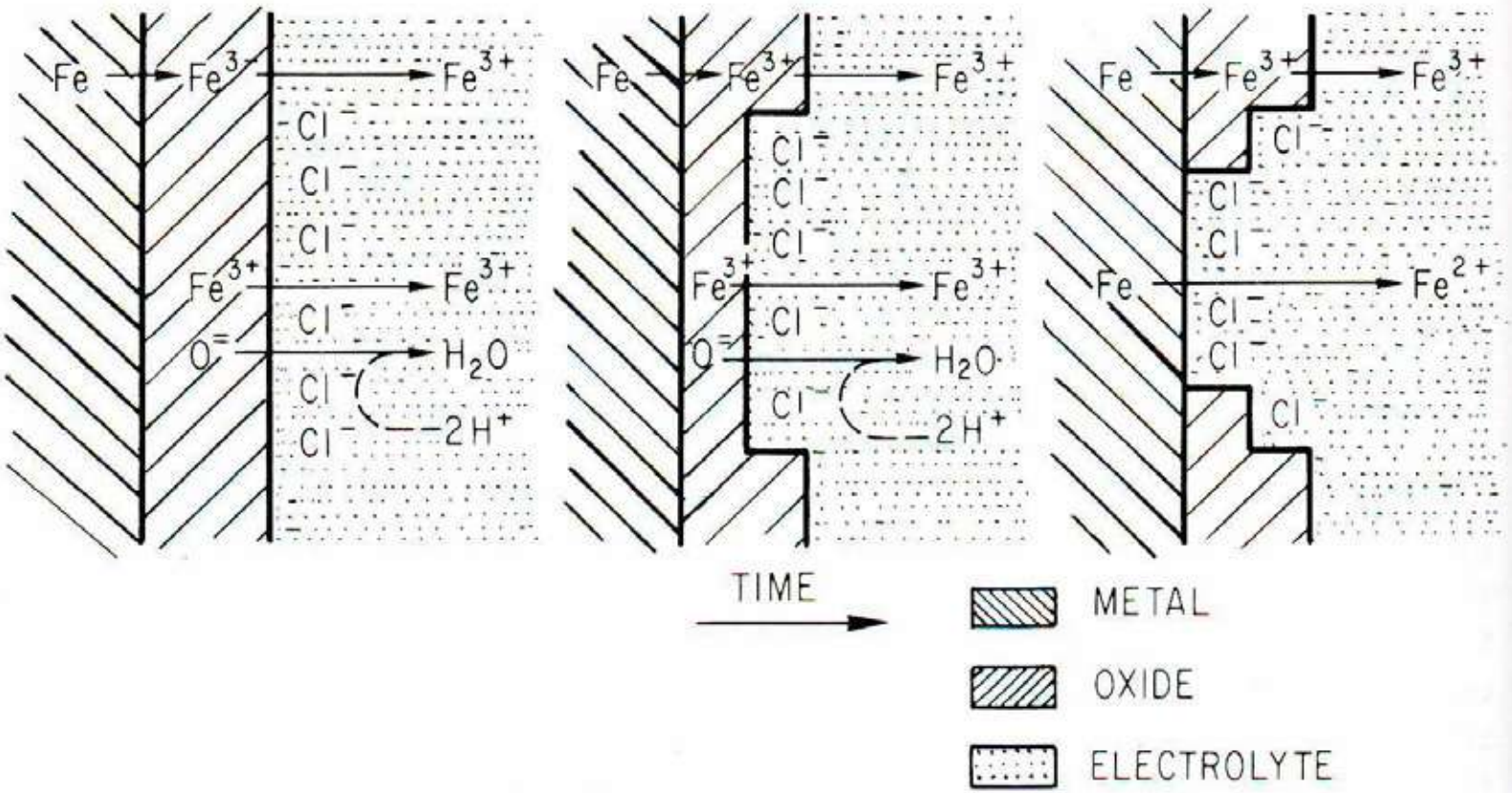
Klorid ionos korrózió Evans görbéje



Klorid ion hatása a polarizációra, Evans görbén bemutatva

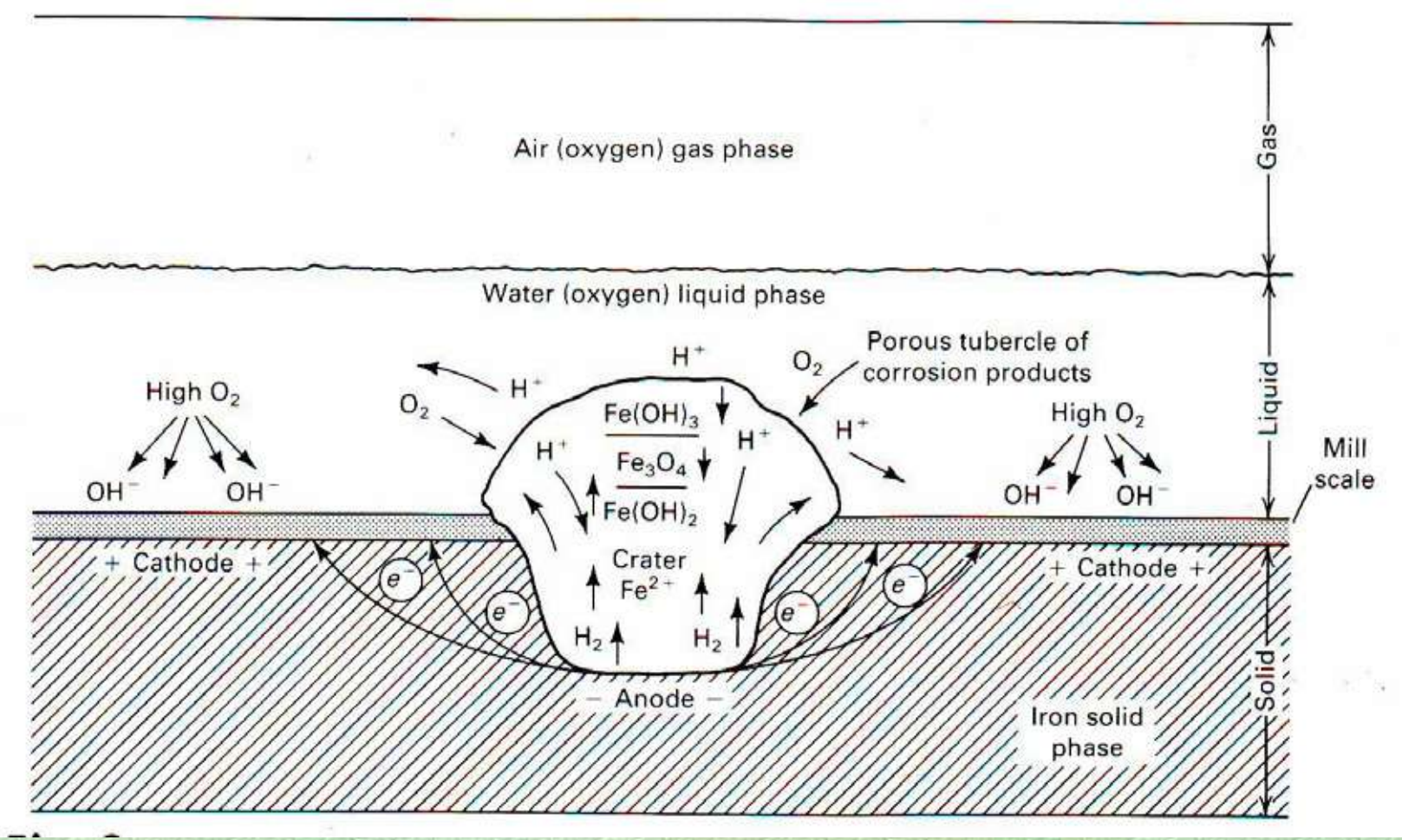


Klorid okozta lyukkorrózió



Pit initiation on passive iron due to formation of two-dimensional Cl^- clusters.

Az oxigén szerepe a korróziós folyamatban



Lyukkorrózió elleni inhibitorok

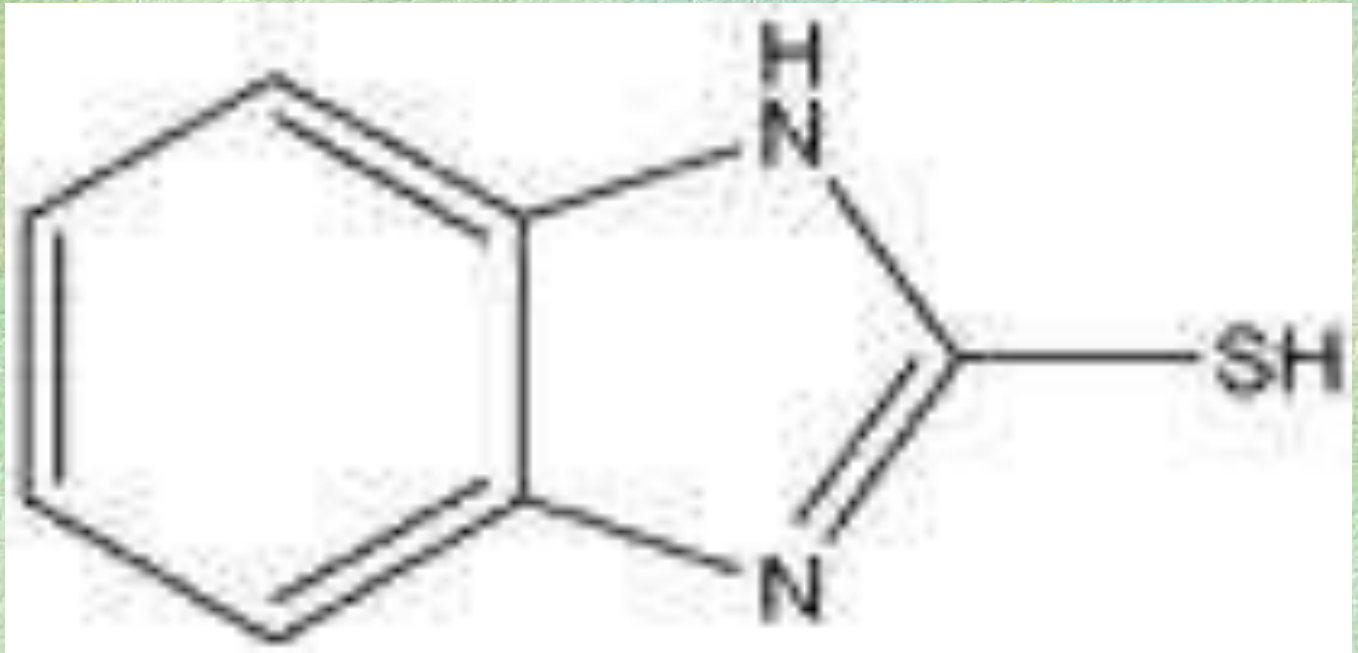
- *Halogenid ionok adszorpcióját gátló anyagok*
  - *Szulfát*
  - *Kromát*
  - *Nitrát*
  - *Klorát*
  - *Klorit*

Leghatékonyabb a nitrát, legkevésbé hatékony a szulfát

Szerves inhibitorok közül a kvaterner ammónium sók hatékonyak és a kevert inhibitorok

Lyukkorrózió elleni szerves inhibitor

- *2-mercaptobenzimidazole*

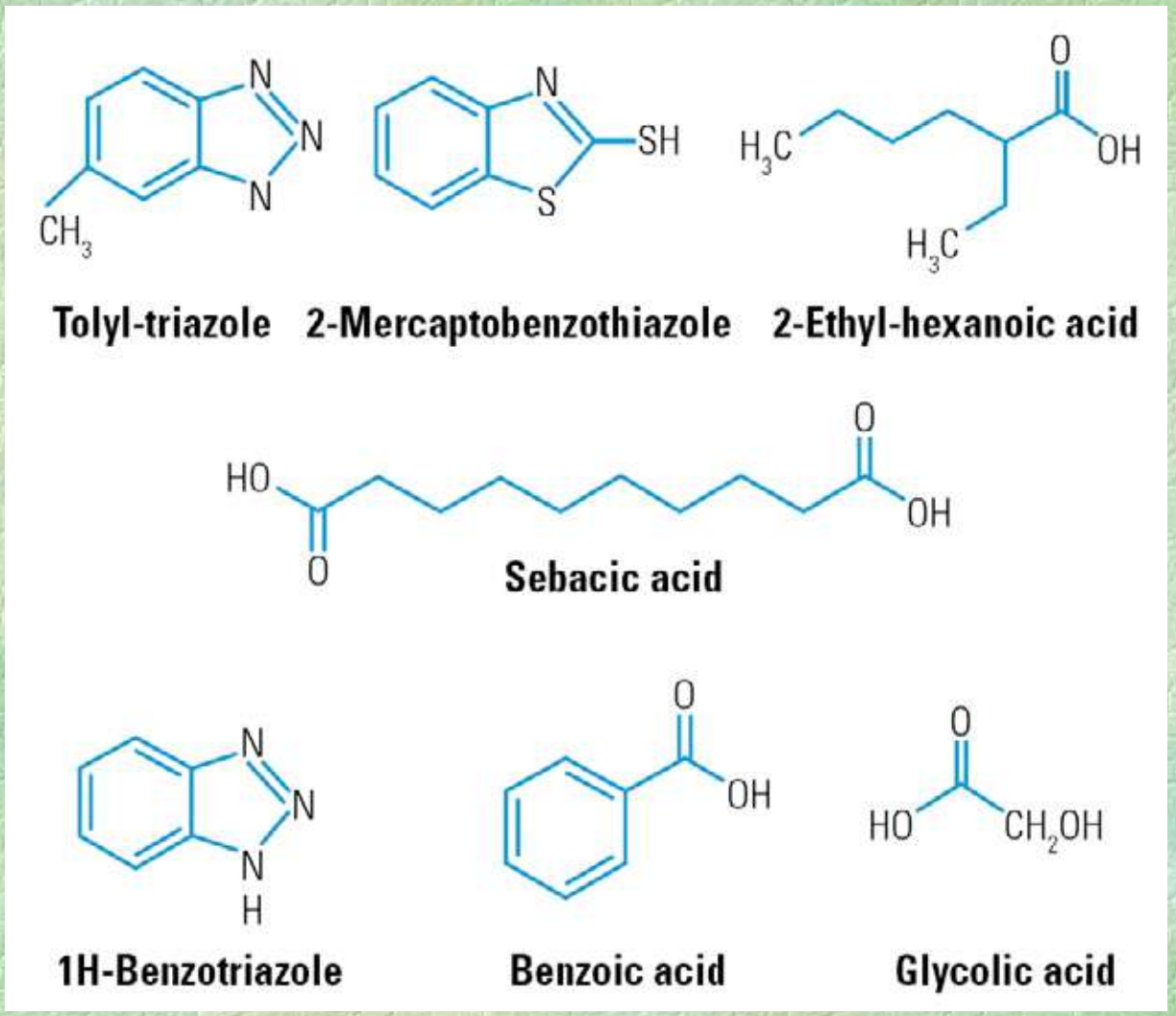


Inhibitorok, adalékok, vegyszerek

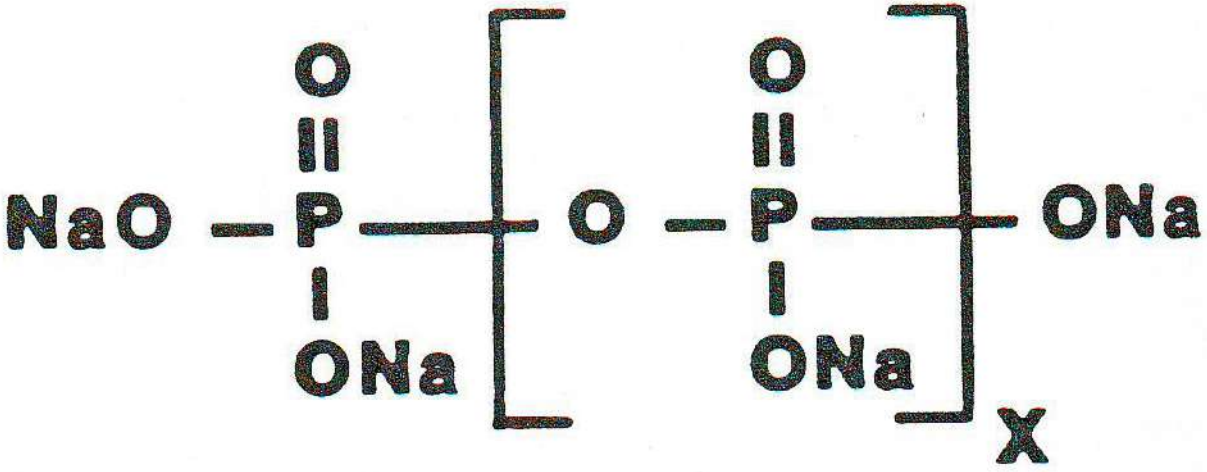
- Kombinált rendszerek inhibitorai
  - Motor hűtőrendszerek
  - Több fémes rendszerek
  - Nyitott és zárt rendszerű hő közlő közegek
  - Korrózió és vízkő képződés elleni szerek
  - Baktericidek és korrózió elleni vegyületek
  - Pigment adalékok
  - Átmeneti védőanyagok

Néhány hatékony „többfémes” inhibitor

- *Hűtőfolyadékokhoz*
- *Glikolokhoz*
- *Keverék inhibitorokhoz*



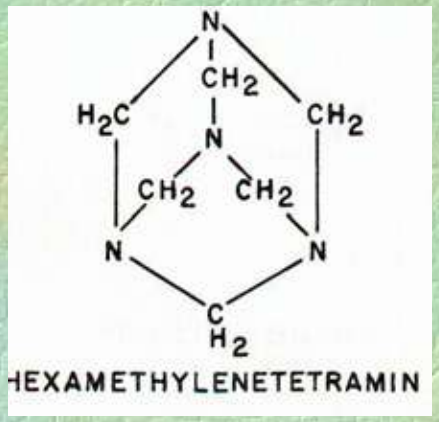
Korróziós és vízkő inhibitorok

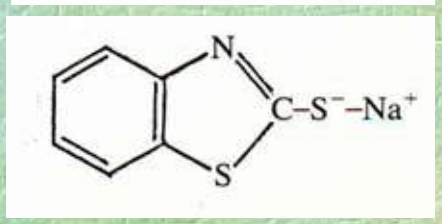


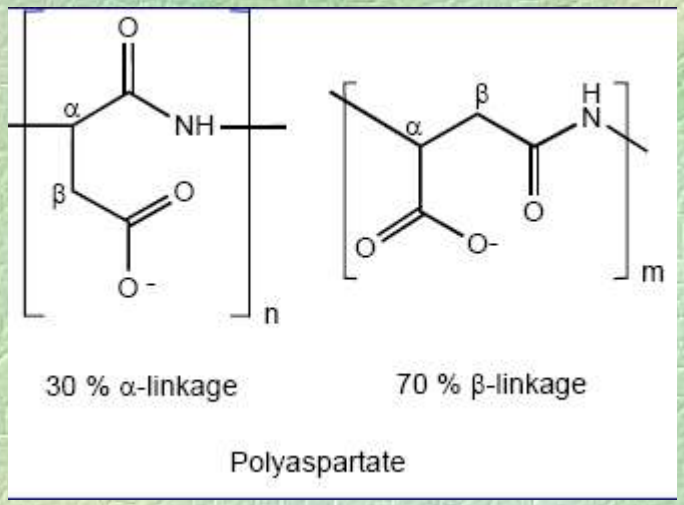
X	= 0	Orthophosphate
X	= 1	Pyrophosphate
X	= 2	Tripolyphosphate
X	= 12-14	Polyphosphate

„Egyszerű” szerves filmképző inhibitorok

- „Hexa”
- Szulfonsav só
- Poli-aszpartát

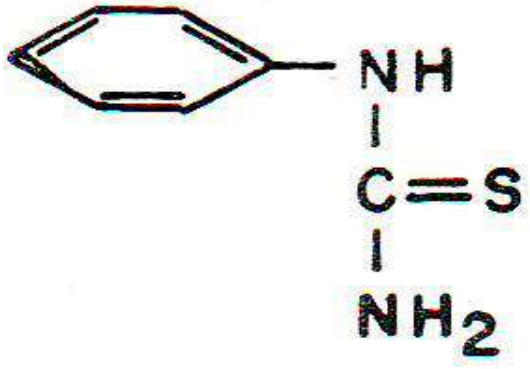




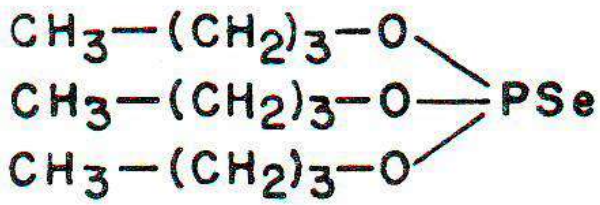


Inhibitív hatású elemek a filmképző inhibitorokban:

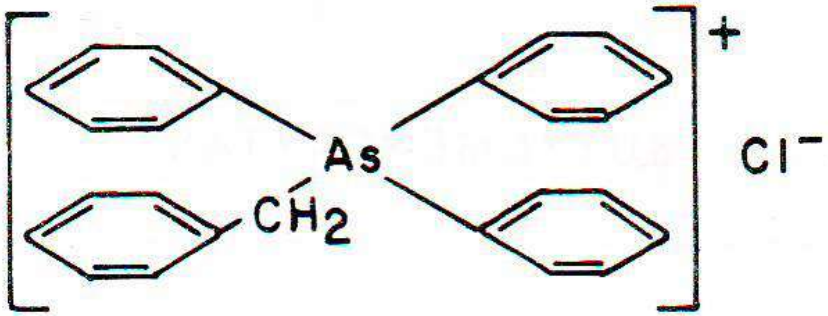
Se, P, As, S, N, O!



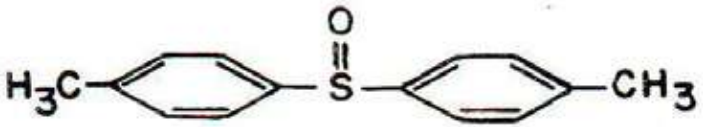
PHENYLTHIOUREA



TRIBUTYLSELENOPHOSPHATE



TRIPHENYLBENZYLARSONIUM CHLORIDE



DI-*p*-TOLYLSULFOXIDE

A következő előadás témái

- *Technológia közegek inhibitorai*
  - *Savas inhibitorok, semleges és lúgos közegek inhibitorai*
  - *Vízkezelés (korrózió, vízkő stb. …)*
- *Környezetbarát inhibitorok (green)*

Korrózióvédelem Inhibitorokkal-II. rész

Az oktatási anyag Csabai Tibor

Korróziós szakértő

Korrózióvédelmi mesteriskola tananyagának felhasználásával készült

Tartalomjegyzék II. rész

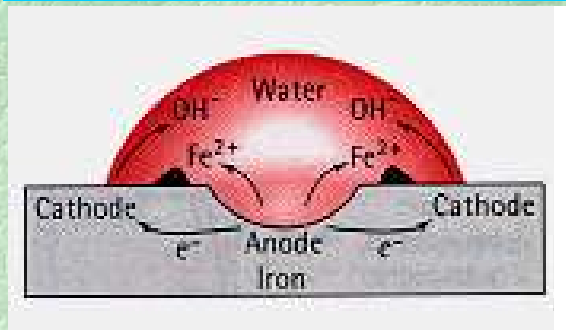
- *Inhibitorok a különböző iparágakban*
  - *Vízrendszerek korrózió és vízkő inhibitorai (corrosion, scale)*
  - *Biocidok*
  - *Oxigén megkötők, kénhidrogén megkötők (scavengers)*
  - *Semlegesítő adalékok*
- *Vegyipari folyamatok vegyszerei*
- *Olajiparban használt inhibitorok*

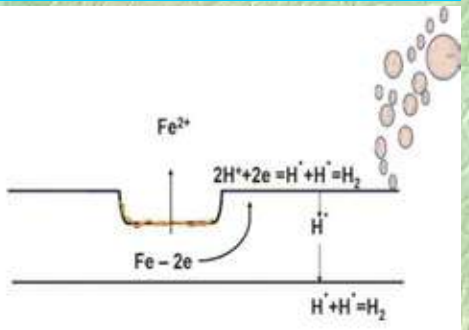
Korróziós folyamatok

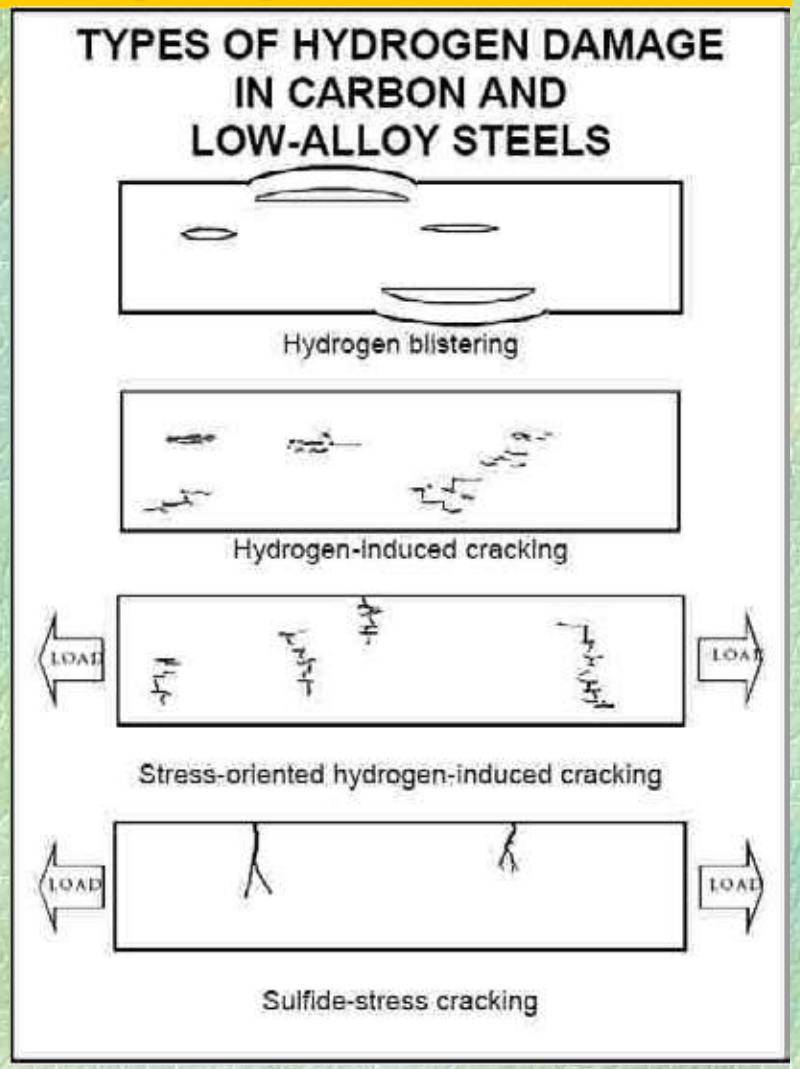
Elektrokémiai korrózió:
elektrolit jelenléte, a fém ionjai az elektrolitba oldatba mennek

Kémiai korrózió:
nincs elektrolit, gázzal, folyadékkal való érintkezés

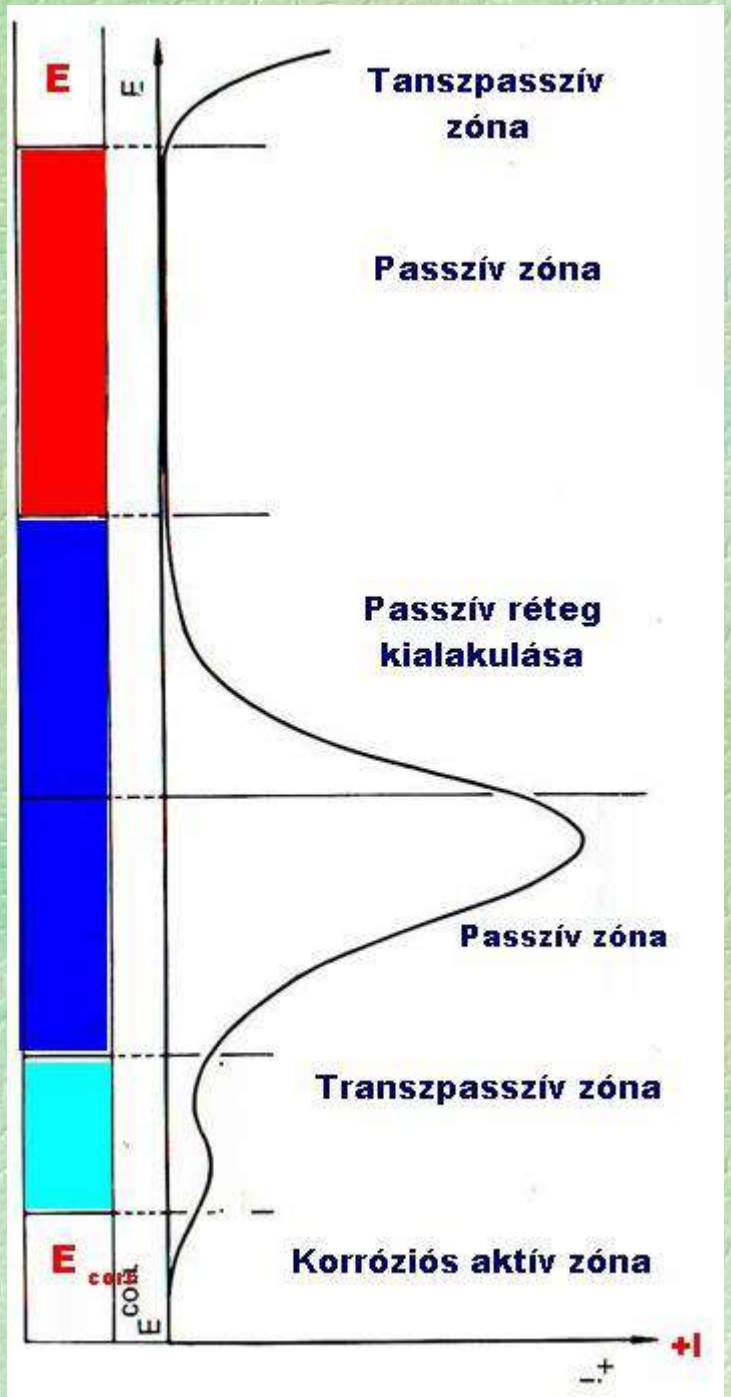
Feszültségkorrózió:
elektrokémiai korrózió + mechanikai feszültség, mely az oldódást egy adott területre koncentrálja

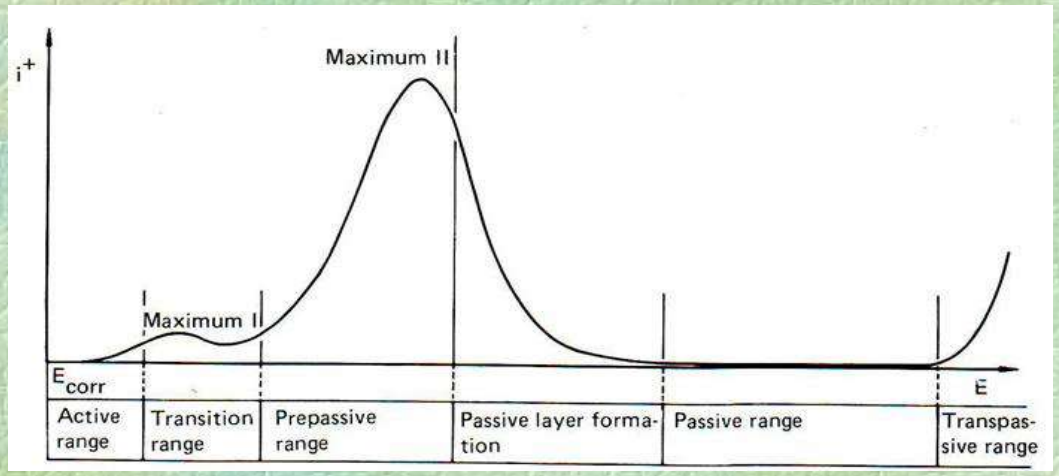


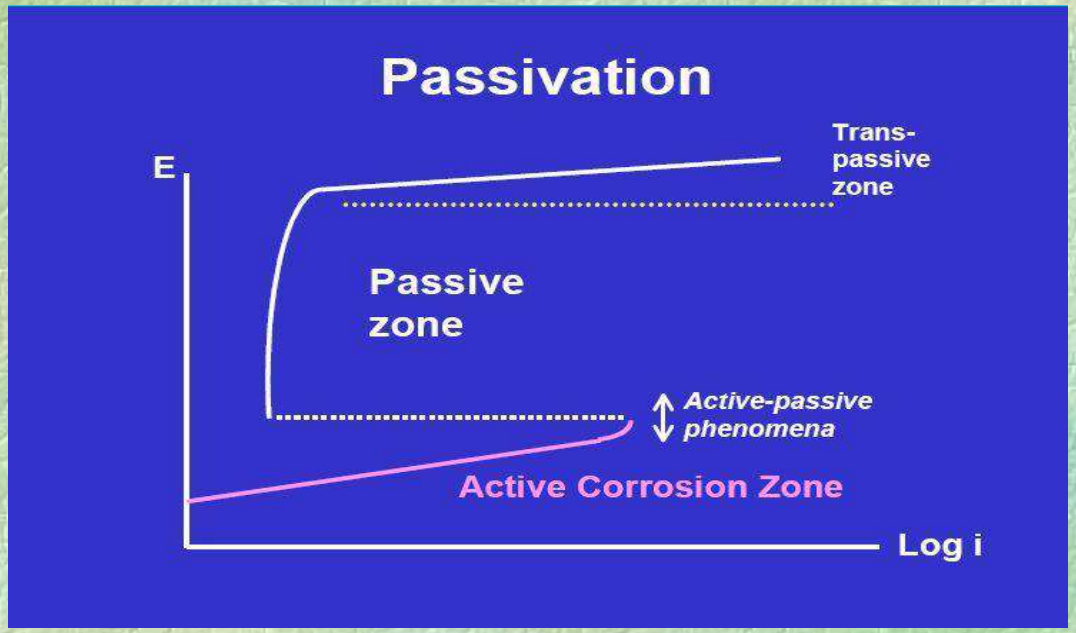




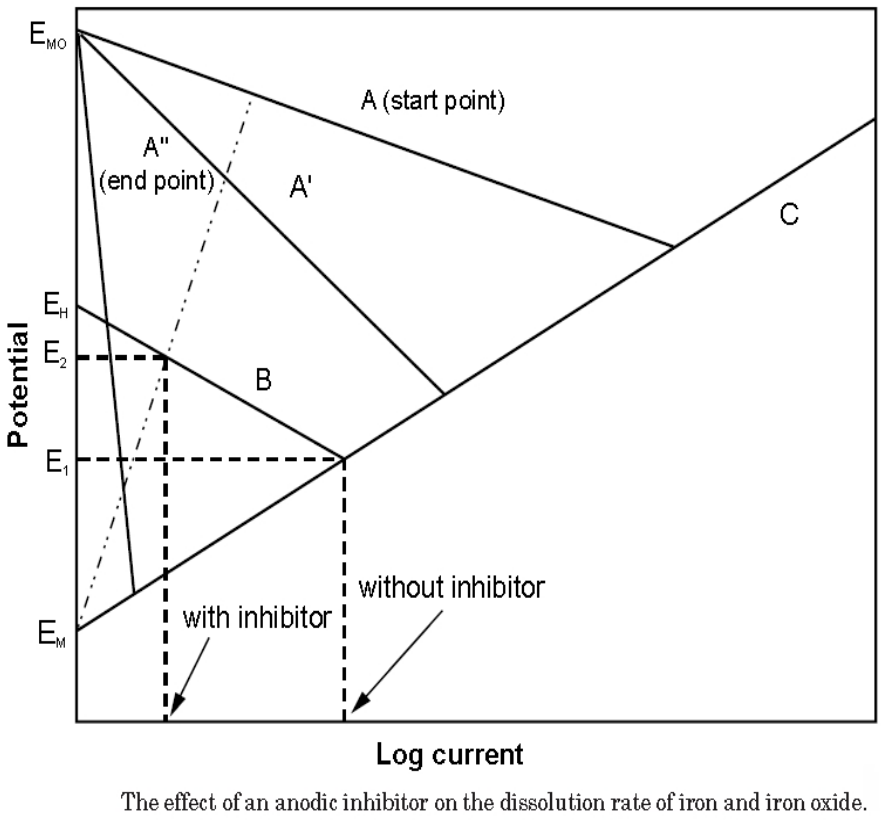
Polarizációs görbe vs. Evans diagram



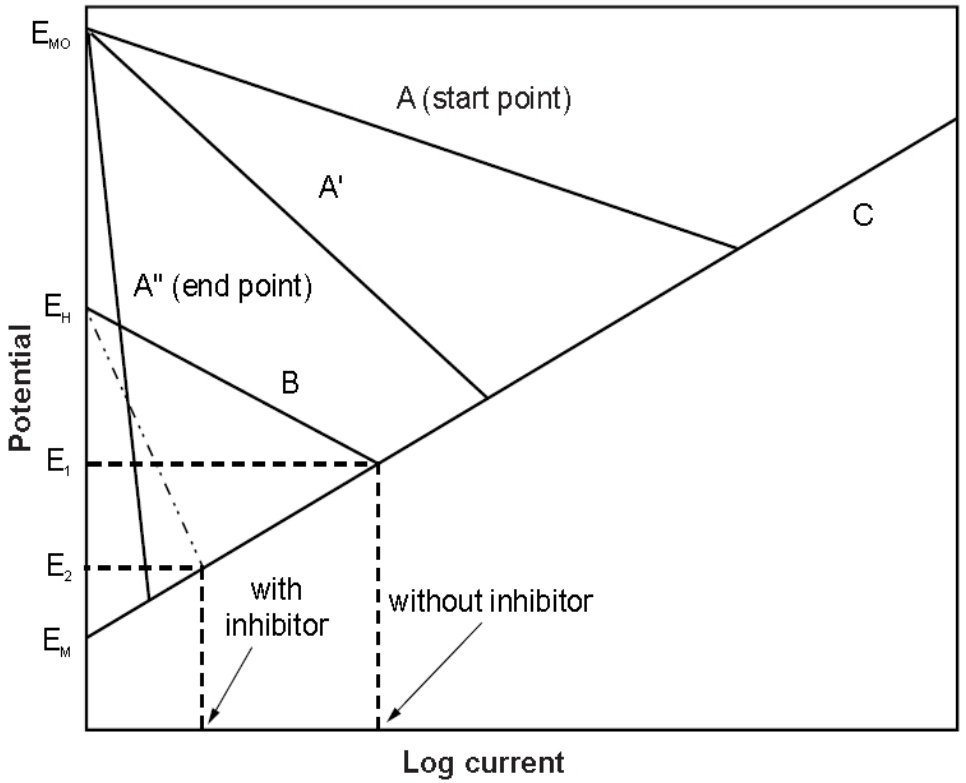




Anódos vs. katódos inhibitorok Evans diagramja az inhibitor működése



The effect of an anodic inhibitor on the dissolution rate of iron and iron oxide.



The effect of a cathodic inhibitor on the dissolution rate of iron and iron oxide.

Belül a korrozív közeg, kívülről lyukadt ki mégis….. MIÉRT?



CO_2 korrózió (termelőcső karmantyú) A termelőcső nem sérült. MIÉRT?



Az elektrokémiai korrózió közegei

- Savas közegek pH <3,5
- Vizes oldatok pH 3,5-9,5
- Lúgos közegek pH>9,5
  - Savas inhibitorok I. kategória
  - Semleges és lúgos inhibitorok II. kategória
- Atmoszférikus korrózió
  - VCI vagy VpCI vegyszerek

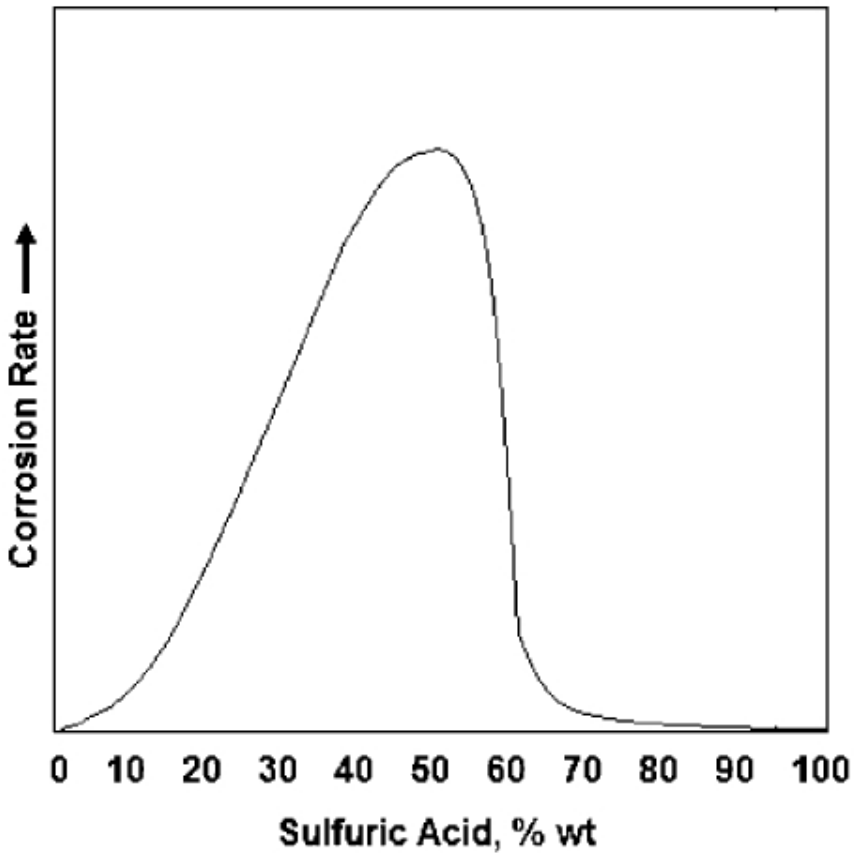
Atmoszférikus korrózió

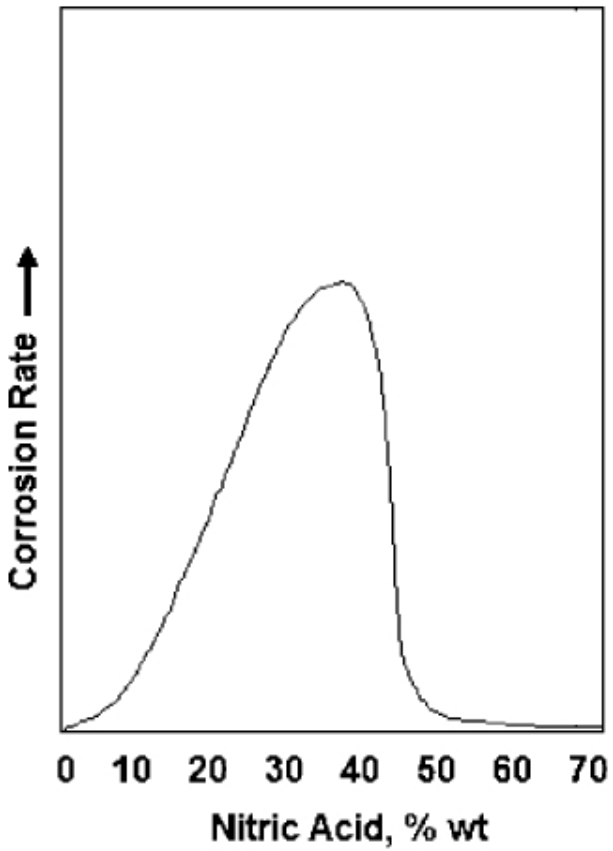
- ** a fémfelület nedvesedésének időtartama*
- ** a különböző adszorpciós rétegek kialakulása, és stabilitása*
- ** páratartalom (kondenzáció útján történő elektrolit réteg kialakulásánál van szerepe)*
- ** eső mennyisége (az eső közvetlen nedvesedéssel alakítja ki az elektrolit réteget)*
- ** időszakosan kialakuló köd (az elektrolit pH-jának beállításában van nagy szerepe ugyanis erőteljesen savas kémhatású is lehet)*

Atmoszférikus korrózió folyt

- ** hamu mennyisége*
- ** szálló por mennyisége*
- ** a légköri gázösszetétel*
- ** hőmérséklet*
- ** szél sebessége (például a tengeri sótartalmú aeroszol szállításánál)*
- ** a kezdeti kitettség a korrozív médiumban (az ún. iniciáló szakasz minden esetben meghatározó)*
- ** egyéb légköri szennyezések*
- ** földrajzi elhelyezkedés, és éghajlat*

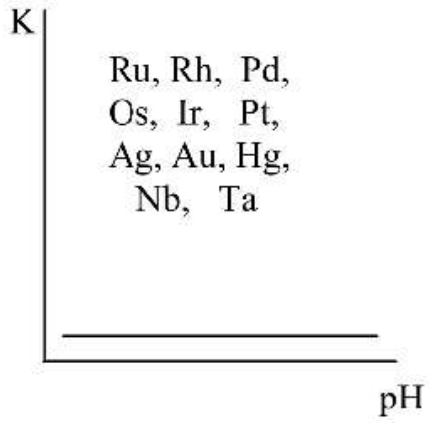
Acél korróziója kénsavban, salétromsavban

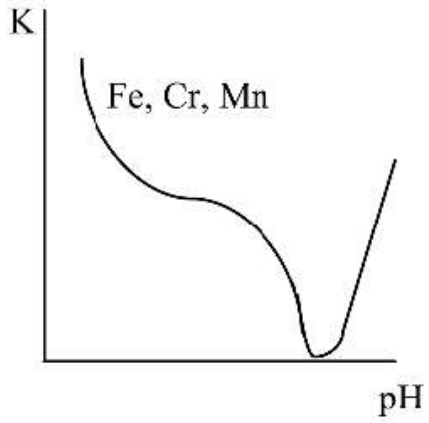


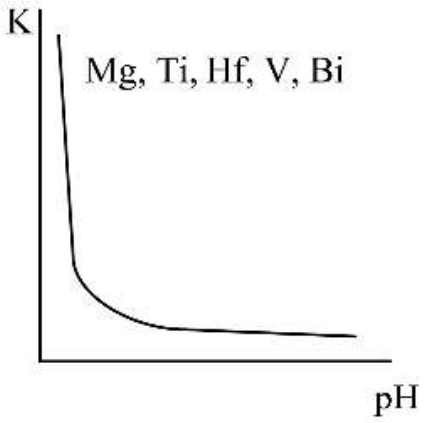


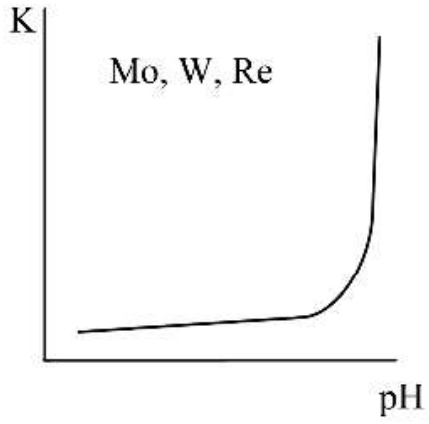
Corrosion rate of iron vs concentration of sulphuric and nitric acids.

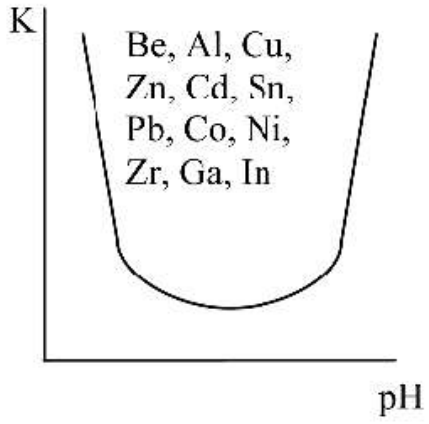
Fémek savas korróziója

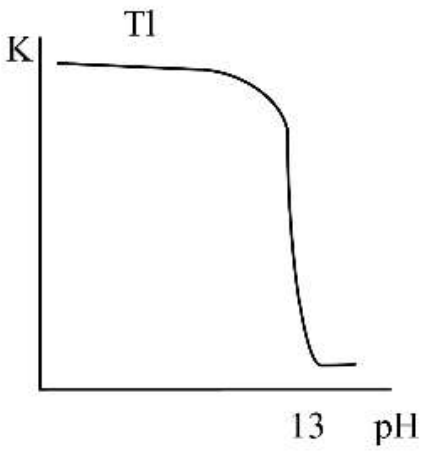




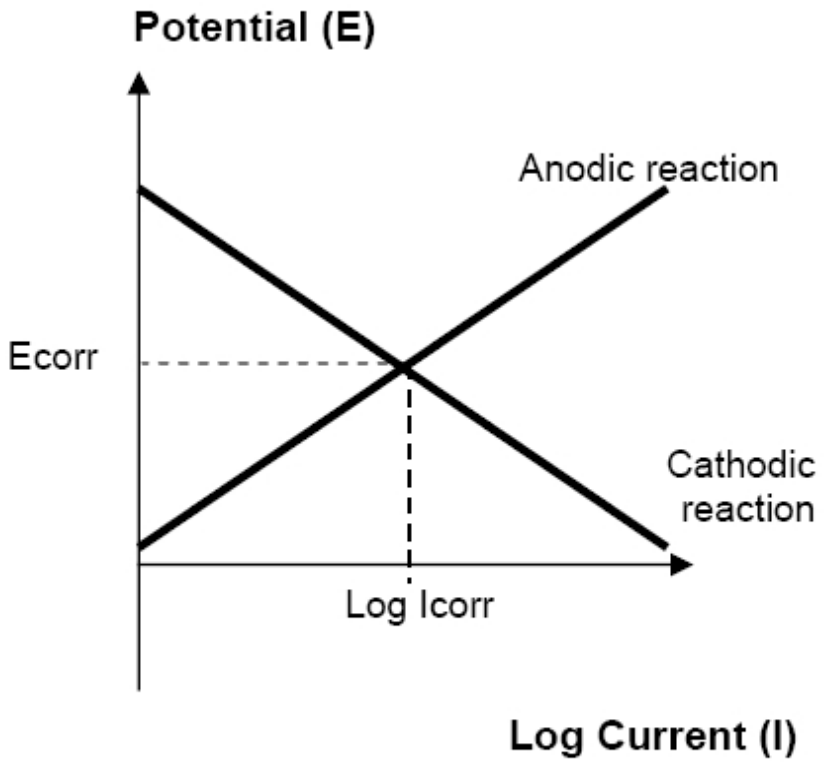




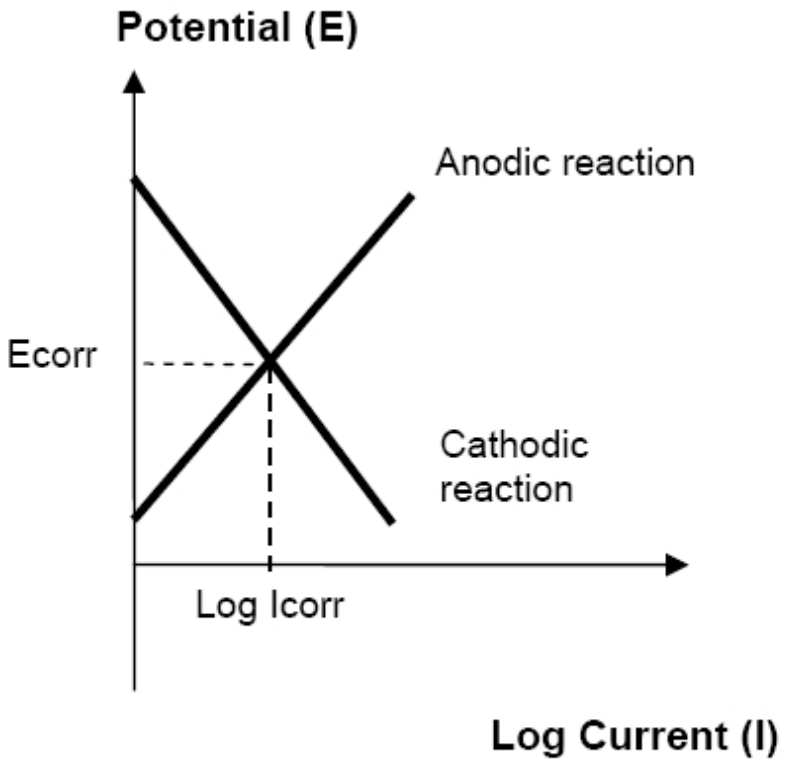




Inhibitor hatása a polarizációs görbére

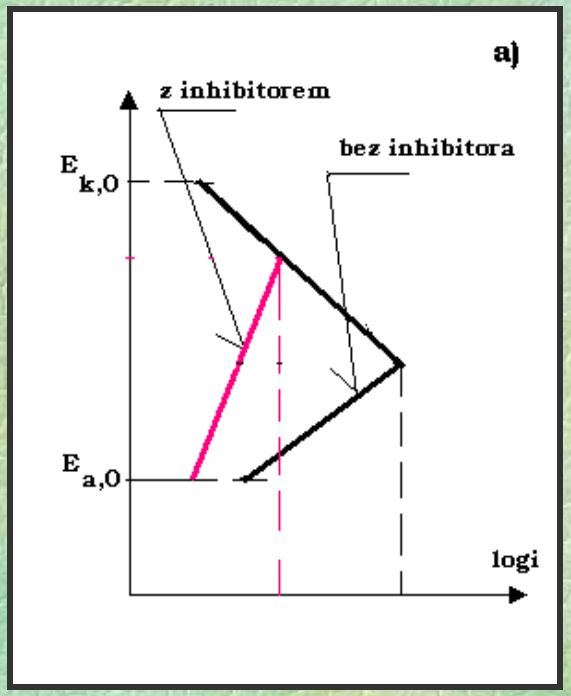


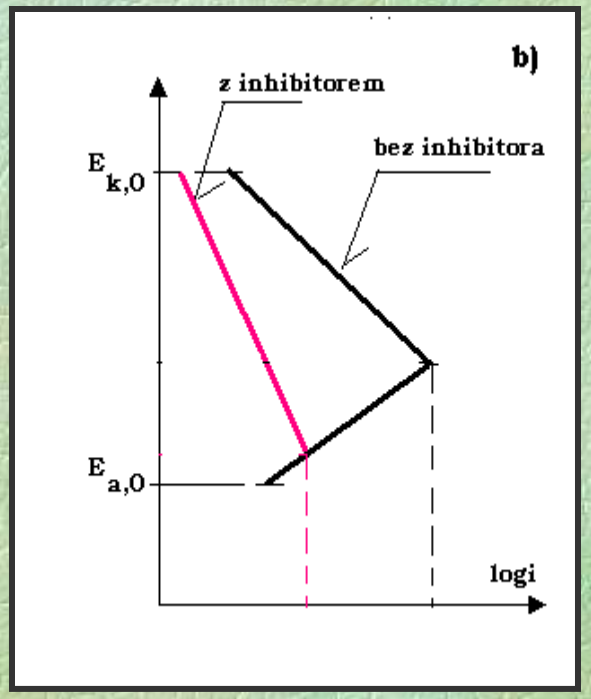
(a) Before inhibitor application

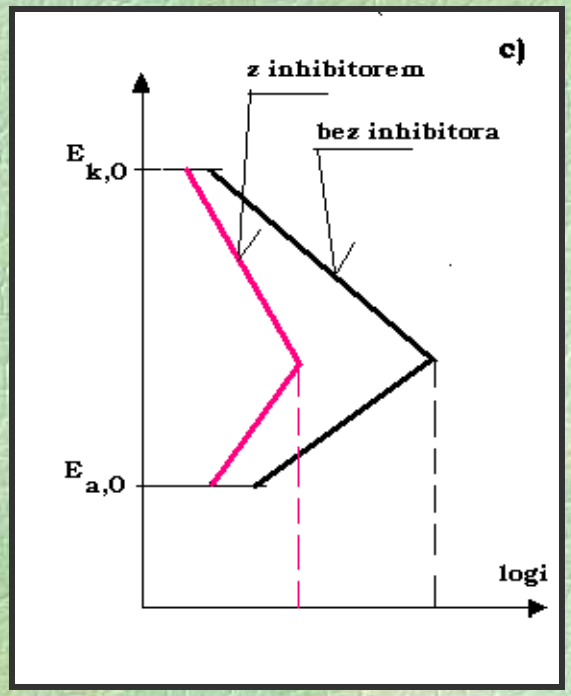


(b) After inhibitor application

Anódos, katódos és kevert inhibitorok







(a) *Anódos inhibitorok:*
foszfátok
szilikátok

(b) *Katódos inhibitors*
polifoszfonátok
$Ca(HCO_3)_2$
metil-amino-foszfát

(c) *Kevert anódos és katódos inhibitorok*
aminok
szelén vegyületek

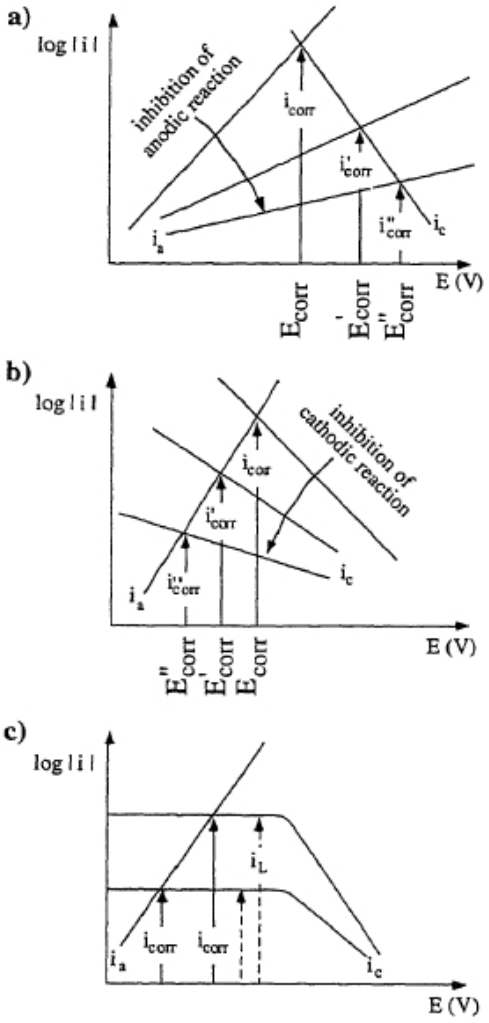
A korrózióssebesség csökkentésének lehetséges módjai:

Anód folyamat gátlása

Katódfolyamat gátlása

Felületre jutás gátlása

Oldott oxigén csökkentése



Simplified log | i | vs E diagrams to illustrate the role of rate control and influence of inhibitors.
a) reduction of corrosion rate by decrease of anodic reaction rate and shift of E_{corr} to higher values;
b) reduction of corrosion rate by decrease of cathodic reaction rate and shift of E_{corr} to lower values;
c) reduction of corrosion rate by limiting transport, given by i_L, of reductant (e.g., dissolved oxygen) to the surface ($i_{corr} \cong i_L$).

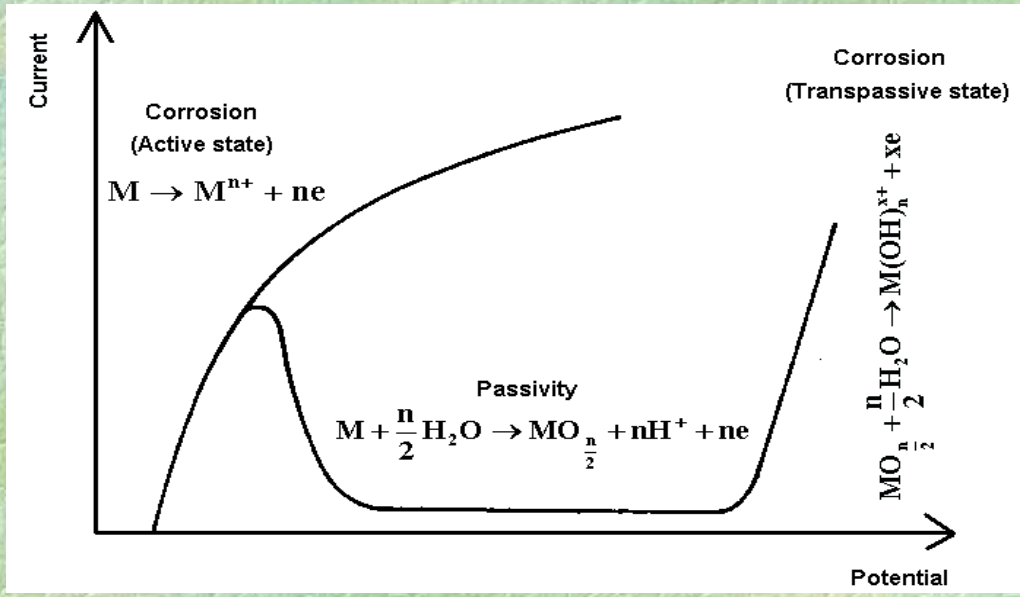
- ***a) anódos folyamat gátlása***
- ***b) katódos folyamat gátlása***
- ***c) transzport folyamatok fékezése pl. oldott oxigén csökkentése***
- ***Mindhárom lépés a korrózió sebességét csökkenti***

A korróziós folyamat és az inhibició

- ***A heterogén reakció lépései:***
  1. ***Hidratált ionok elektródfelülethez jutása***
  2. ***Adszorpciója a fémfelületen***
  3. ***Dehidratáció***
  4. ***Elektronátlépés, elektrokémiai reakció***
  5. ***Termék adszorpció, vagy kristályrácsba épülés***
  6. ***Szekunder termékek kialakulása***
  7. ***Deszorpció***

Az inhibició hatékonysága

- *Inhibitor*
  - *Összetétel,*
  - *Szerkezet,*
  - *Molekulatömeg*
  - *Oldhatóság*



- *Funkciós csoport (elektronsűrűsége)*
  - **P>Se>S>N>O**
- *Fém (felületi állapota, minősége)*
- *Közeg (áramlási viszonyok, hőmérséklet)*

Az inhibició hatékonysága folyt.

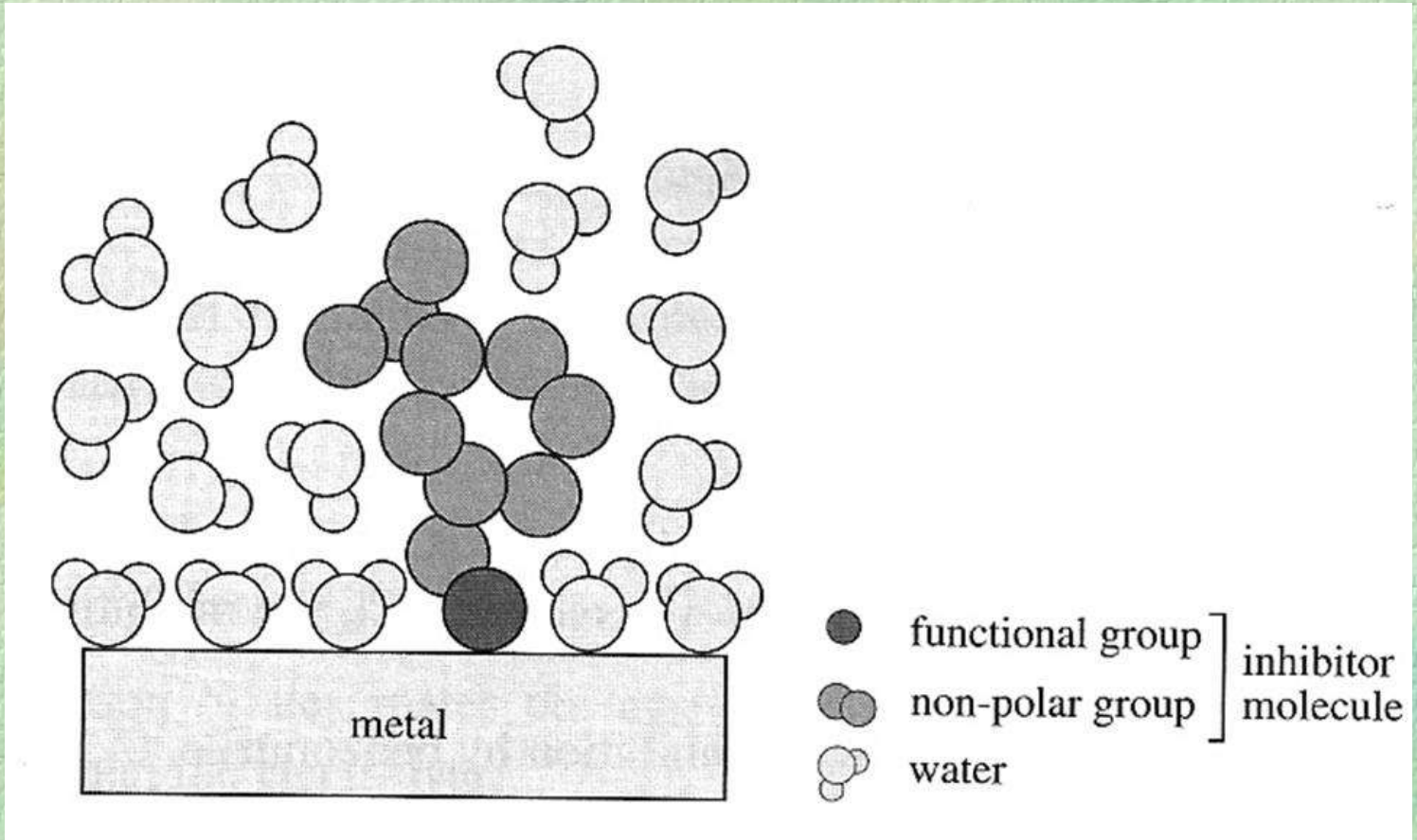
- *Funkciós csoport elektronsűrűségének hatása:*
  - *Aminok, N, S heterociklusok hatékonysága nő az elektronsűrűség növelésével*
  - *Térszerkezet hatása befolyásolja az adszorpciót*
  - *Hosszú láncú szénhidrogének hidrofób felületet alakítanak ki.*
  - *Molekulatömeg – oldhatóság összefüggése*

Fémfelületek védelme - hatásmechanizmus

- *Vándorlás az oldatból a felületre*
- *Fizikai szorpció van der Waals London erők*
- *Kemiszorpció*
  - *Átmeneti kötőerők jobb tapadás*
  - *Nem reverzibilis kötődés*
  - *Nagyobb hatékonyság*

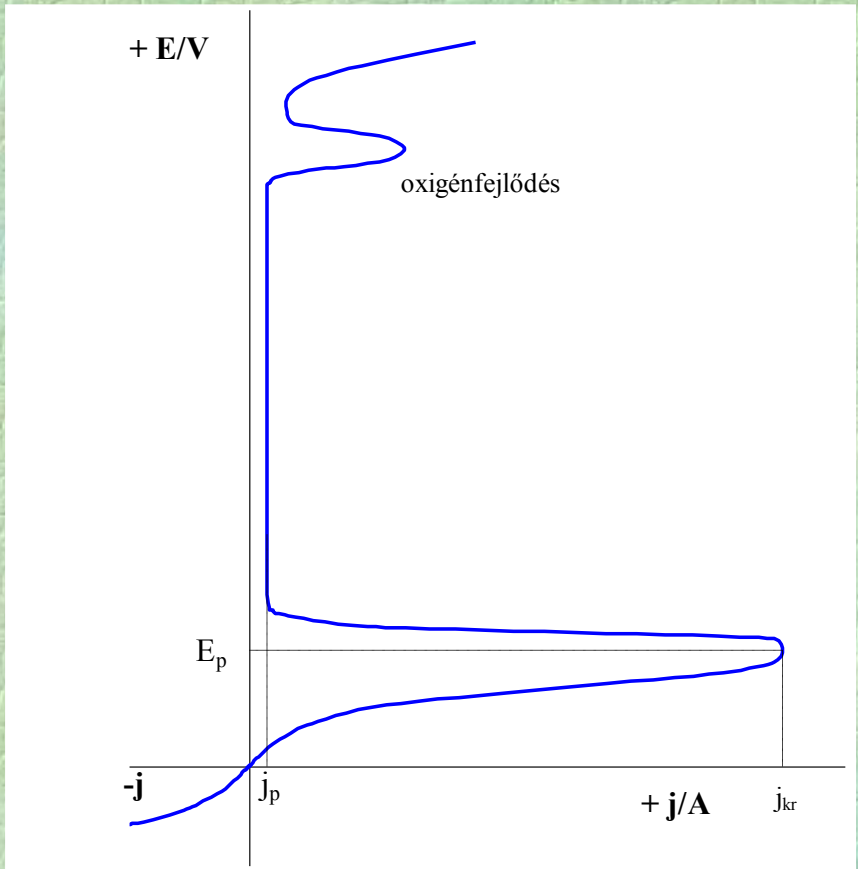
Inhibitor adszorpció a védendő felületre

- *Filmképző inhibitorok az alapfém oldódását fékezik*
- *Gátolják a korróziós ágensek diffúzióját*
- ***Oxigén!*** ***Klorid!!!***



Felhasználható inhibitorok típusai

- Szervetlen
- Passzivátorok
- Szerves
- Adszorpciós
- Összetett

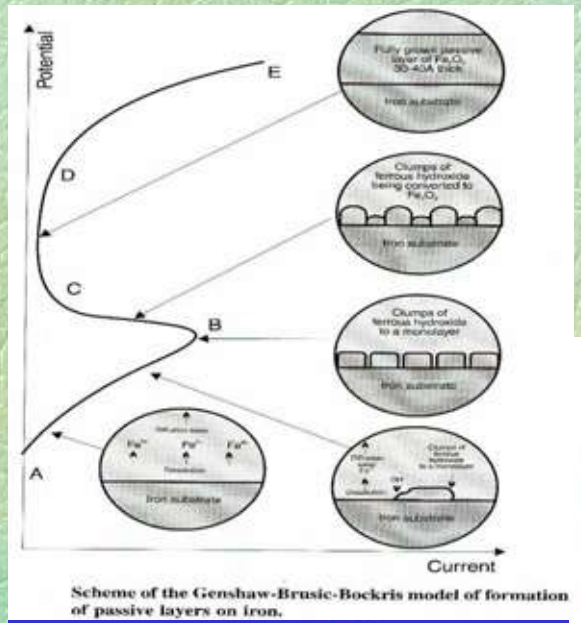


Aktív-passzív viselkedésű fém

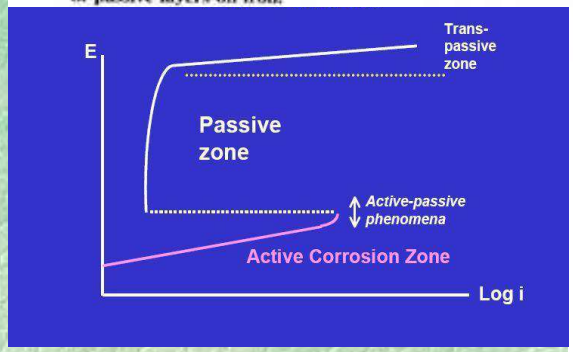
Fémek passziválása vegyszerekkel

- *Általános képletük: XO_m^{n-}*
- *Ilyenek többek között a CrO_4^{2-}, MoO_4^{2-}, WO_4^{2-}, MnO_4^-, TeO_4^-, AsO_4^{3-}, SbO_4^{3-}, VO_3^-, NO_2^- és a NO_3^-*
- *Reakciótermék állapota, beépülhet a fémbe (ötvözet)*
- *Koncentráció csökkenés: aktivátor*

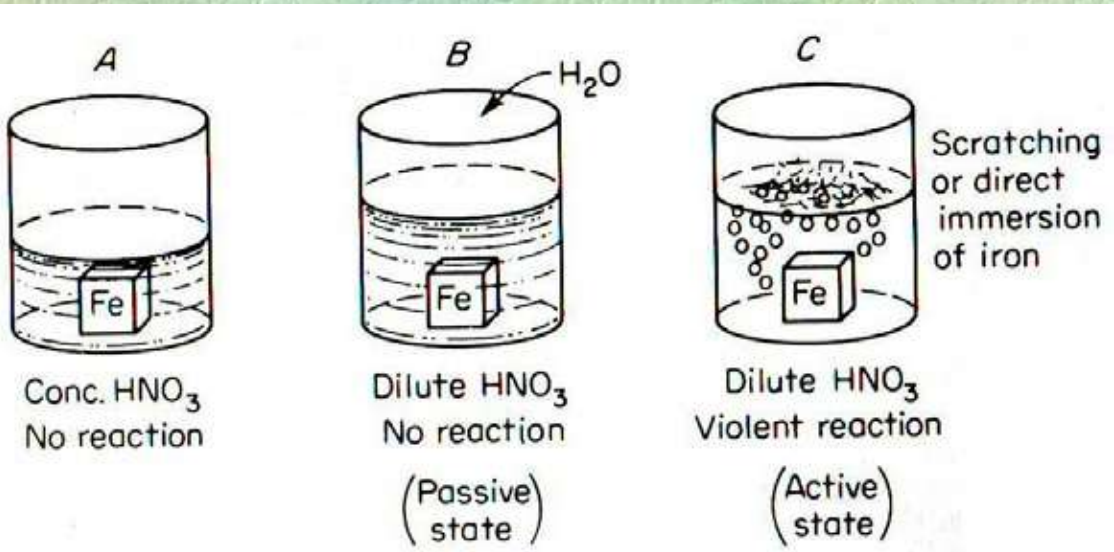
Savas technológiai folyadékok hatásai



Scheme of the Genshaw-Brusic-Bockris model of formation of passive layers on iron.



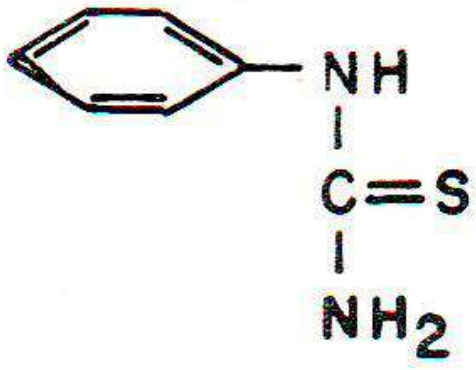
- *Spontán védőréteg képződik*
- *Védőréteg kialakítását segíti*



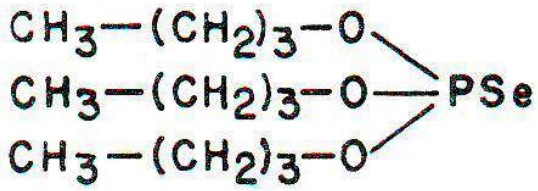
Faraday's passivity experiments with iron.

- *(karcolt felületen vagy friss próbatesten intenzív oldódás játszódik le…)*

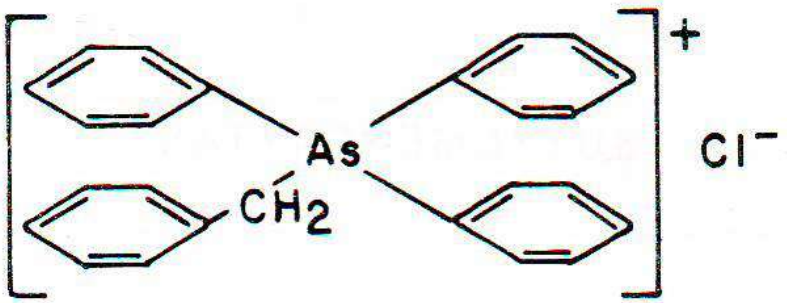
Szerves molekulák hetero-atomokkal: Se, P, As, S, N, O!



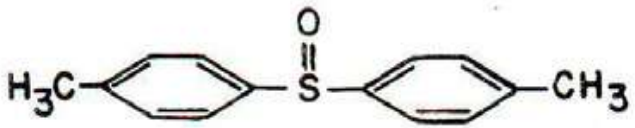
PHENYLTHIOUREA



TRIBUTYLSELENOPHOSPHATE



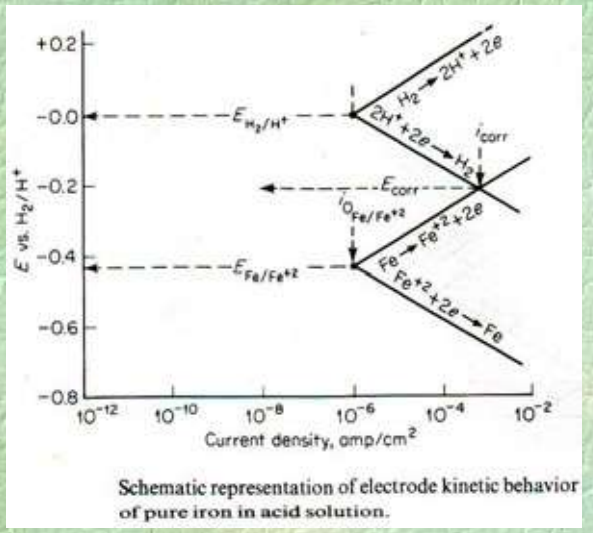
TRIPHENYLBENZYLARSONIUM CHLORIDE



DI-*p*-TOLYLSULFOXIDE

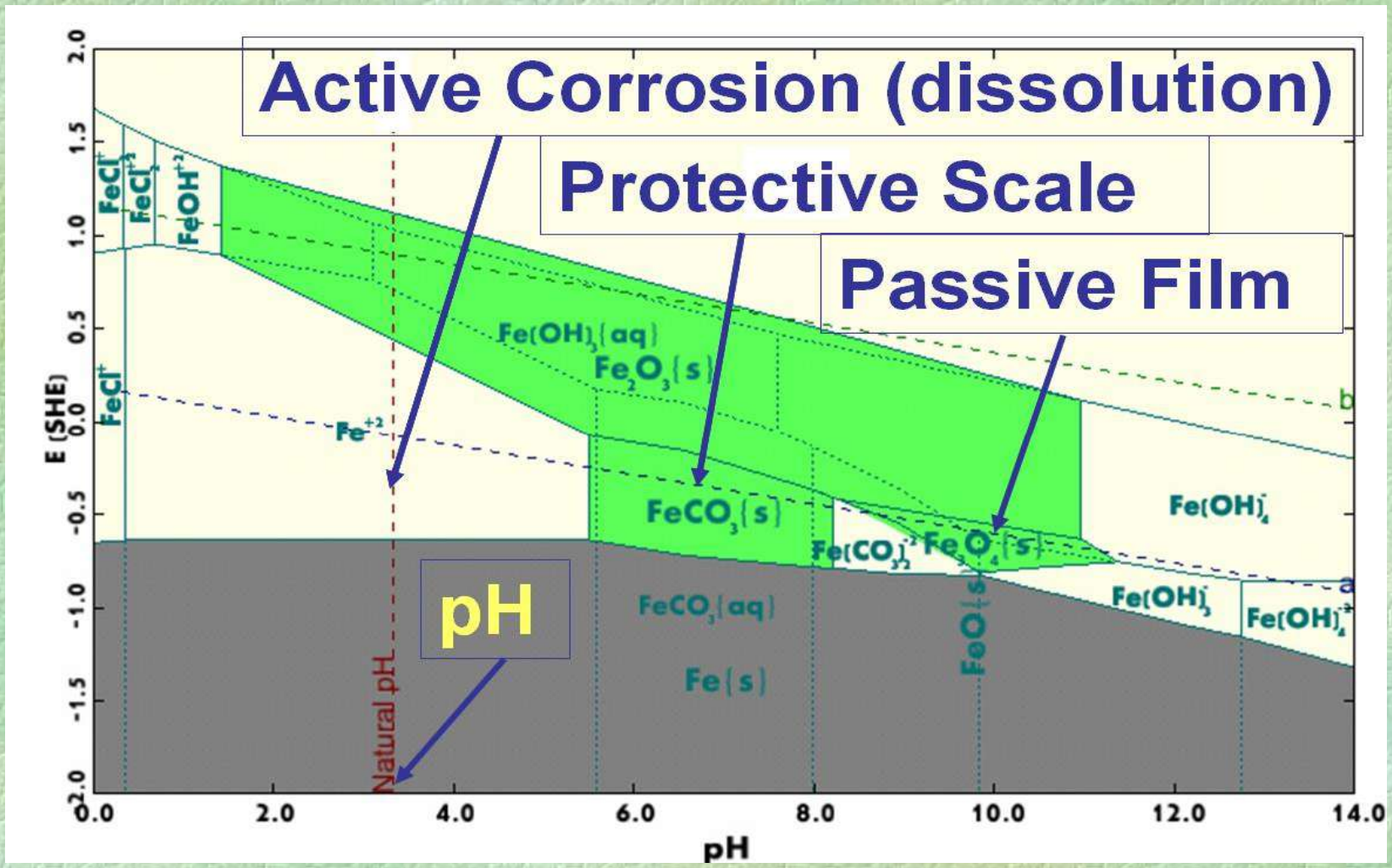
Technológiai közegek inhibitorai

- Savas pácolás inhibitorai
  - pH 3,5 alatt
  - Felülettisztítás reve eltávolítás
  - Rozsda leoldás
  - Vízkő és egyéb lerakódás oldása
  - Felületi egyenetlenségek lesimítása
  - Fényezés
  - Passziválás

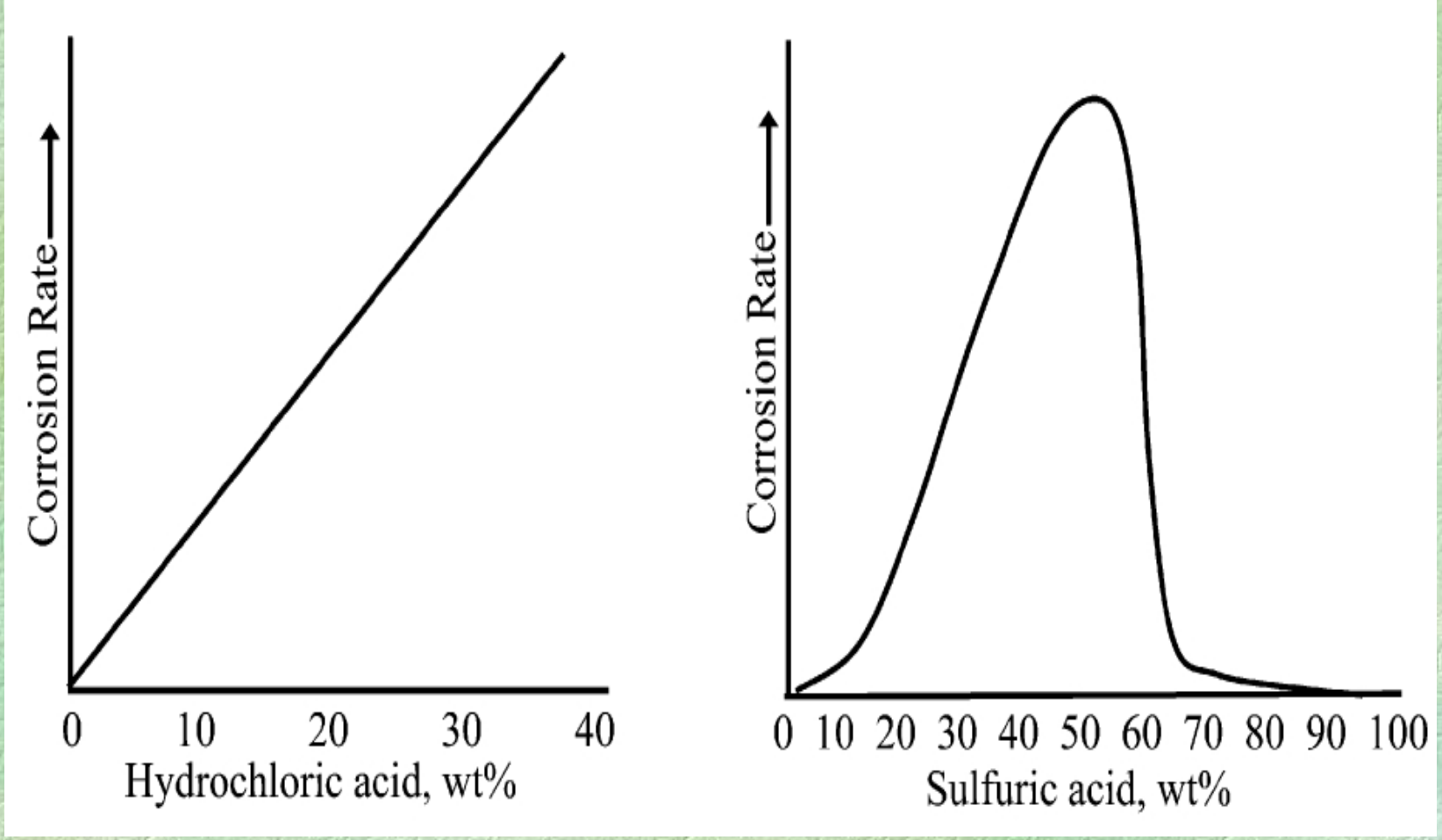


Schematic representation of electrode kinetic behavior of pure iron in acid solution.

Vas Pourbaix diagramja sósavban –pH:3,2

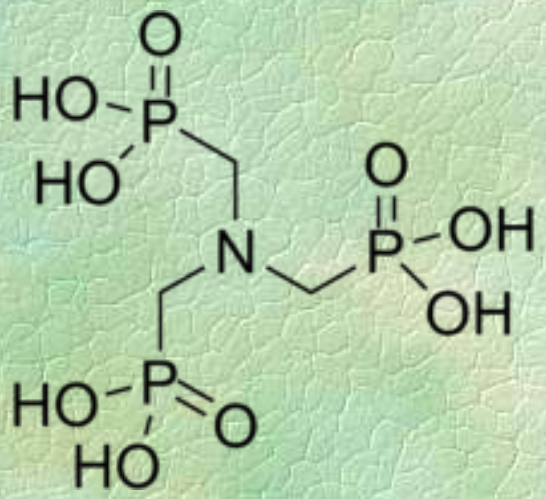


Korrózió sebessége sósavban és kénsavban



Inhibitor hatású vegyületek

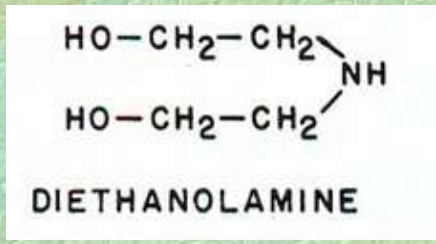
- ***Savas közegekben alkalmazható vegyszerek***
  - ***Tiokarbamid Tiourea*** $CS(NH_2)_2$
  - ***Kromátok***
  - ***Foszfátok***
  - ***Dibenziolszulfoxid***
  - ***Urotropin***
  - ***Karbamid származékok***
  - ***Piridin***
  - ***Kinolin***
  - ***Kazein***



ATP (amino-trisz metilén foszfonsav)

Inhibitorok savas közegekhez

- *Aminok*
- *Poli-aminok*
- *Amidok*
- *Imidazolinok*
- *Tioglikolsav*
- *3-merkapto-propionsav*
- *Orto-tolil-tiokarbamid*
- *Para-tolil-tiokarbamid*
- *p-alkil-benzilpirridinium-klorid*
- *Benzil-amin és aldehidek kondenzációs termékei*
- *Anilin és aldehidek kondenzációs termékei*



Sósavas kezeléseknél használható inhibitorok-1

- ***Hexametilén-tetramin oldat: 3,5 g hexametilén-tetramint adagoljunk 1:1-es (kb. 15 %-os) sósavba.***
- ***2ml Armohib 28, savas inhibitort kell feloldani az 1 liter 1:1 HCl oldatban (A savas tisztítás hasonlóan történik, mint a hexametil-tetramint tartalmazó oldattal.)***

Sósavas kezeléseknél használható inhibitorok-2

- *Feloldunk 50 g/l $SnCl_2$ és 30 g/l $SbCl_3$ a 37%-os tömény sósavban. Ezzel az oldattal 5-max 10 perc időtartam alatt a korróziós termék réteg eltávolítható szobahőmérsékleten is.*



Sósavas kezeléseknél használható inhibitorok-3

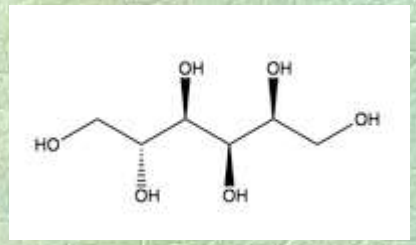
- *Használható még a „Clarke” oldat: 50 g/l $SnCl_2$ és 20 g/l Sb_2O_3 37%-os tömény sósavban feloldva. Hasonló hatékonyságú, mint az ón-II / ón-III kloridos inhibitálás. A tisztító savas oldatban, ha megjelenik a vas-III klorid, az jelzi, hogy a védelem kimerült és friss keveréket kell készíteni.*

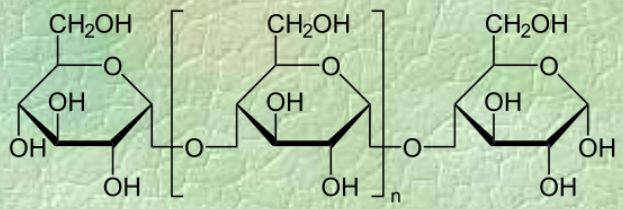
Miért kell a HCl savas tisztítás során Sn(II) sót adagolni a pácoló oldathoz?

- *A keletkezett $FeCl_3$ fokozza a vas (Fe°) oldódását, tehát célszerű az oldást Fe(II)-ig végezni. Ha túl sok Fe(III) keletkezik, nem csak a vas rozsda megy oldatba, hanem az elemi vas is.*
- *Az Sn(II) redukálja pl. a vasat: $Sn^{2+} + 2\ Fe^{3+}$ $Sn^{4+} + 2\ Fe^{2+}$*

Fizikai inhibitorok savas közegekhez

- Zselatin
- Szorbit
- Dextrin



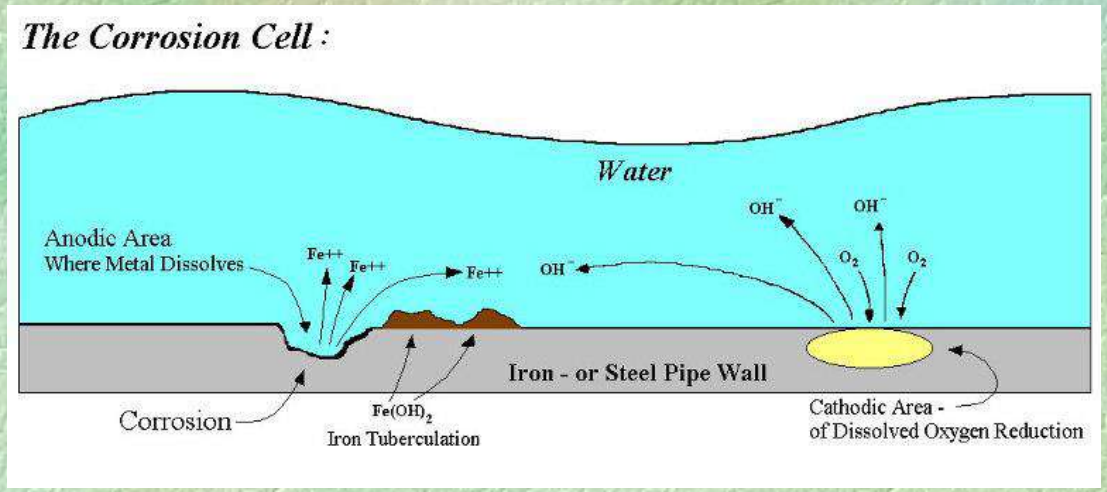


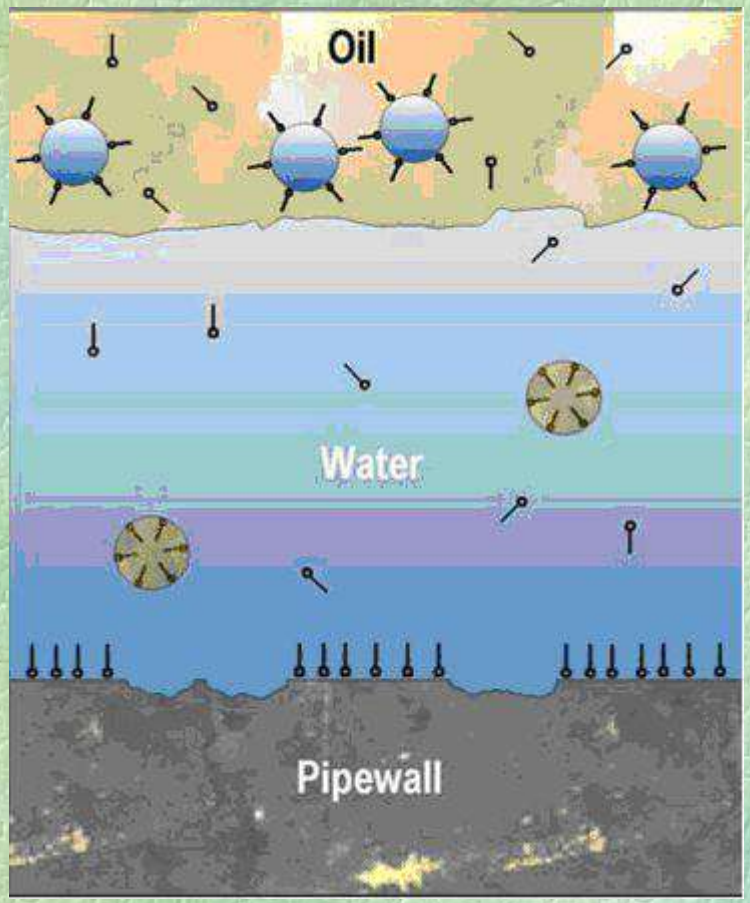
Zselatin összetétele:

glicin 21%
prolin 12%
hidroxiprolin 12%
glutaminsav 10%
alanin 9%
arginin 8%
aszparaginsav 6%
lizin 4%
szerin 4%
leucin 3%
valin 2%
fenil-alanin 2%
treonin 2%
izoleucin 1%
hidroxi-lizin 1%
metionin és hisztidin <1%
tirozin < 0,5%

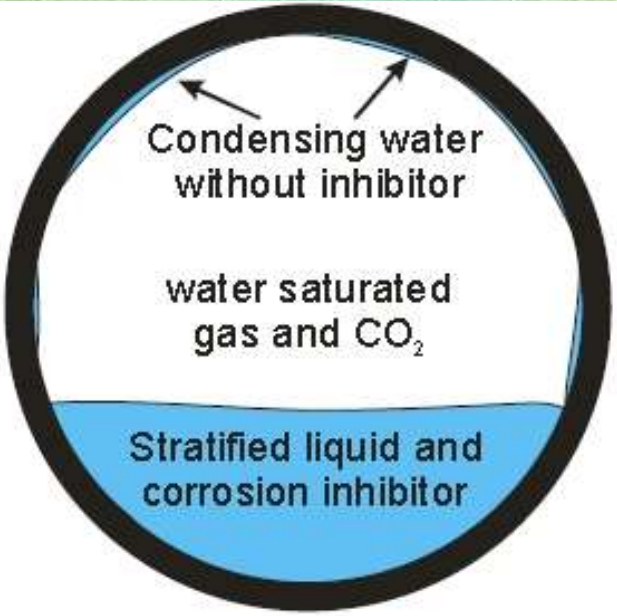
Filmképző inhibitor adszorpciója

- *A hidrofil és hidrofób láncvégek „beállása a védendő fém felületén*

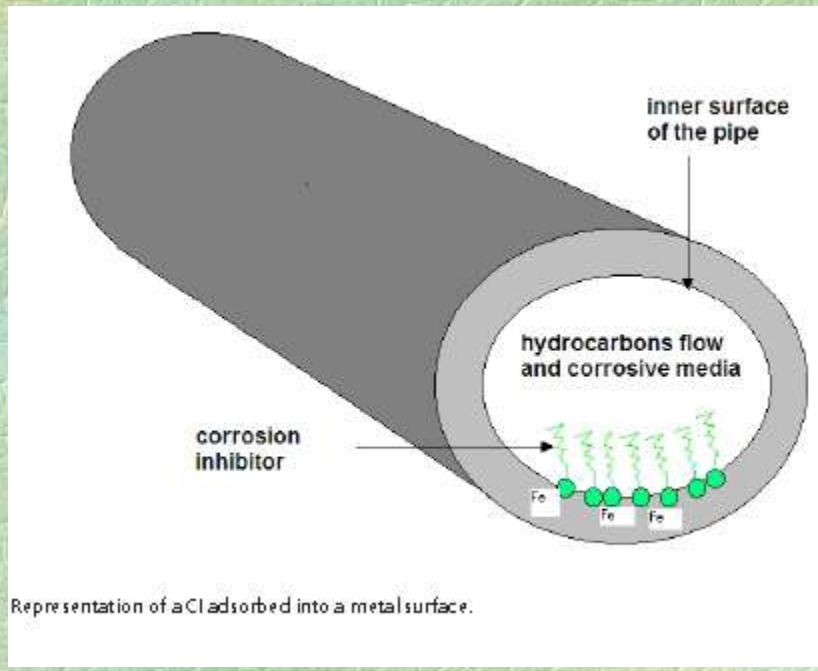




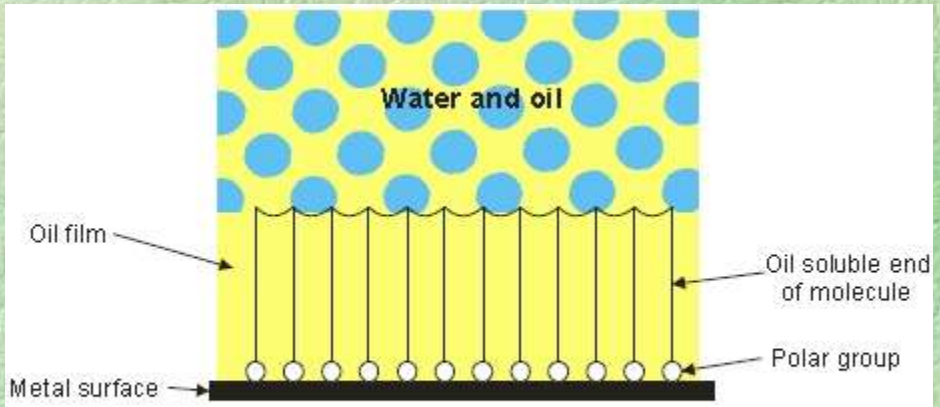
Csővezetékek inhibitoros védelme



Schematic of possible conditions in a wet gas pipeline

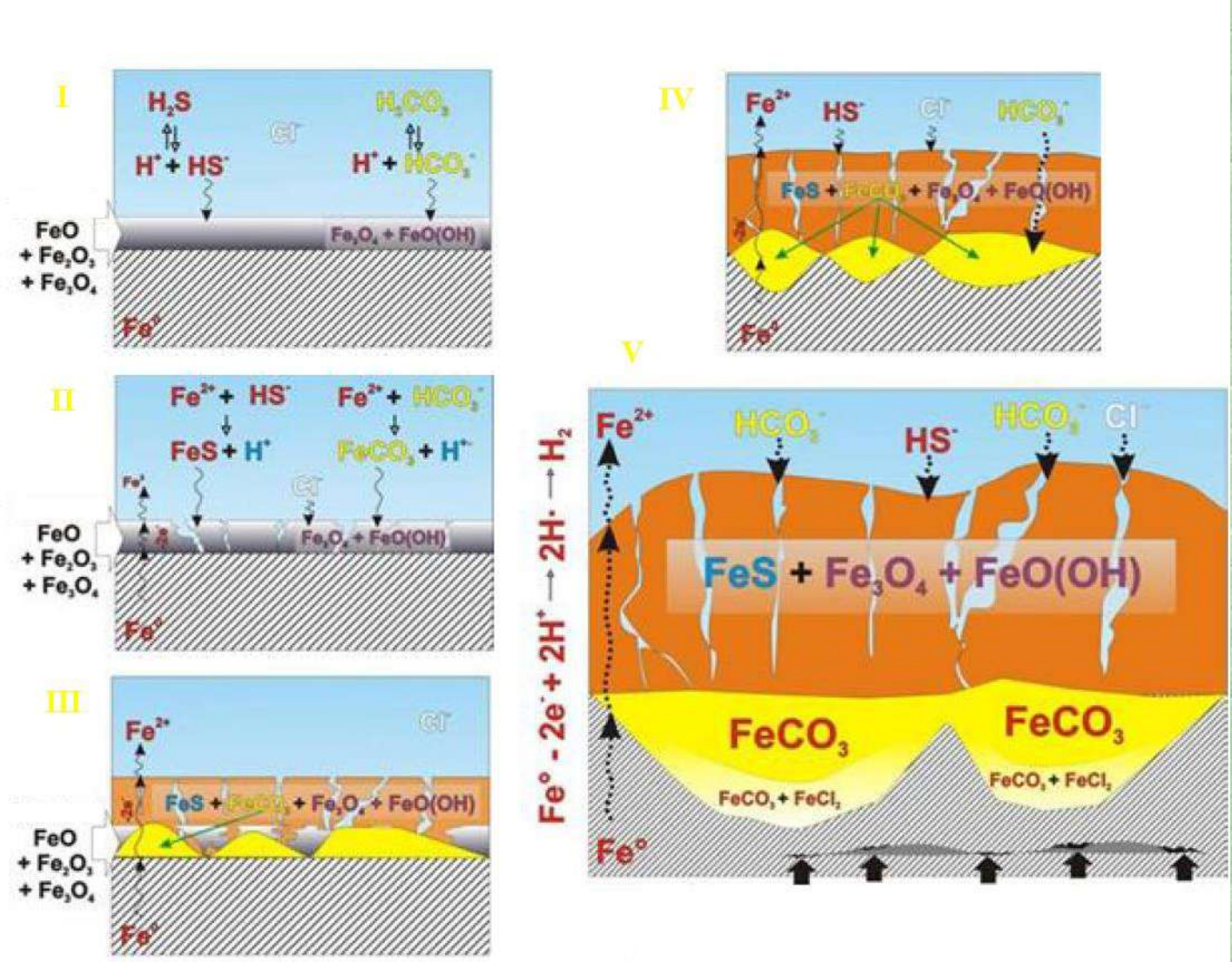


Representation of a Cl adsorbed into a metal surface.



Simple schematic showing how inhibitor film prevents water contacting a metal surface

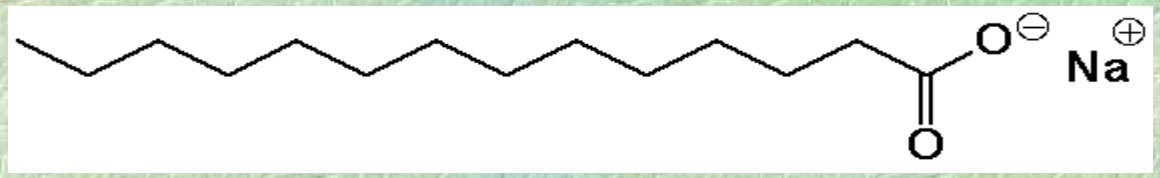
H_2S, CO_2 és Cl^- ion korróziós hatása



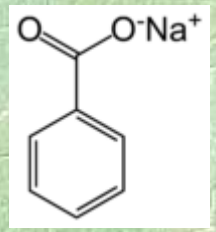
A korrózió ellen az aktív rétegképződ és előtt meg kell kezdeni az inhibitoros védekezést, ellenkező esetben hatástalan!

Lúgos közegek inhibitorai

- ***Zsíralkohol szulfonát*** ***nátrium-lauril-éter szulfát***



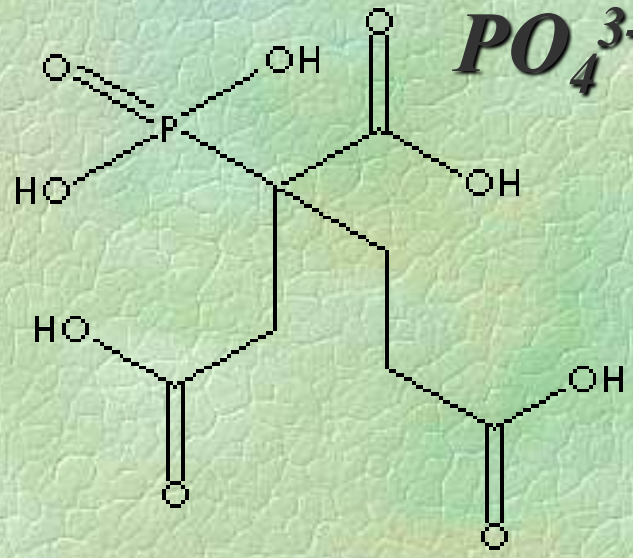
- ***Benzoát***



- ***Kinolin származékok***
- ***Aminok***

„Semleges” vizes közegek inhibitorai

- Nátrium-karbonát Na_2CO_3
- Nátrium-szulfit Na_2SO_3
- Kromát CrO_4^{2-}
- Foszfátok PO_4^{3-}
- Polifoszfátok
- Szilikátok



Semleges vizes közegek inhibitorai folyt

- *Acetátok*
- *Nátrium-nitrit*
- *Piridin*
- *Kinolin*
- *Benzoátok*
- *Hidrazin és származékai*
- *Zsírsav-aminok*
- *Szerves nitro vegyületek*

Vizek oxigénmentesítése

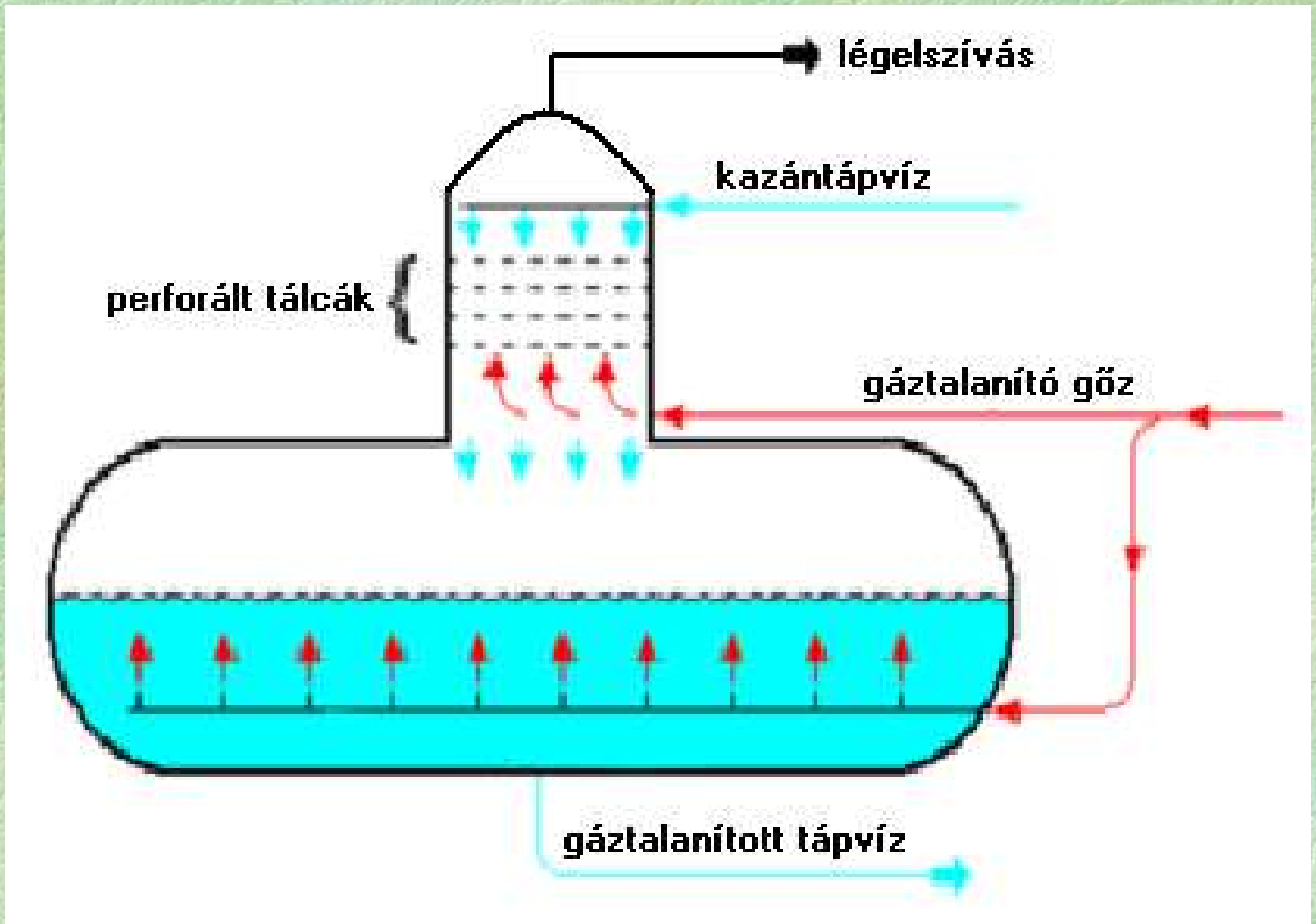
- ***A hidrazin-hidrátos oxigénmentesítés reakciója:***

$$N_2H_6(OH)_2 + O_2 = N_2 + 4\ H_2O$$

Korábban gyakran használtak
hidrazint oxigén eltávolításra.
A hidrazin a víz oxigéntartalmával
reagálva nitrogénre és vízre bomlik.
Rákkeltő hatása miatt használatát korlátozták.
Helyette nátrium-szulfit vagy biszulfit alkalmazható
(Na_2SO_3, $NaHSO_3$)

Oxigén eltávolítás

Kazántápvíz előkészítésekor nélkülözhetetlen



Kazántápvíz légtelenítő (kazántápvíz előállítás)

Inhibitorok szerves oldószerekhez

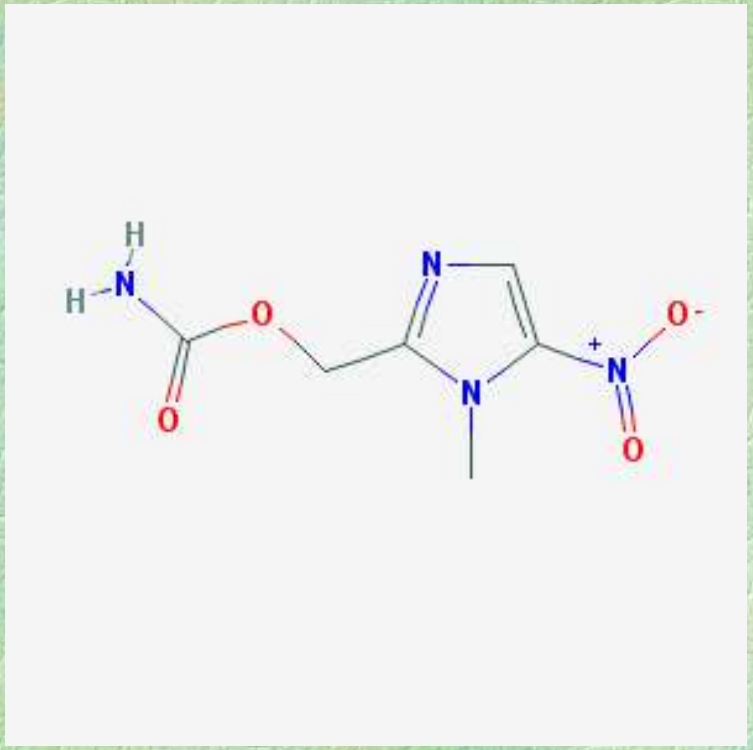
- *Benzoesav*
- *Aminok*
- *Szulfonátok*
- *Szerves nitrogén vegyületek*
- *Sztearátok*
- *Naftenátok*
- *Szerves peroxidok*
- *Bórsav-észter*

Inhibitorok atmoszférikus korrózió ellen

- *Nátrium-nitrit*
- *Benzoátok*
- *Urotropin*
- *Ciklo és diciklohexil-amin*
- *Diciklohexil-ammónium-nitrit*
- *Karbamid*
- *Trietanol-amin*
- *Benztiazol*
- *Quanidin-kromát*
- *Benzil-amin*

Inhibitorok festékbevonatokban

- *Nitro-fenolok*
- *Guanidin-kromát*
- *Zsírsav-aminok*
- *Sztearátok*
- *Diciklo-hexil-amin*



Oxigén megkötők (scavengerek)

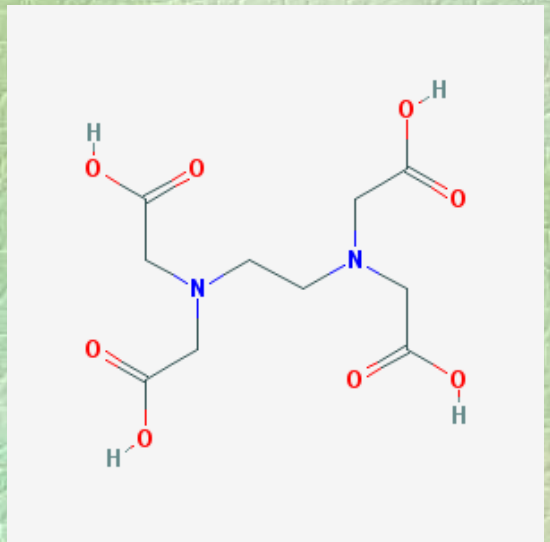
- *Hidrazin*
- *Nátrium-szulfit*
- *Pirogallol*
- *Karbo-hidrazin*
- *Metil-etil-ketoxim (MEKO)*
- *Hidrokinon*
  - $2\,Na_2SO_3 + O_{2\,(oldott\ ox.)} = 2Na_2SO_4$
  - $N_2H_4 + O_2 = N_2 + 2H_2O$

Vízkő inhibitorok

- ***Foszfátok***
- ***Polifoszfátok***
- ***Foszfonátok (környezetbarát anyagok)***
- ***Kelátok (EDTA) (NTA)***
  - ***EDTA: Etilén-diamin-tetra-acetát,***
  - ***NTA: Nitrilo-triacetát***

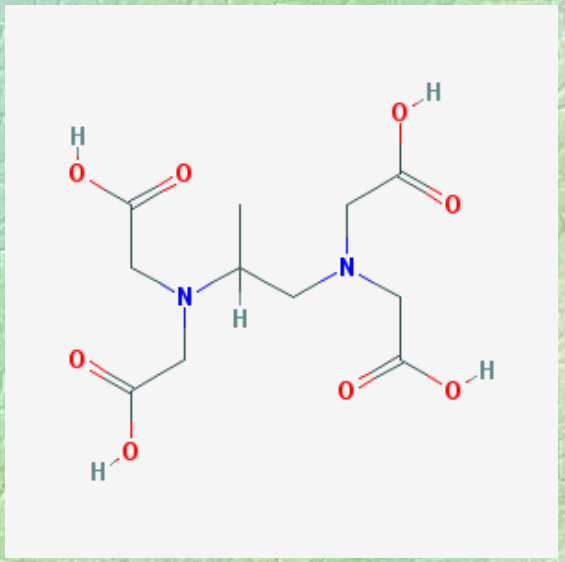
KELÁTKÉPZŐK (SI)
vízkő-inhibitorok-1

- *EDTA*



Ethylene-diamine-tetraacetic acid

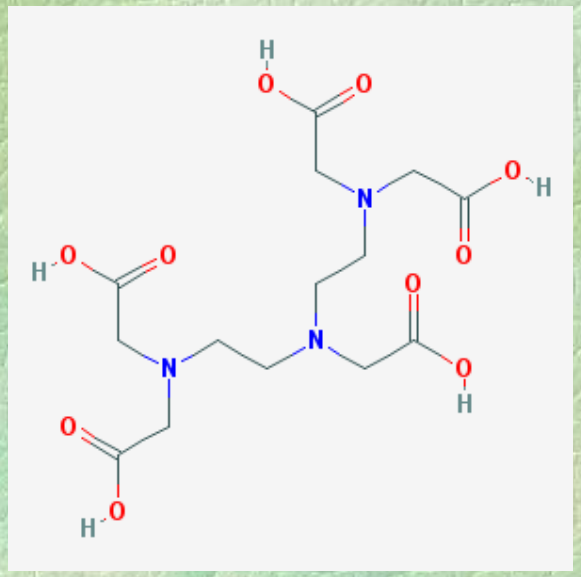
- *PDTA*



Propylene-diamine-tetraacetic acid

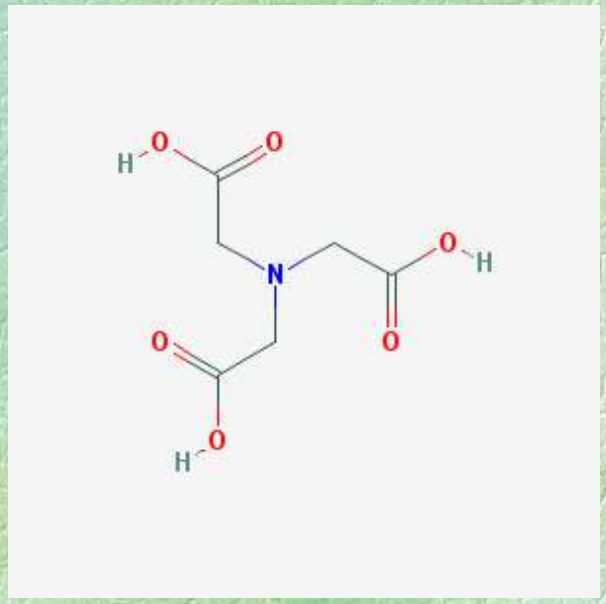
KELÁTKÉPZŐK (SI) vízkő-inhibitorok-2

- DTPA



Diethylene-triamine-pentaacetic acid

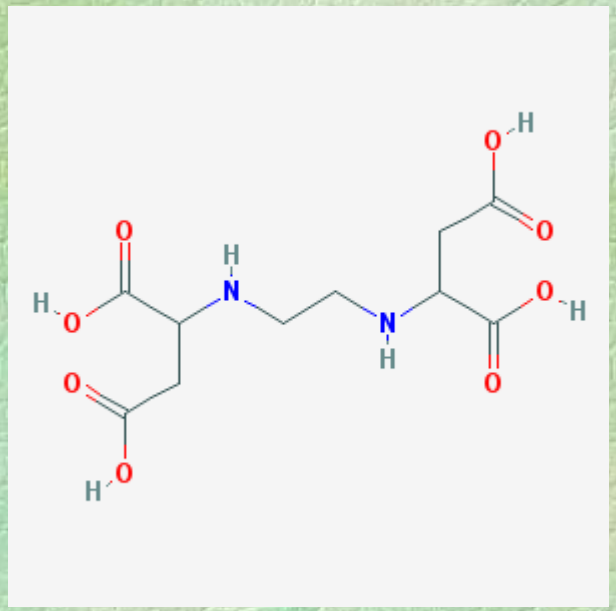
- NTA



Nitrilo-triacetic acid or Amino-triacetic acid

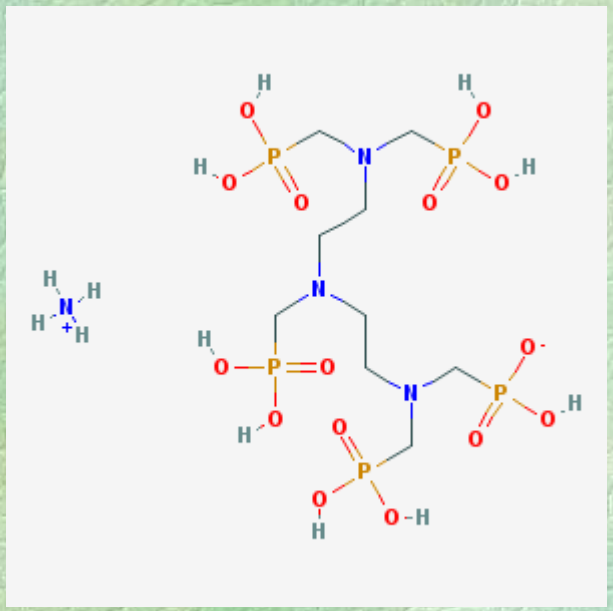
KELÁTKÉPZŐK (SI) vízkő-inhibitorok-3

- *EDDS*



N,N'-Ethylene-diamine disuccinic acid

- *AAPA*



[(bis{2-[bis(phosphonomethyl) amino]ethyl} amino) methyl] phosphonic acid ammoniate

Biocidok

- ***Klór*** — Cl_2
- ***Nátrium hipoklorit*** — $NaOCl$
- ***Kalcium hipoklorit*** — $Ca(ClO)_2$
- ***Klór-dioxid*** — ClO_2
- ***Bróm*** — Br_2
- ***Ózon*** — O_3

Biocidok folytatás

- ***Hidrogénperoxid*** H_2O_2
- ***Peroxi-ecetsav*** CH_3COO_2H
- ***Hipobrómsav*** ***HOBr***
- ***Hipoklórsav*** ***HOCl***
- ***BCDMH*** ***1-Bromo-3-chloro-5,5-dimethylhydantoin***

Biocidok folytatás

- *Aldehidek*
- *Izo-tiazol* C_3H_3NOS
- *bisz-tiocianát* $CH_2(SCN)_2$
- *Imidazolkarbamát* $C_6H_8N_4O_4$
- *Hexahidrotriazin* $C_9H_{21}N_3O_3$
- *Oktil izo-tiazol* $C_{11}H_{19}NOS$
- *2-Piridil merkaptán* $(C_5H_5N)S$

- *Kvaterner ammonium sók*

Biocidok adagolása

- *Klór*
- *Ózon*
- *Klórdioxid*
- *Hidrogénperoxid*
- *Jód*
- *Kvaterner-ammónium só*
- *Formaldehid*
- *Felületaktív anyag*

Biocide	Dosage Level (mg/l)	Contact Time (hours)
Chlorine		
Ozone	50-100	1-2
Chlorine dioxide	10-50*	<1
Hydrogen peroxide	50-100	1-2
	10% (v/v)	2-3
Iodine	100-200	1-2
Quaternary ammonium cmpds.	300-1000	2-3
Formaldehyde	1-2% (v/v)	2-3
Anionic & nonionic surfactants	300-500	3-4

* Ozone dosage is 10-50 mg/l, but the residual levels in water were 1-2 mg/l.

Olajiparban használt inhibitorok

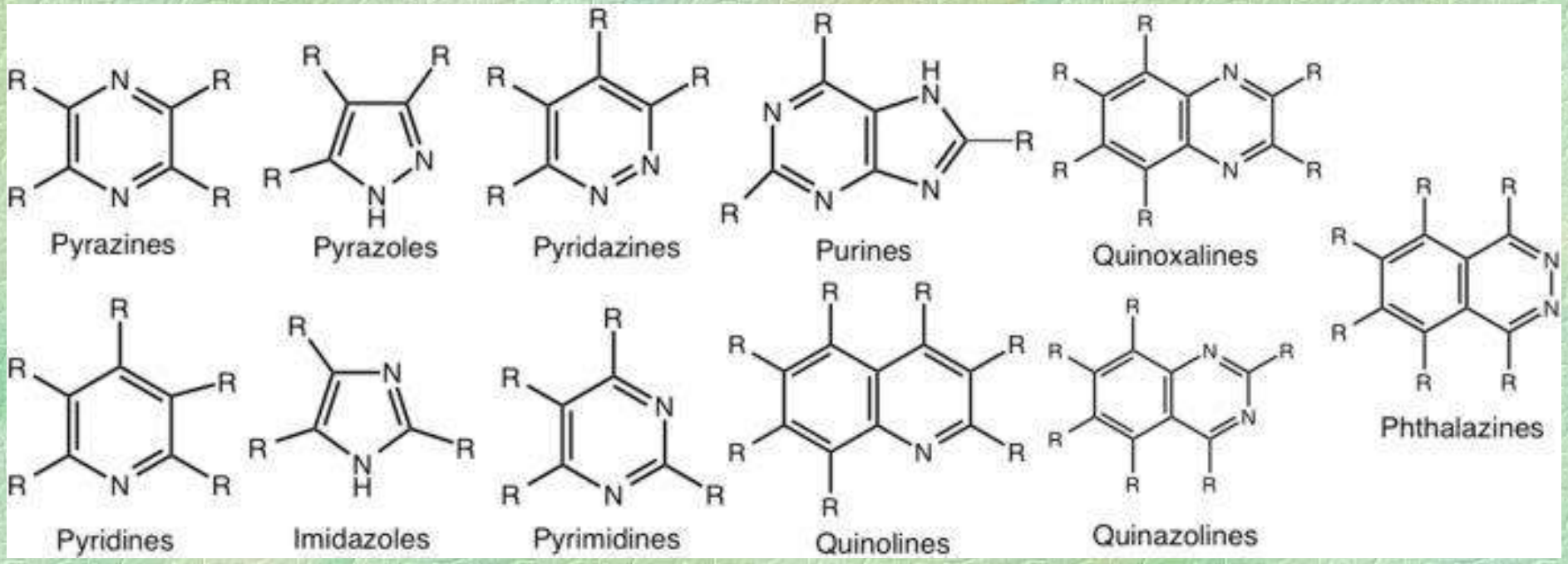
- *Karbonátok*
- *Ammónia*
- *Piridin*
- *Kinolin*
- *Amid-azolin*
- *Zsírsav aminok*
- *Imidazolin*
- *Kvaterner ammónium sók*

Alkalmazott inhibitorok és semlegesítők a finomítókban

Amines and Amine hydrochlorides

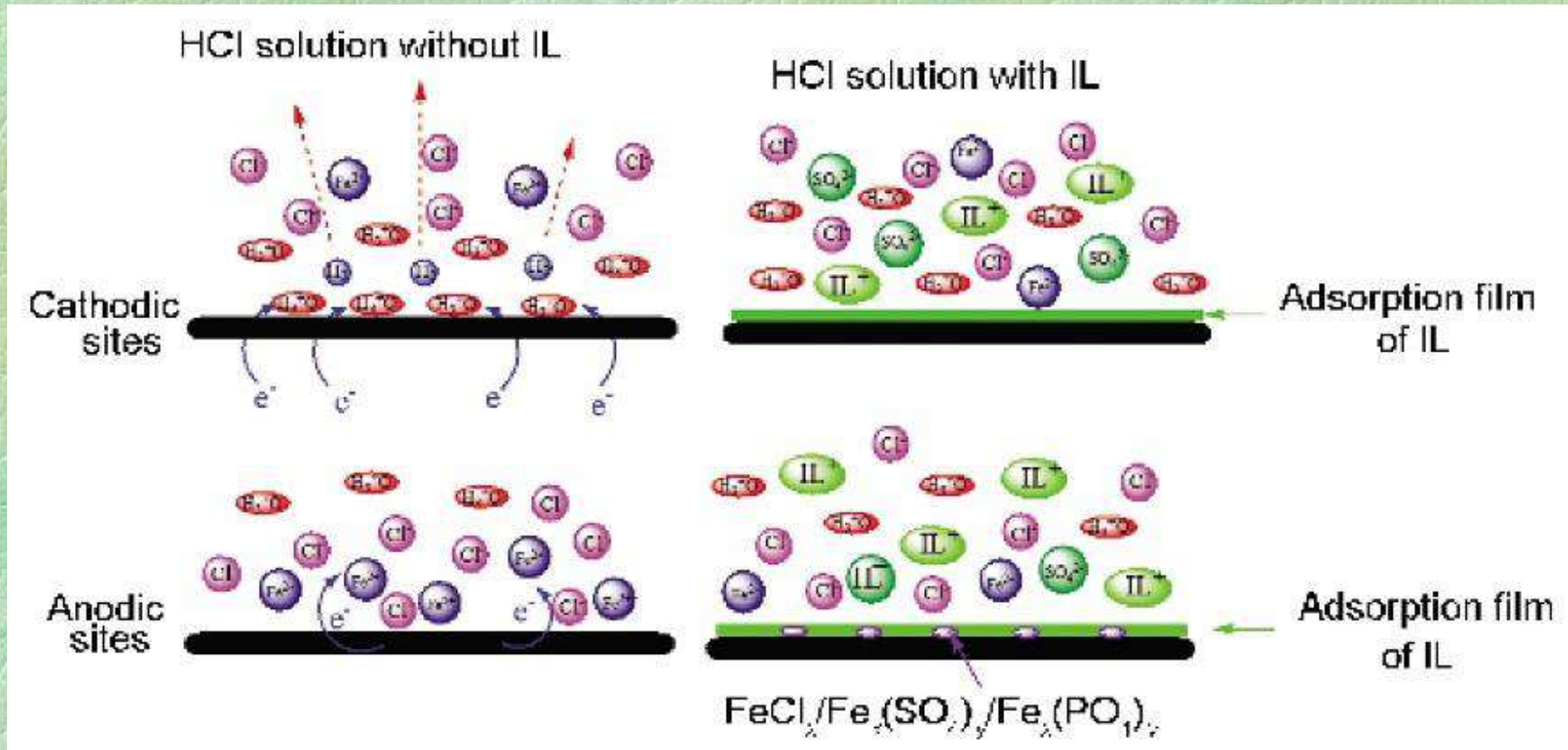
Methylamine	CH_3NH_2
Dimethylamine	$(CH_3)_2NH$
Trimethylamine	$(CH_3)_3N$
Ethylamine	$CH_3CH_2NH_2$
Diethylamine	$CH_3CH_2NHCH_2CH_3$
Propylamine	$CH_3(CH_2)_2NH2$
Butylamine	$CH_3(CH_2)_3NH2$
2-Butylamine	$CH_3CH_2CH(CH_3)NH_2$
Cyclohexylamine	$c\text{-}(CH_2)_5CHNH_2$
Ethylenediamine	$H_2N(CH_2)_2NH_2$
Morpholine	$c\text{-}(CH_2)_2O(CH_2)_2NH$
N-Methylmorpholine	$c\text{-}(CH_2)_2O(CH_2)_2NCH_3$
N-Ethylmorpholine	$c\text{-}(CH_2)_2O(CH_2)_2NC_2H_5$
Ethanolamine (MEA)	$HO(CH_2)_2NH_2$
Diethanolamine (DEA)	$HO(CH_2)_2NH(CH_2)_2OH$
Dimethylethanolamine (DMEA)	$(CH_3)_2N(CH_2)_2OH$
Diglycolamine (DGA)	$HO(CH_2)_2O(CH_2)_2NH_2$
N-Methoxypropylamine	$H_2N(CH_2)_3OCH_3$
Dimethylisopropanolamine	$HOCH(CH_3)CH_2N(CH_3)_2$
Methyldiethanolamine (MDEA)	$CH_3N(C_2H_4OH)_2$

Filmképző polimerizálható N tartalmú inhibitorok



- *Elsősorban CO_2 és H_2S korrózió ellen védenek jól*

Savas, lúgos és semleges környezetben ható inhibitorok



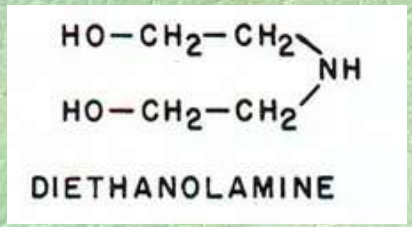
- *Brönsted sav: (1-metil-3-(4-szulfonsav) butil imidazol hidrogén szulfát [14 mmol/l adagolással]*

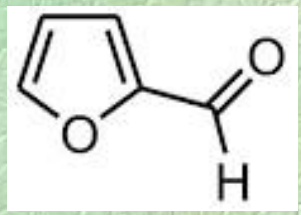
Inhibitorok sósavas közegben (acél)

- *Aminok (hehametilén-tetramin) HEXA= urotropin*
- *Aldehidek (formaldehid) ((butil-aldehid és kondenzációs termékei)*
- *Tiokarbamid*
- *Dibenzil-szulfoxid*
- *Antimon-triklorid* - „Clarke” oldat*
- *Ón-klorid –Ón-triklorid*
- *Arzén-triklorid*
- *Polimerek (butil-amin-aldehid)*
- *Katapin (alkil-benzil-piridinium-klorid)*

Inhibitorok sósavas közegben

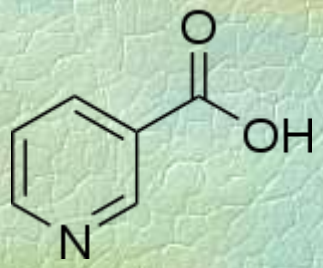
- **Réz sósavban**
  - **Etilén-oxid**
  - **Dietanol-amin**
  - **Furfuraldehid**
- **Nikkel sósavban**
  - **Réz vegyületek**
- **Ón sósavban**
  - **Antimon vegyületek**



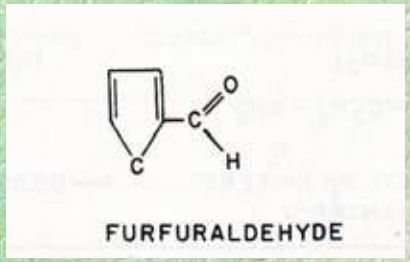


Inhibitorok sósavas közegben folyt.

- ***Aluminium sósavban***
  - *Tiokarbamid*
  - *Nikotinsav*
  - *Dextrin*
  - *Tanin*
  - *Akridin*
  - *Sztrichin*
  - *Kinin-hidroklorid*
  - *Furfuraldehid*
  - *Fenil-acetaldehid*
  - *Cinochonin-szulfát*
  - *Anilin*
  - *Kinolin*



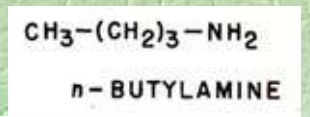
Nikotinsav

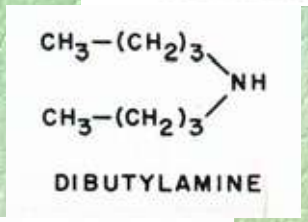


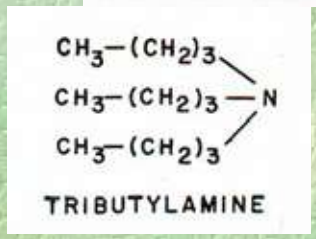


Inhibitorok sósavas közegben folyt.

- ***Magnézium sósavban***
  - ***n-butil-amin***
  - ***di-(n-butil-amin)***
  - ***tri-(n-butil-amin)***
- ***Sárgaréz sósavban***
  - ***Kálium-rodanid***
  - ***Ón-klorid ($SnCl_2$)***

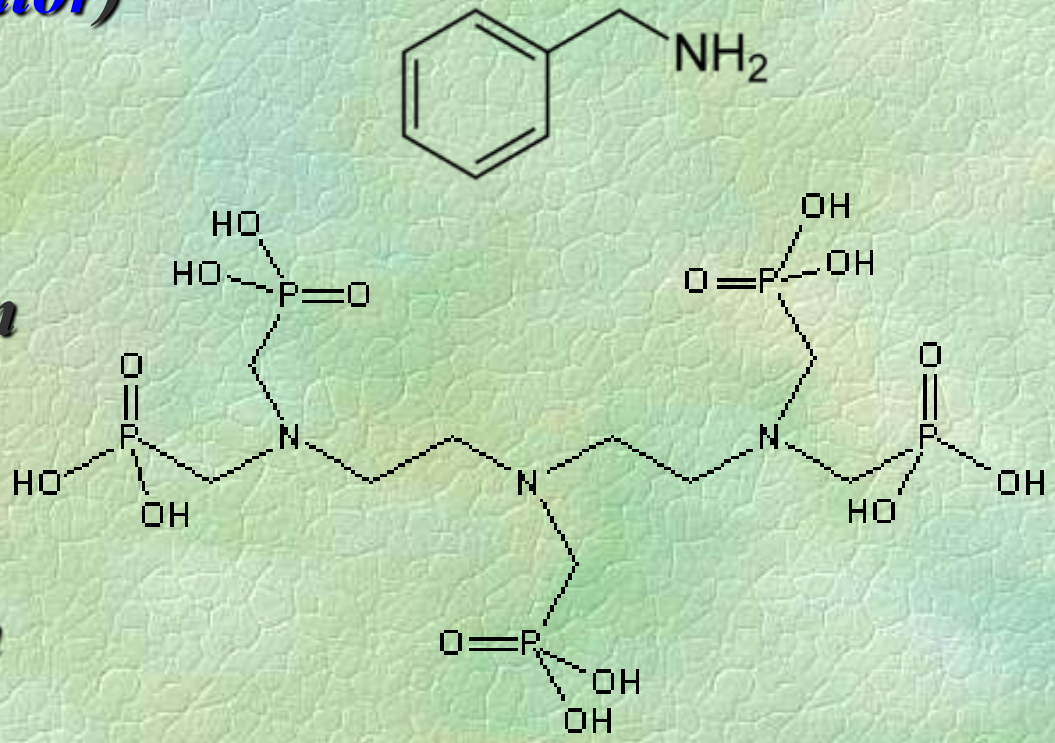






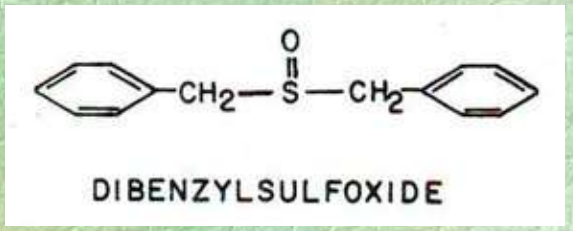
Kénsavas oldatok inhibitorai (acél)

- *Zselatin (fizikai inhibitor)*
- *Enyv (fizikai inhibitor)*
- *Aminok*
- *Nafto-kinolinok*
- *1,8-naftilén-diamin*
- *Dibenzil-amin*
- *1,2-diamin-etán*
- *Alfa-naftalin-amin*



Kénsavas oldatok inhibitorai folyt.

- *Benzidin és származékai*
- *Papaverin*
- *Narkotin*
- *Sztichin*
- *Dibenzil-szulfoxid (DBS)*
- *Merkaptánok*
- *Tiosavak*



DIBENZYLSULFOXIDE

Kénsavas oldatok inhibitorai folyt.

- *Tiokarbamid*

  (csak kis koncentrációban hatékony!)

  (18:8 CrNi savazásánál nem használható!)
- *Tioglikol*
- *Halogenid ionok: klorid, bromid, jodid (jodid a leghatékonyabb!)*
- *Arzén vegyületek*
- *Katapin (alkil-benzil-piridinium-klorid)*

Kénsavas oldatok inhibitorai folyt.

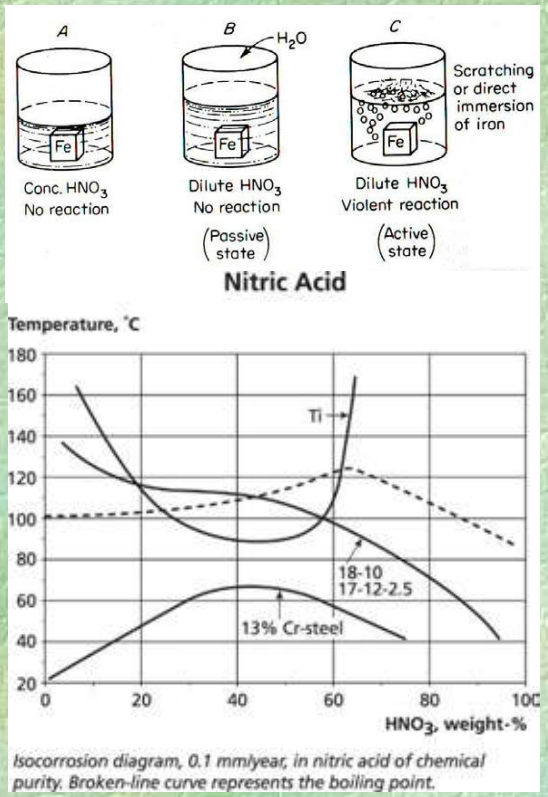
- ***Piridin bázisok sói:***
  - ***N-piridinium-klór-hidrát***
  - ***N-propil-piridinium-klorid***
  - ***N-hexil-piridininium-klorid***
  - ***N-decil-piridinium-klorid***
  - ***N-cetil-piridinium-klorid***
  - ***N-propil-3-oxi-piridinium-klorid***
  - ***N-decil-3-oxi-piridinium-klorid***
  - ***N-cetil-3-oxi-piridinium-klorid***

Kénsavas oldatok inhibitorai folyt.

- Aluminium kénsavban
  - Nátrium-kromát
  - Nátrium-bikromát
- Réz, sárgaréz kénsavban
  - Benzil-tiocianát
- Ón kénsavban
  - Zsírsav-amid és származékai

Salétromsav oldatok inhibitorai (acélok)

- Halogenidek
  - (klorid, bromid, jodid)
  - (jodid a leghatékonyabb!)
- Rodanátok
- Szulfidok
- Szulfitok
- Tiokarbamid (hatása nem tartós!)



Isocorrosion diagram, 0.1 mm/year, in nitric acid of chemical purity. Broken-line curve represents the boiling point.

Salétromsav oldatok inhibitorai (acélok) folyt.

- *Alkoholok*
- *Éterek*
- *Cukrok*
- *Azidok*
- *Hidrazin*
- *Bikromátok*
  - *(csak híg salétromsavban)*
  - *nagyon kis koncentrációban gyorsítóként hat!*

Salétromsav oldatok inhibitorai folyt.

- ***Réz salétromsavban***
  - ***Éter***
  - ***Ecetsav-anhidrid***
  - ***Benzoesav-anhidrid***
  - ***Borkősav- csak híg oldatokban***
  - ***Citromsav - csak híg oldatokban***
  - ***Hangyasav - csak híg oldatokban***
  - ***Oxálsav - csak híg oldatokban***
  - ***Glicerin - csak híg oldatokban***
  - ***Glükóz - csak híg oldatokban***

Salétromsav oldatok inhibitorai (réz) folyt.

- *Tiokarbamid*
- *Hidroxil-amin*
- *Hidrazin*
- *Fenil-hidrazin*
- *Hidrazin-szulfát*
- *Szulfidok*
- *Szulfitok*
- *Tioszulfátok*
- *Kálium-permanganát - csak híg oldatokban*
- *Hidrogén-peroxid - csak híg oldatokban*

Salétromsav oldatok inhibitorai (SS, Al) folyt.

- ***Rozsdamentes acélok (SS - CRA)***
  - ***Cink-oxid***
  - ***Cink-nitrát***
  - ***Alumínium-nitrát***
  - ***Hidrogén-fluorid***
- ***Aluminium salétromsavban***
  - ***Hidrogén-fluorid***

Salétromsav oldatok inhibitorai (Ti) folyt.

- ***Titán füstölgő salétromsavban***
  - ***Réz-nitrát***
  - ***Réz-szulfát***
  - ***Króm-nitrát***
  - ***Króm-szulfát***
  - ***Mangán-nitrát***
  - ***Mangán-szulfát***
  - ***Ón-nitrát***
  - ***Ón-szulfát***
  - ***Vas-nitrát***
  - ***Vas-szulfát***
  - ***Króm-nitrát***
  - ***Króm-szulfát***

Semleges és lúgos közegek inhibitorai

- **Kromátok**
  - Na_2CrO_4 — Nátrium-kromát
  - K_2CrO_4 — Kálium-kromát
  - Li_2CrO_4 — Lítium-kromát
  - $(NH_4)_2CrO_4$ — Ammónium-kromát
  - $Na_2Cr_2O_7$ — Nátrium-bikromát
  - $K_2Cr_2O_7$ — Kálium-bikromát

Kromátok

- *Szerves amin-kromátok*
  - *Cián-amid-kromát*
  - *n-propil-amin-kromát* $(C_3H_7NH_2)_2CrO_4$
  - *izo-butil-amin-kromát*
  - *Diciklo-hexil-amin-kromát*
  - *Guanidin-kromát*
  - *izo-propil-amin-kromát*
  - *Ciklohexil-amin-kromát*

Kromátok folytatás

- ***Részben merített rendszerekben a kromát koncentrációt emelni kell!***
- ***A kromát passzívátorként viselkedik***
- ***Magas hőmérsékleten, vagy alul adagolt kromátok esetében lyukkorrózió alakul ki***
- ***A kromátok csak az anódos reakció sebességét csökkentik!***

Szervetlen anódos inhibitorok

- ***Kromátok (lásd előző diákat!)***
- ***Volframát***
  - ***Nátrium-volframát Na_2WO_4***
  - ***Optimális volframát koncentráció: kb. 0,075 mol/l***
  - ***Kloridok jelenlétében növelni kell a volframát koncentrációt***

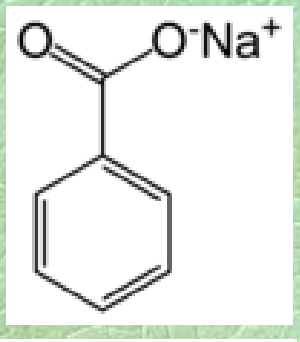
Szervetlen anódos inhibitorok folyt.

- ***Molibdát***
  - ***Nátrium- molibdát*** Na_2MoO_4
  - ***Hasonlóan, mint a volframátok, optimális koncentrációban adagolva hatékonyan csökkentik az anódos fémoldódást: kb 0,05 mol/l***
  - ***A molibdátok védőkoncentrációja kisebb, mint a kromátoké és a volframátoké***
  - ***Kloridok jelenlétében növelni kell a molibdát koncentrációt (Kloridok letörik a védőhatást!)***

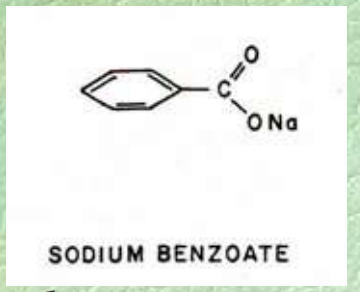
Szervetlen anódos inhibitorok folyt.

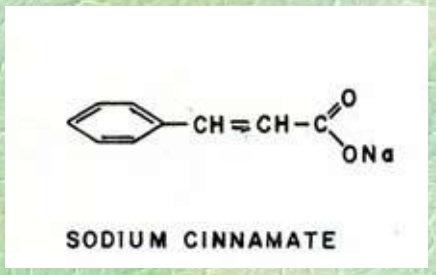
- ***Nitritek***
- ***Nátrium-nitrit*** $NaNO_2$
  - ***A nitrit korrózióvédő tulajdonságai nagymértékben függenek az aggresszív ionok koncentrációjától. Kis védőkoncentrációknál a nitrit részlegesen védi az alapfémet és lokális korrózió alakul ki. A „kritikus” koncentráció alatt a korróziós folyamatot gyorsítja!***
  - ***A nitrit védőkoncentrációja jelentősen függ a környezeti hőmérséklettől.***
  - ***A nitrit védőtulajdonságait különböző anionok elnyomják:***
    - ***Szulfát > Klorid > Nitrát***
  - ***Szulfát jelenlétében magasabb nitrit koncentrációra van szükség, mint klorid jelenlétében.***
- ***Diciklohexil-amin-nitrit***
- *Nitro-benzoesav sók (piperidin-nitro-benzoát).*

Benzoátok „a csodaszer”



- *Nátrium-benzoát* C_6H_5COONa
  - *Acélon kívül szinesfémek védelmére is alkalmazható*
- *Nátrium-cinnamát* $C_5H_6CH=CHCOONa$
  - *Nem képeznek oldhatatlan vegyületeket ezért nem okoznak lokális korróziót*
- *Dietil-amin-benzoát*
- *Ciklohexil-amin-benzoát*
- *Diciklohexil-amin-benzoát*
- *Hexametilén-imin-benzoát* — *réz védelmére is kiváló*
- *Piperidin-benzoát* — *réz védelmére is kiváló*





Szilikátok

- $n\ Na_2O*m\ SiO_2$
- A szilikát oldatok az alábbi részecskéket tartalmazzák:
  - Ionok: Na^+, OH^-, SiO_3^{2-}, $HSiO_3^-$, nSiO52-
  - Molekulák: Na_2SiO_3, Na_2SiO_5, H_2SiO_3, $SiO_2*nNaOH$
  - Komplexek: $(SiO_3)_x$, $(H_2SiO_3)_x$, $(SiO_2)_x$, $[(mSiO_3*nSiO_2*xH_2O]^{2-}$, $(SiO_2)_x*nH_2O*ySiO_3$

Szilikátok folytatás

- *Szilikátok csak olyan közegben hatékony inhibitorok, amelyben a só koncentrációja kicsi (100-500 mg/l)*
- *Kis koncentrációban adagolva a korróziósebességet növelik, optimális koncentrációjuk 0,025 mol/l, illetve 50°C-ig monoton nő*
- *Aluminium fém védelmére kiválóan alkalmas a nagy molekulatömegű szilikát inhibitor*

Borátok

- Nátrium tetraborát $Na_2B_4O_7$
- Nátrium perborát $NaBO_3*4H_2O$
- Nátrium-borát Na_3BO_3
  - Igen nagy pufferkapacitású keverékek készíthetők belőlük. A nátrium-borát optimális koncentrációja: 0,3 mol/l

Foszfátok

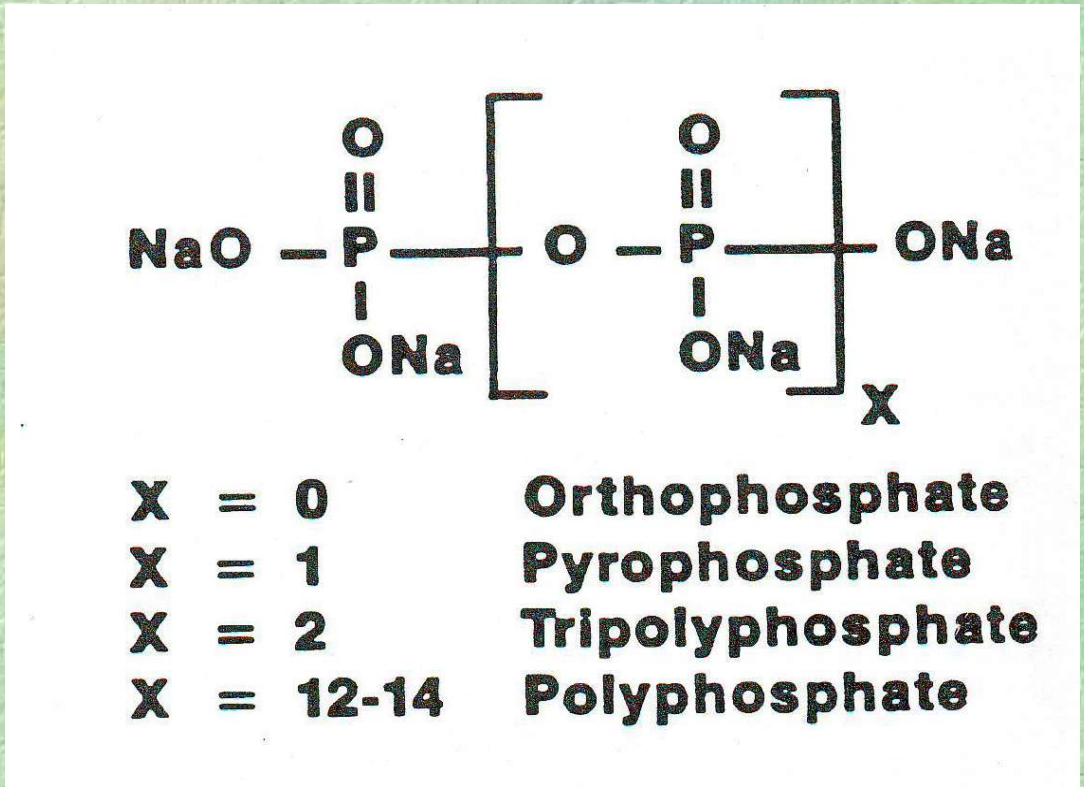
- Trinátrium-foszfát (ortofoszfát) Na_3PO_4
- Dinátriu,-hidrogén-foszfát Na_2HPO_4
- Nátrium-dihidrogén-foszfát NaH_2PO_4
- Nátrium-metafoszfát $NaPO_3$
- Nátrium-hexametafoszfát $(NaPO_3)_6$
- Pirofoszfát $Na_4P_2O_7$
- Tripolifoszfát $Na_5P_3O_{10}$
- Polifoszfát $Na_2PO_3*(NaPO_3)_x$

Foszfátok folytatás

- *Nem csak korrózióvédelemre, hanem vízkő inhibitornak is alkalmazhatóak*
- *Különböző kationok növelik a foszfátok védőhatását: Ca, Zn*
- *A polifoszfátok nem mérgezőek, kis koncentrációban alkalmazva is védenek a korrózió ellen Green inhibitor!*
- *Hátrányuk, hogy ortofoszfáttá alakulnak, és ez elősegítheti a karbonátok kiválását*
- *Kis karbonát koncentrációknál tartós korrózióvédelem biztosítható*
- *A vizek keménysége befolyásolja az alkalmazható koncentrációt* *Ca^{2+} és foszfát arány!*
  - $Ca^{2+} + Na_6P_6O_{18} = Na_4CaP_6O_{18} + 2Na^+$
- *A víz áramlási sebességének emelése emeli az inhibitor védőhatását is*

Foszfátok folytatás

- ***Foszfátok általános szerkezete***



„Szervetlen” inhibitorok acélokra vonatkozó optimális védőkoncentrációja

Inhibitor	Védőkoncentráció [mol/l]
Na_2CrO_4	0,062
Li_2CrO_4	0,046
$(NH_4)_2CrO_4$	0,052
K_2CrO_4	0,068
Na_2MoO_4	0,060
$NaNO_2$	0,145
$NaVO_3$	0,245
NH_4VO_3	0,427
Na_3VO_4	0,100
NaOH	0,125
Na_2CO_3	0,075
$NaHCO_3$	0,357
Na_3PO_4	0,026
Na_2HPO_4	0,055
NaH_2PO_4	Nem védi a vasat
$NaBO_3$	0,314
Na_2SiO_3	0,021
Na_2WO_4	0,060
C_6H_5COONa	0,210

Só (NaCl) hatása az optimális inhibitor koncentrációra

„Szervetlen” inhibitorok acélokra vonatkozó optimális védőkoncentrációja nátrium-kloridos oldatokban

Só koncentráció NaCl mg/l	Optimális védőkoncentráció mg/l			
	Na_2CrO_4	$NaNO_2$	$(NaPO_3)_6$	$Ca^{2+}+(NaPO_3)_6$
0	40	13	110	24
2500	3300	1400	170	100
25000	170000	15000	210	50

- ***A korábbi sorrend megváltozik!***
- ***Cl ionok hatására az anódos inhibitorok eltérően viselkednek***

„Green” azaz környezetbarát inhibitorok

- *Biodegradálhatóak*
- *Nem akkumulálódnak*
- *Nem toxikusak (L_d50)*
- *Természetes anyagok kivonatai (pl. mango, rozmaring, stb.)*
- *Nagy molekulájú bio-polimerek (aszpartátok, aminosavak, alkil-poliglükozidok, poli-epoxi-borostyánkősav)*

Korrózióvédelem Inhibitorokkal-III

Az oktatási anyag Csabai Tibor

Korróziós szakértő

Korrózióvédelmi mesteriskola tananyagának felhasználásával készült

Tartalomjegyzék III. rész

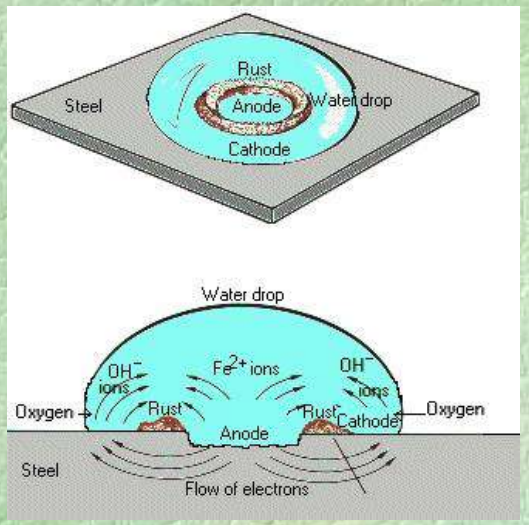
- Inhibitorok a különböző „vizes” iparágakban
  - Vízrendszerek korrózió és vízkő inhibitorai (corrosion, scale)
  - Biocidok
  - Oxigén megkötők, kénhidrogén megkötők (scavengers)
- Olajiparban használt inhibitorok
  - Olaj és gáztermelés inhibitorai
  - „Édes és savanyú” közegek kezelése (sweet, sour)
  - Finomítás vegyszerei
  - Szállítás vegyszerei
  - Vízkezelés vegyszerei

A víz mint korróziós közeg

- **Kémiai paraméterek**
  - pH (szerves savak is!)
  - Lúgosság (m és p lúgosság), vízkeménység
  - Oldott sók (vezetés)
  - Oldott gázok (O_2, CO_2, H_2S)
  - Lebegő anyag, szilárd kiválások
  - Mikroorganizmusok



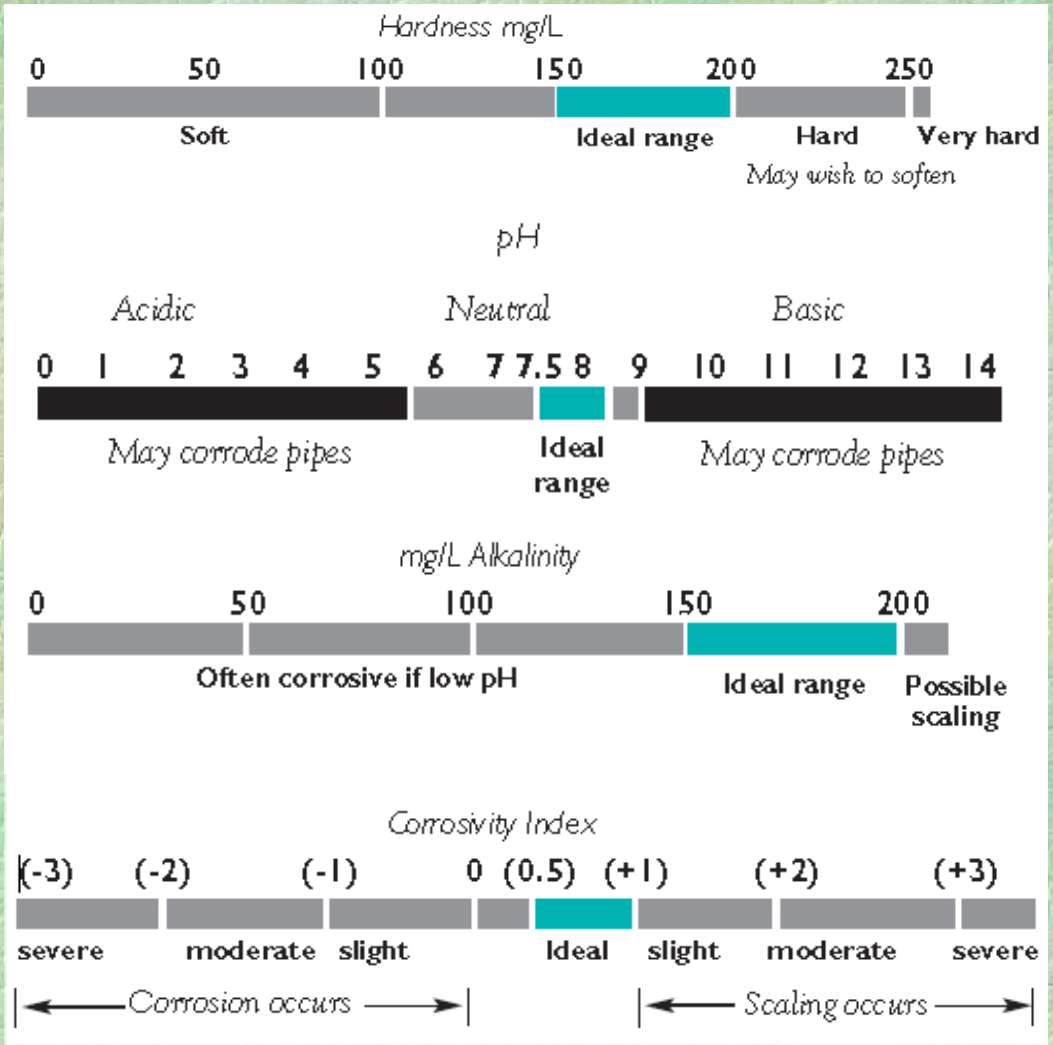
A víz mint korróziós közeg folyt.



- *Fizikai paraméterek:*
  - *Hőmérséklet*
  - *Nyomás*
  - *Áramlási viszonyok*
  - *Felület tulajdonságai (érdesség, anyagi minőség)*
  - *Irányváltások keresztmetszet változások (turbulenciák, pangó szakaszok)*

Általános, korróziós szempontból javasolt vízkémiai jellemzők

- Keménység
- pH
- Lúgosság
- Korrozivitás index (LSI)



Nedves talajok korróziós hatásai

Talajagresszivitás:

Talajagresszivitás:	**talajellenállás Ωcm**
viszonylag kevésbé agresszív	Ωcm > 25 000
mérsékelten agresszív	Ωcm =10 000 -25 000
enyhén agresszív	Ωcm = 3 000 -10 000
agresszív	Ωcm = 1 000 -3 000
nagyon agresszív	Ωcm = 500 -1 000
erősen agresszív	Ωcm < 500

Fajlagos elektromos vezetés

< 250 μS/cm nagyon csekély korróziós hatás
250-500 μS/cm csekély korróziós hatás
5000-1000 μS/cm közepes korróziós hatás
1000-3000 μS/cm nagy korróziós hatás
> 3000 μS/cm nagy korróziós hatás

Vízagresszivitás (talajvizekre)

Vízagresszivitás:

Vízminősítés	**$C_a(C_{Cl^-} + C_{SO_4^{2-}})$mg/l**
gyengén agresszív	C_a mg ≤ 50
közepesen agresszív	C_a mg = 50-150
erősen agresszív	C_a mg > 150

Vízkeménység:

Vízminőség	**CaO mg/l**
igen lágy	CaO mg < 40
lágy	CaO mg = 40-80
közepesen kemény	CaO mg = 80-160
kemény	CaO mg = 160-360
igen kemény	CaO mg >360

Vízagresszivitás (talajvizekre) folyt.

- ***Ionerősség, fajlagos vezetés hatása a várható korrózió mértékére***
  - ***Vezetőképesség – összes oldott só koncentráció***

$$\text{Só mg/ dm}^3\text{ (mg/l)} = \text{mS} \cdot 640 = \mu\text{S} \cdot 0{,}64$$

Várható korrozivitás:

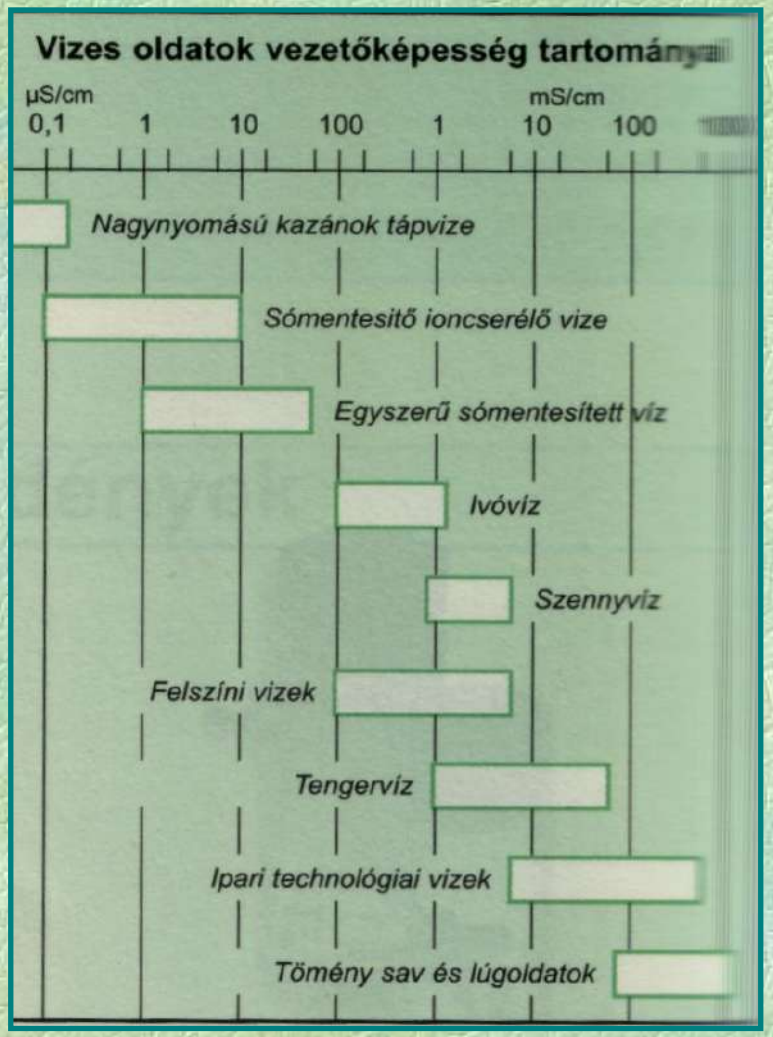
Korrózió sebesség	fajlagos vezetés µS/cm
nagyon csekély	µS/cm < 40
csekély	µS/cm = 40-80
közepes	µS/cm = 80-160
nagy	µS/cm = 160-360
igen nagy	µS/cm >360

Vizes oldatok vezetőképessége

- *A mért vezetőképességből a vizek oldott só koncentrációjára következtethetünk*

$$\text{Só mg/ dm}^3\text{ (mg/l)} = \text{mS} \cdot 640 = \mu\text{S} \cdot 0{,}64$$

A sótartalom a korróziósebességre kiemelt hatással van



Vízkő, vagy korrózió?

- *Víz stabilitása*
  - *pH és lúgosság összefüggései*



Vízkőkiválás és korróziós hajlam:

L_t

$L_t = pH_{mért} - pH_s$ Langelier index
(ahol pH_s telítési pH)

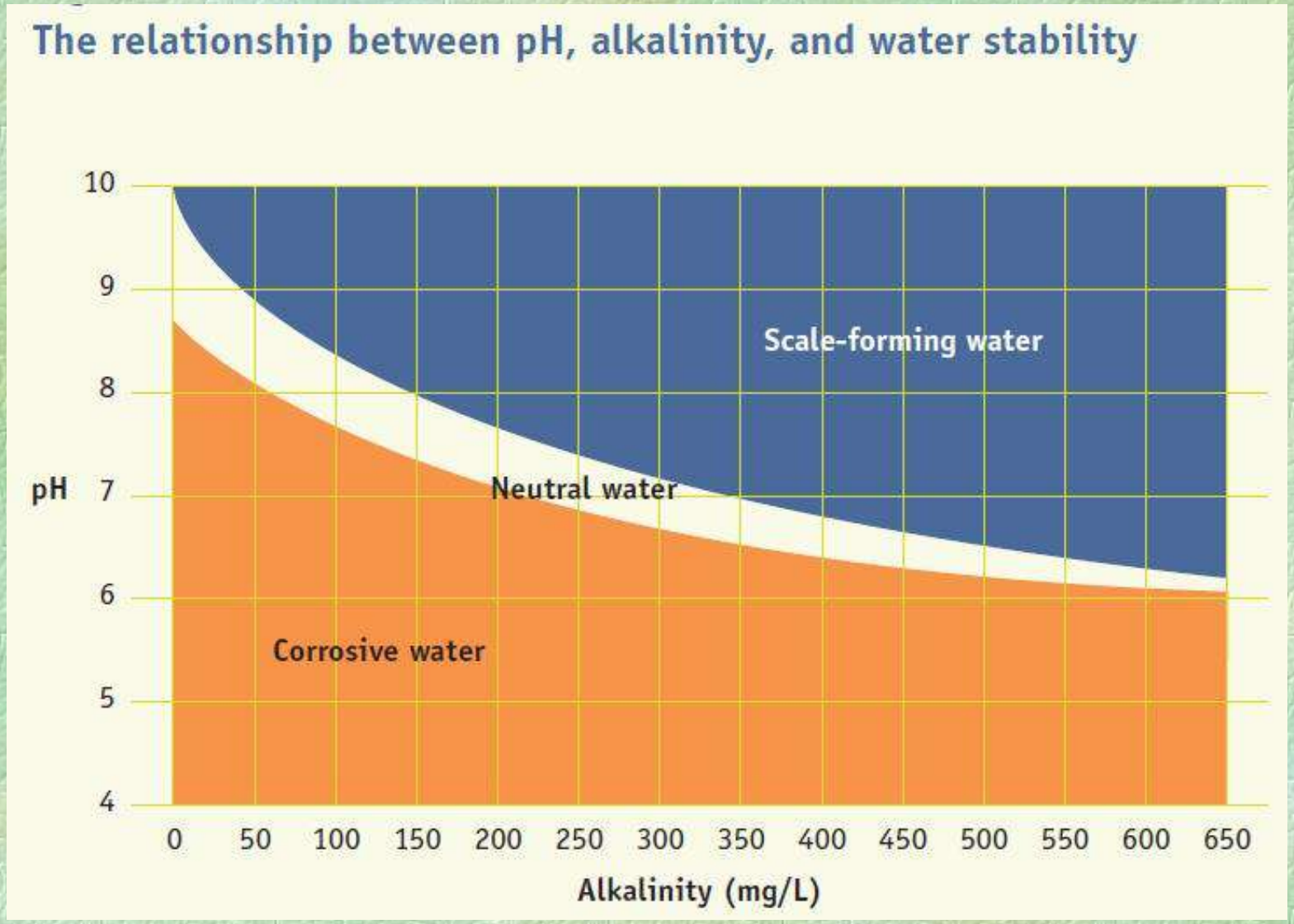
$L_t < 0$	korrozív környezet
$L_t = 0$	mész szénsav egyensúly
$L_t > 0$	vízkőkiválás

R_s

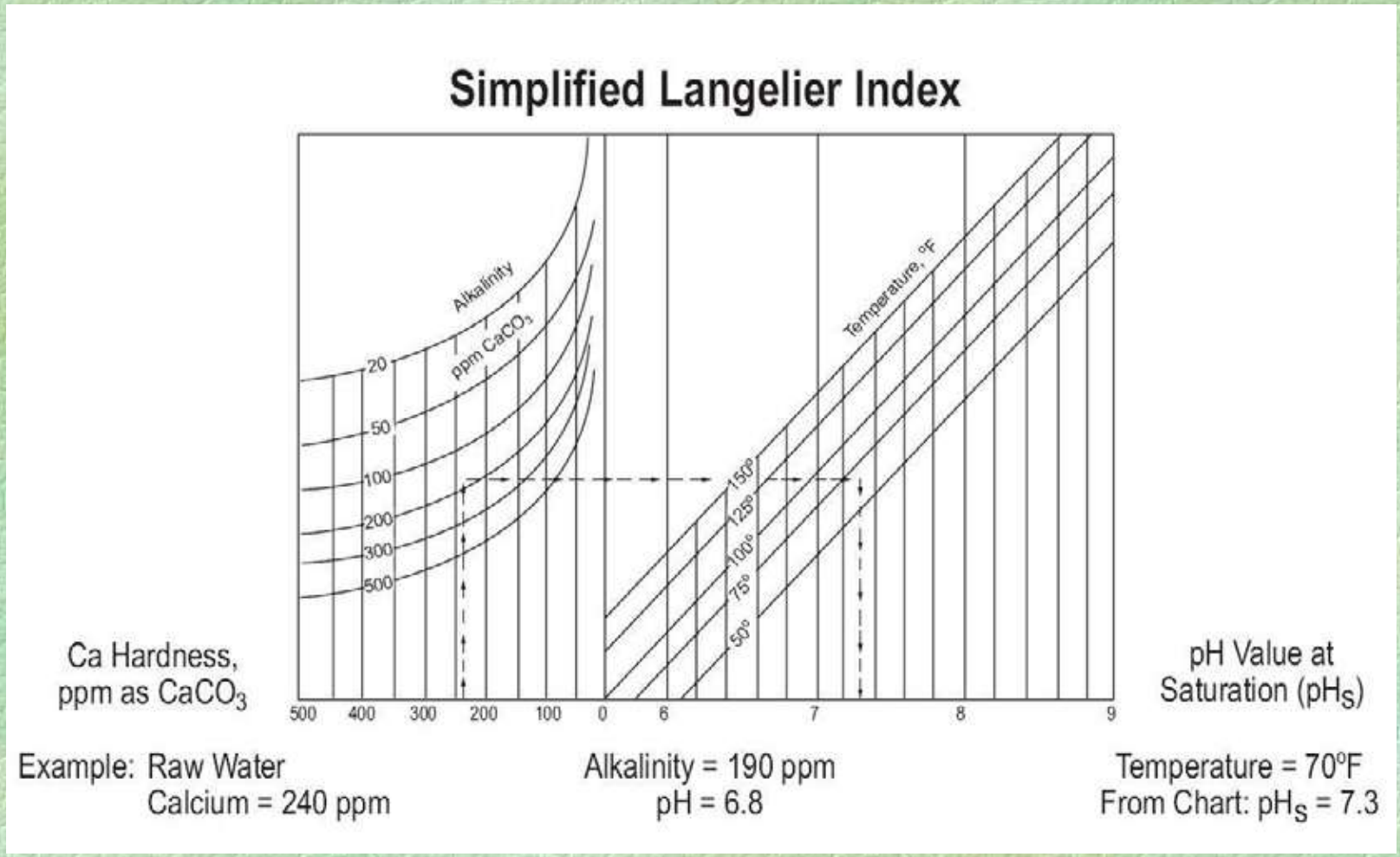
Ryznar féle stabilitási index R_s
$R_s = 2pH_s - pH_{mért}$

$R_s < 6$	vízkőkiválás
$R_s = 6\text{-}7$	egyensúlyi állapot
$R_s > 7$	korrózió

Lúgosság-pH vízkövesedés vagy korrózió?

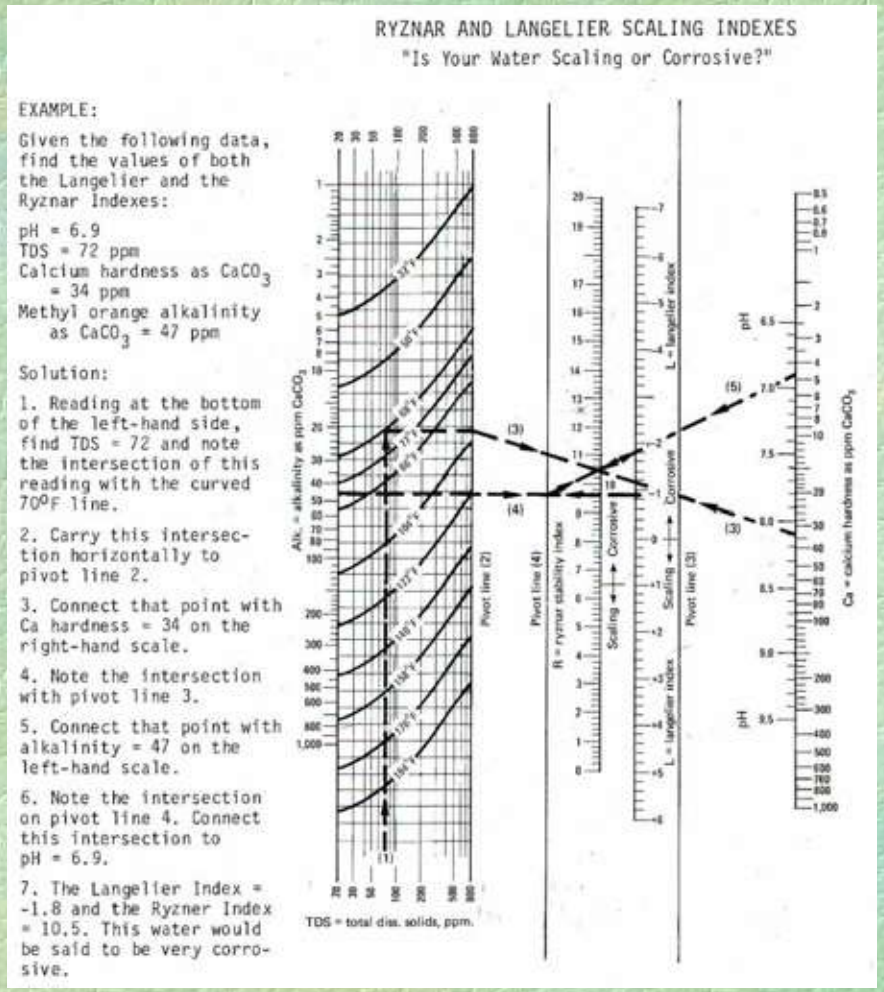


L_t számítása pH_s megadásával



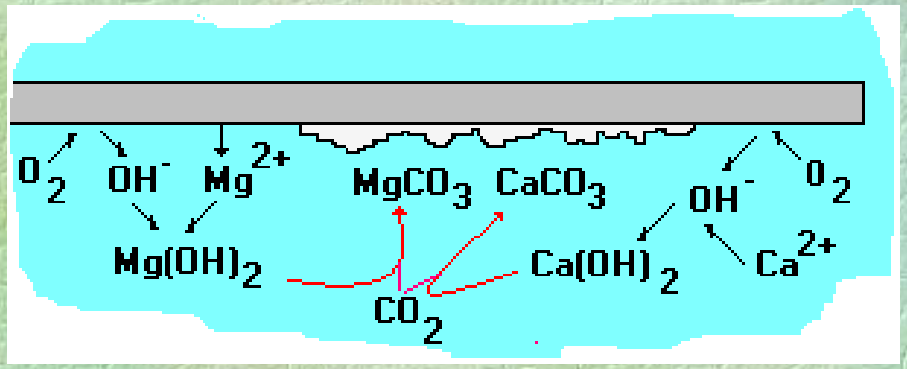
Vízkő, korrózió nomogram

- *Ryznar index*
- *Langelier index*
- *TDS*
- *Keménység*
- *Lúgosság*
- *Korrózió?*
- *Vízkő?*



Vízkőkiválás

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \leftrightarrow Ca^{2+} + H_2O + CO_2\uparrow + CO_3^{2-}$$



$CaCO_3$ képződés

$MgCO_3$ képződés

- Túl sok CO_2 a vízben --> agresszív CO_2
- Túl kevés CO_2 a vízben --> $CaCO_3$ lerakódás
  $MgCO_3$ lerakódás

Keménység eltávolítása - vízlágyítás

- Kémiai kicsapatás, majd azt követően szilárd/folyadék fázisszétválasztás
- Vegyszerek:
  - mész -- $Ca(OH)_2$
  - szóda -- Na_2CO_3
  - foszfát -- Na_3PO_4



- Ioncserével történő vízlágyítás

Meszes lágyítás

$$2HCO_3^- + Ca(OH)_2 \longrightarrow Ca^{2+} + 2CO_3^{2-} + 2H_2O$$

$$2Ca^{2+} + 2CO_3^{2-} \longleftrightarrow \underline{2CaCO_3}$$

$$Mg^{2+} + Ca(OH)_2 \longrightarrow \underline{Mg(OH)_2} + Ca^{2+}$$

Vízkövek

- Kalcium karbonát $CaCO_3$
- Kalcium szulfát $CaSO_4$
- Magnézium karbonát $MgCO_3$
- Magnézium szulfát $MgSO_4$
- Bárium szulfát $BaSO_4$
- Stroncium szulfát $SrSO_4$
- Vas karbonát $FeCO_3$
- Vas szulfid FeS
- Nátrium klorid (halit) $NaCl$
- Nátrium szilikát $NaSiO_3$








Vízkő inhibitorok

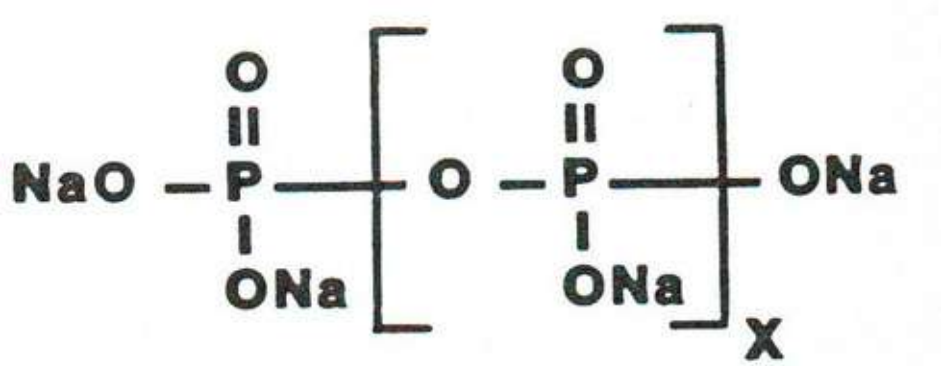
- *Foszfátok*
- *Polifoszfátok*
- *Foszfonátok (környezetbarát anyagok)*
- *Kelátok (EDTA) (NTA)*
  - *EDTA: Etilén-diamin-tetra-acetát,*
  - *NTA: Nitrilo-triacetát*

Foszfátok

- Trinátrium-foszfát (ortofoszfát) Na_3PO_4
- Dinátriu,-hidrogén-foszfát Na_2HPO_4
- Nátrium-dihidrogén-foszfát NaH_2PO_4
- Nátrium-metafoszfát $NaPO_3$
- Nátrium-hexametafoszfát $(NaPO_3)_6$
- Pirofoszfát $Na_4P_2O_7$
- Tripolifoszfát $Na_5P_3O_{10}$
- Polifoszfát $Na_2PO_3*(NaPO_3)_x$

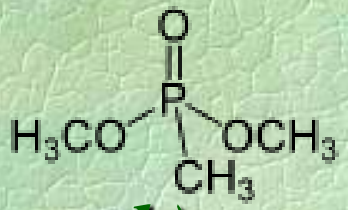
Foszfátok folytatás

- Foszfátok általános szerkezete



- Na_3PO_4
- $Na_4P_2O_7$
- $Na_5P_3O_{10}$
- $Na_2PO_3*(NaPO_3)_x$

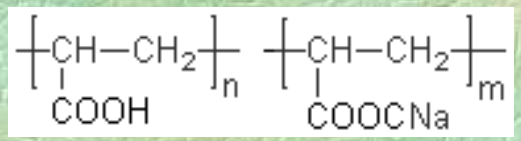
Újabb fejlesztésű vízkő inhibitorok



- *Polifoszfátok*
- *Poliaminok (korrózió és scale inhibitorok)*
- *Poliakrilátok*
- *Polimetakrilátok*
- *Poliszulfonátok*
- *Polimaleinsav adduktumok, szilikátok*
- *Poliaszpartátok*

Újabb fejlesztésű vízkő inhibitorok folyt

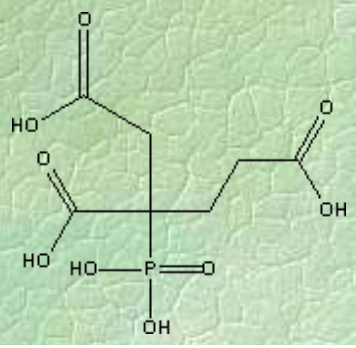
- ***Poliamin keverékek***
- ***Foszfonát és akril kopolimerek***
- ***Foszfát-észterek hidroxi amino foszfát észter***
- ***Foszfonsavak penta metilén amino foszfonsav***
- ***PAA/PAAS***

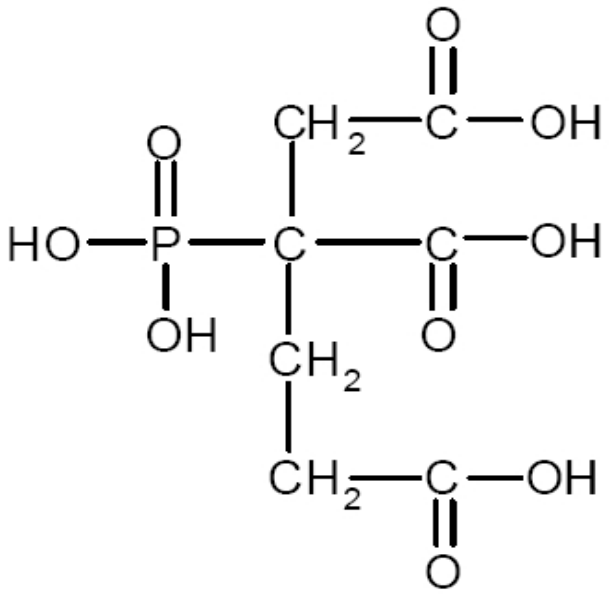


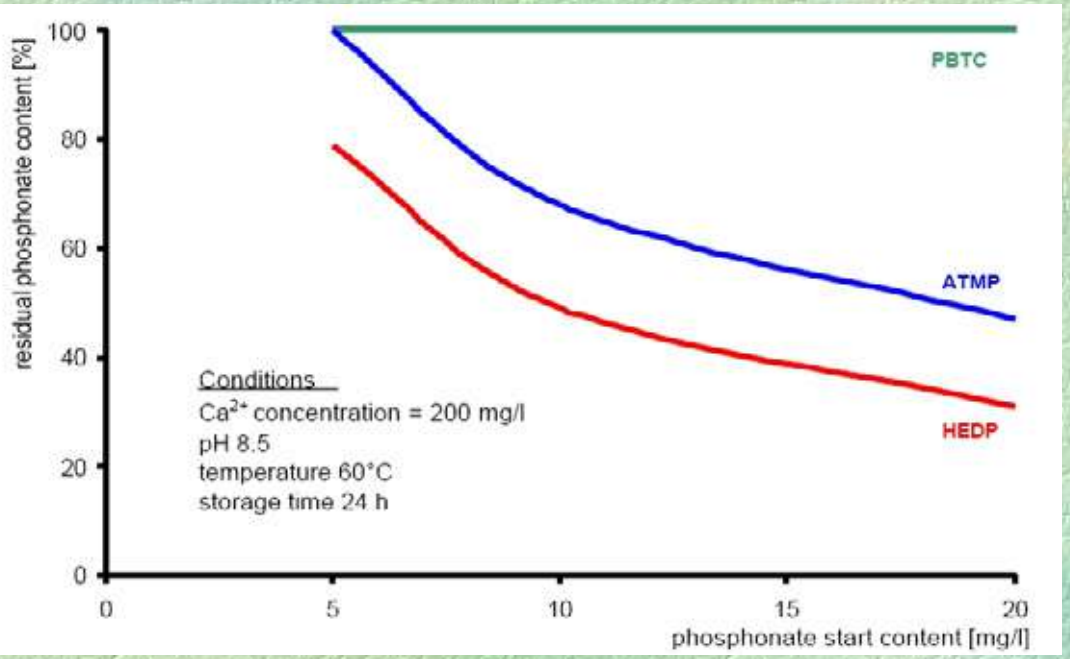
Poliakrilsav/Nátrium poliakrilát

Az egyik leghatékonyabb Ca vízkő inhibitor

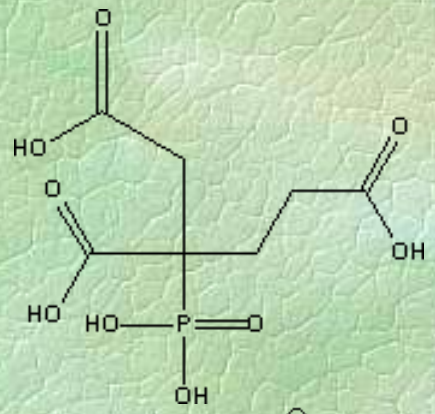
- ***Foszonobután trikarbonsav*** ***PBTC***

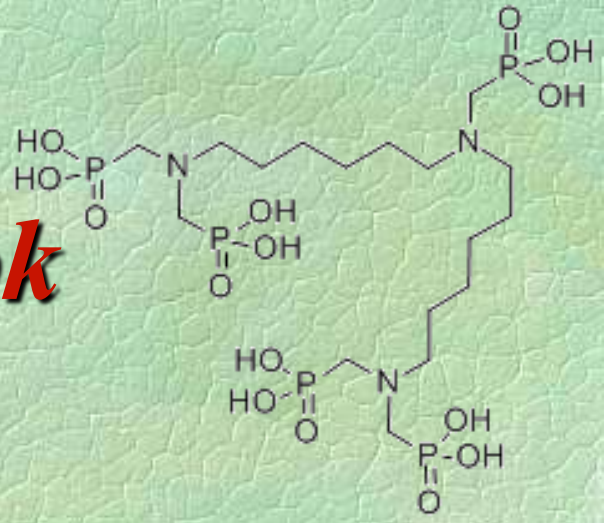


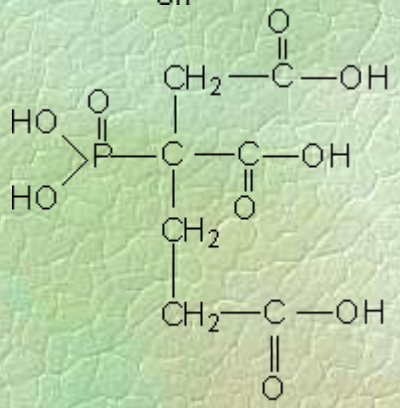


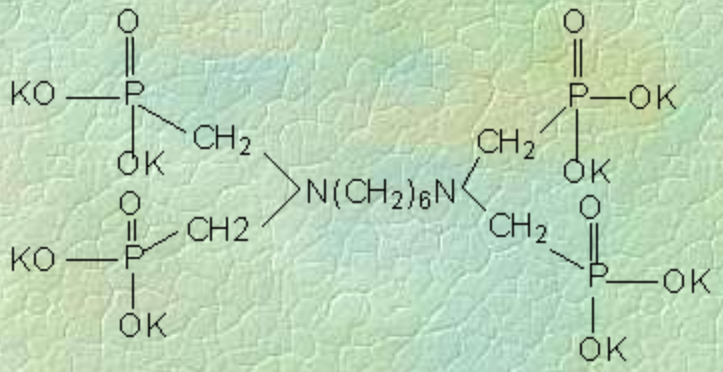


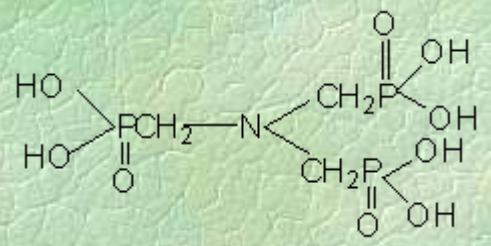
Scale inhibitorok

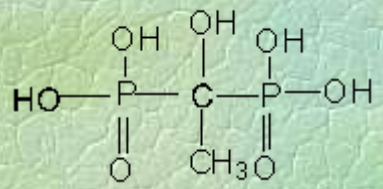


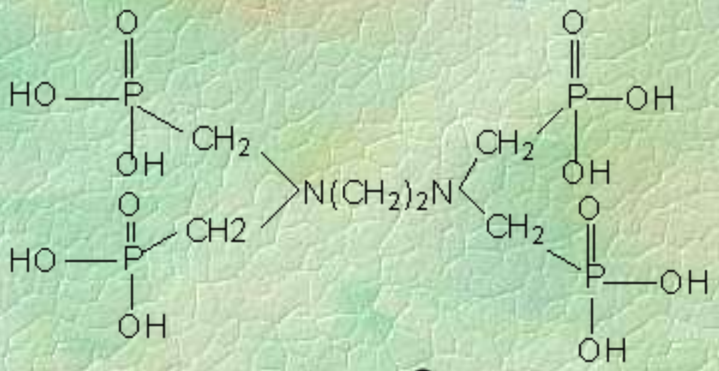


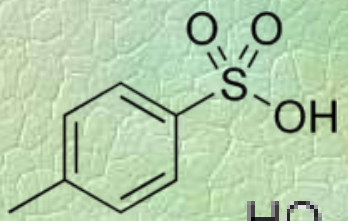


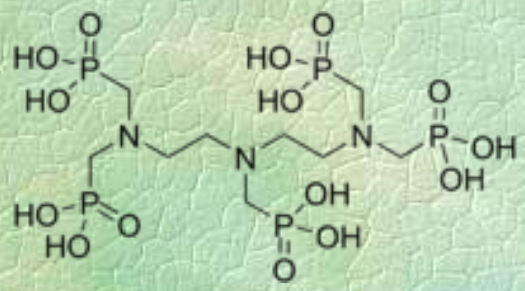


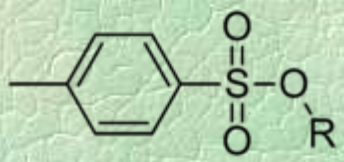


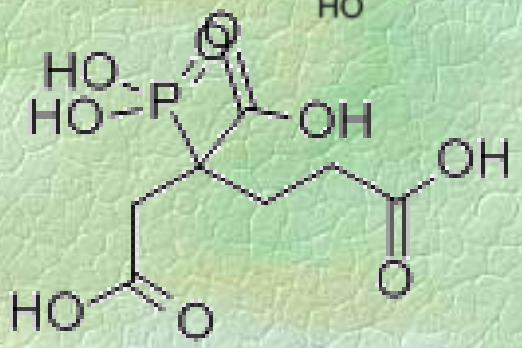






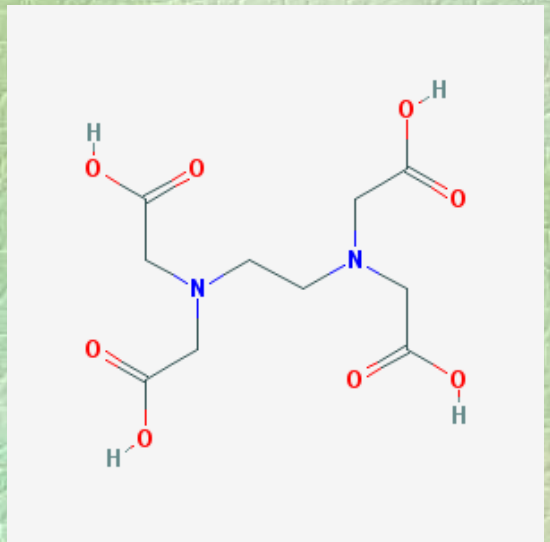






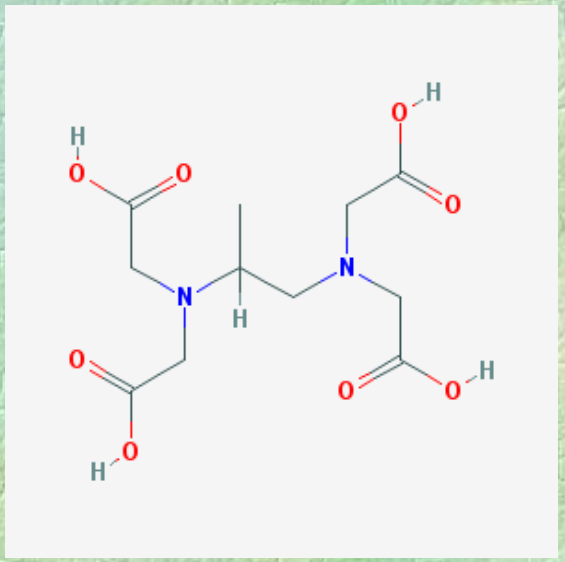
KELÁTKÉPZŐK (SI)
vízkő-inhibitorok-1

- *EDTA*



Ethylene-diamine-tetraacetic acid

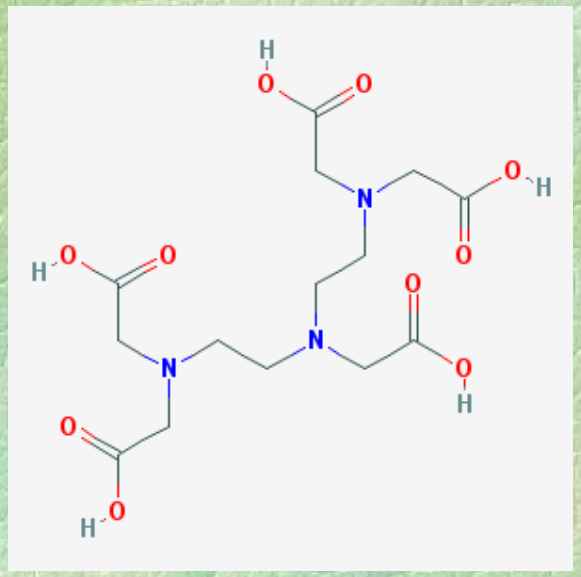
- *PDTA*



Propylene-diamine-tetraacetic acid

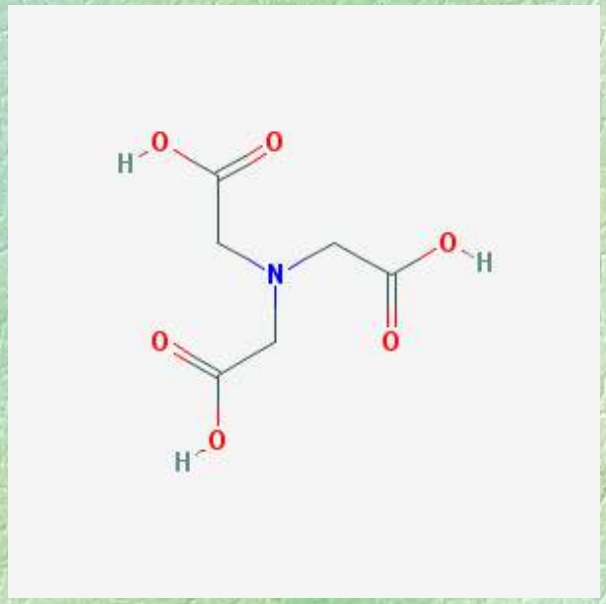
KELÁTKÉPZŐK (SI) vízkő-inhibitorok-2

- DTPA



Diethylene-triamine-pentaacetic acid

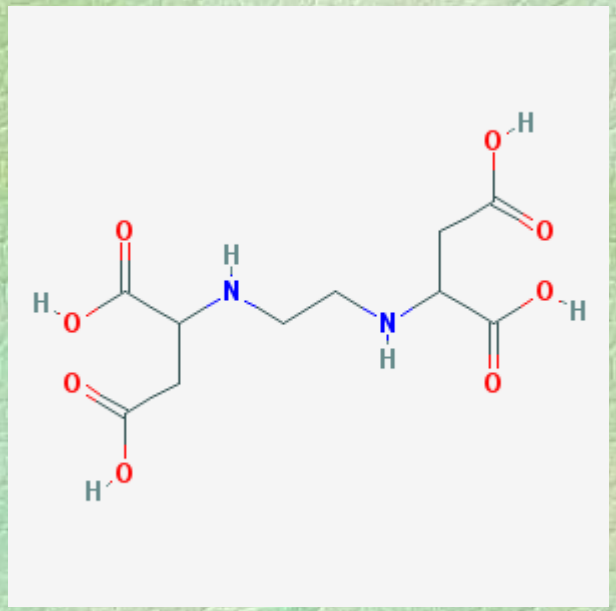
- NTA



Nitrilo-triacetic acid or Amino-triacetic acid

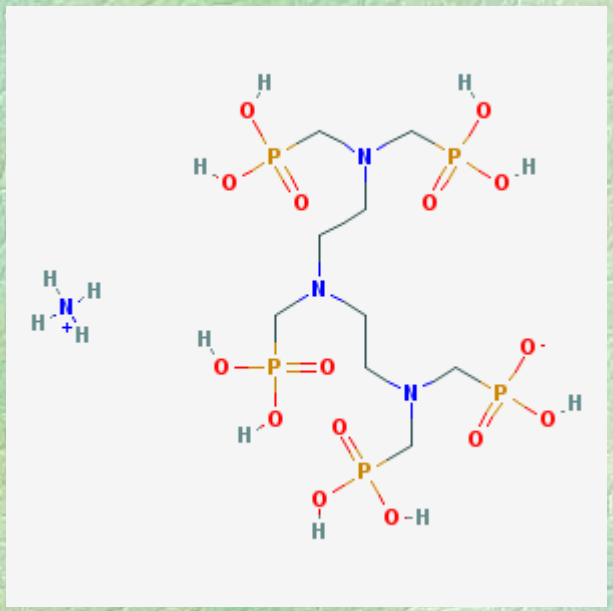
KELÁTKÉPZŐK (SI) vízkő-inhibitorok-3

- *EDDS*



N,N'-Ethylene-diamine disuccinic acid

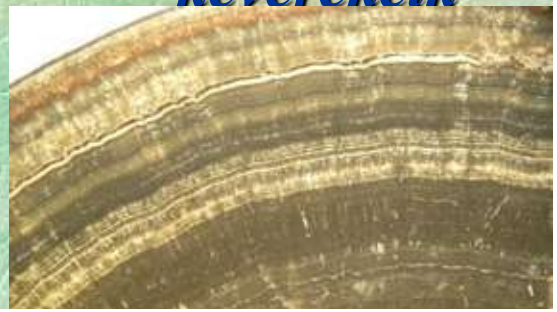
- *AAPA*



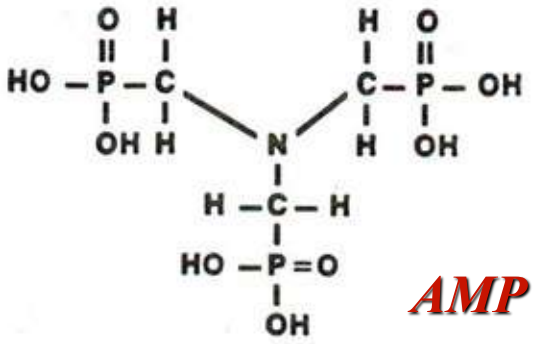
[(bis{2-[bis(phosphonomethyl) amino]ethyl} amino) methyl] phosphonic acid ammoniate

Scale inhibitorok

- *Foszfonsavak*
- *Amino-foszfonsavak*
- *Polimerek és keverékeik*

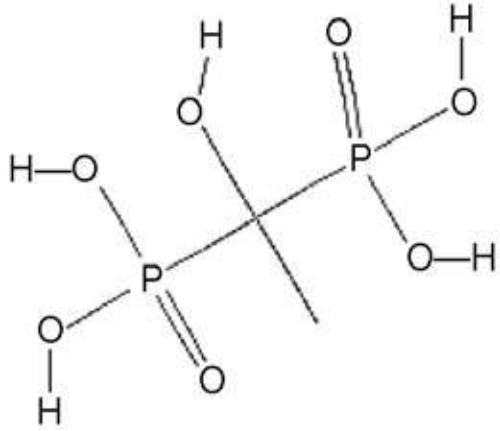


Chemical Name	Acronym
Aminotris(methylenephosphonic acid)	AMP
1-Hydroxyethylidine 1,1-diphosphonic acid	HEDP
2-Phosphonobutane 1,2,4-tricarboxylic acid	PBTC



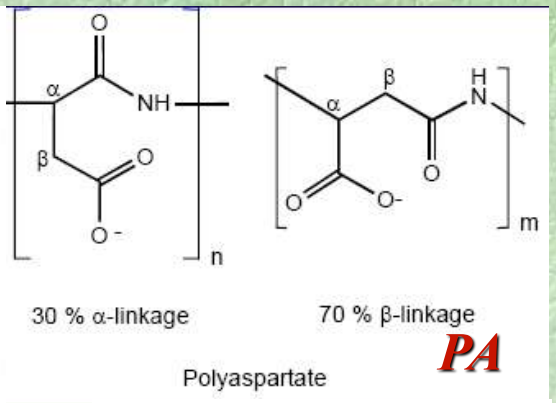
AMP

Nitrilotris(methylenephosphonic acid) AMP



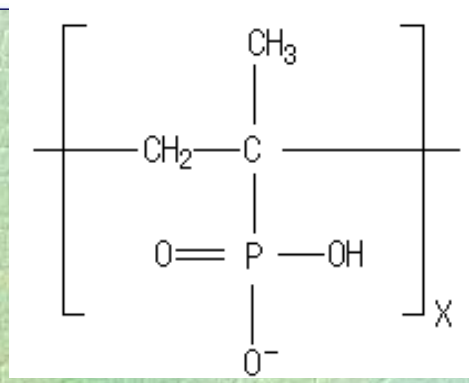
1-hydroxyethylidene-1,1-diphosphonic acid

HEDP



Polyaspartate

PA

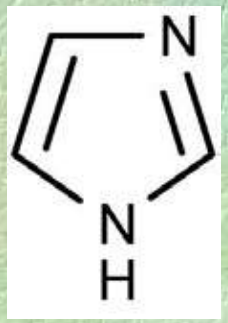


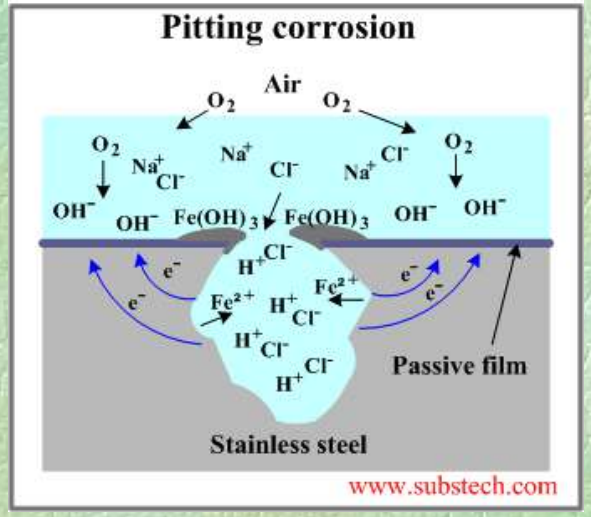
PIPA

Olajiparban használt korróziós inhibitorok

- Karbonátok
- Ammónia
- Piridin
- Kinolin
- Amid-azolin
- Zsírsav aminok
- Imidazolin
- Kvaterner ammónium sók



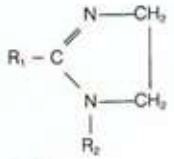




Lista-1

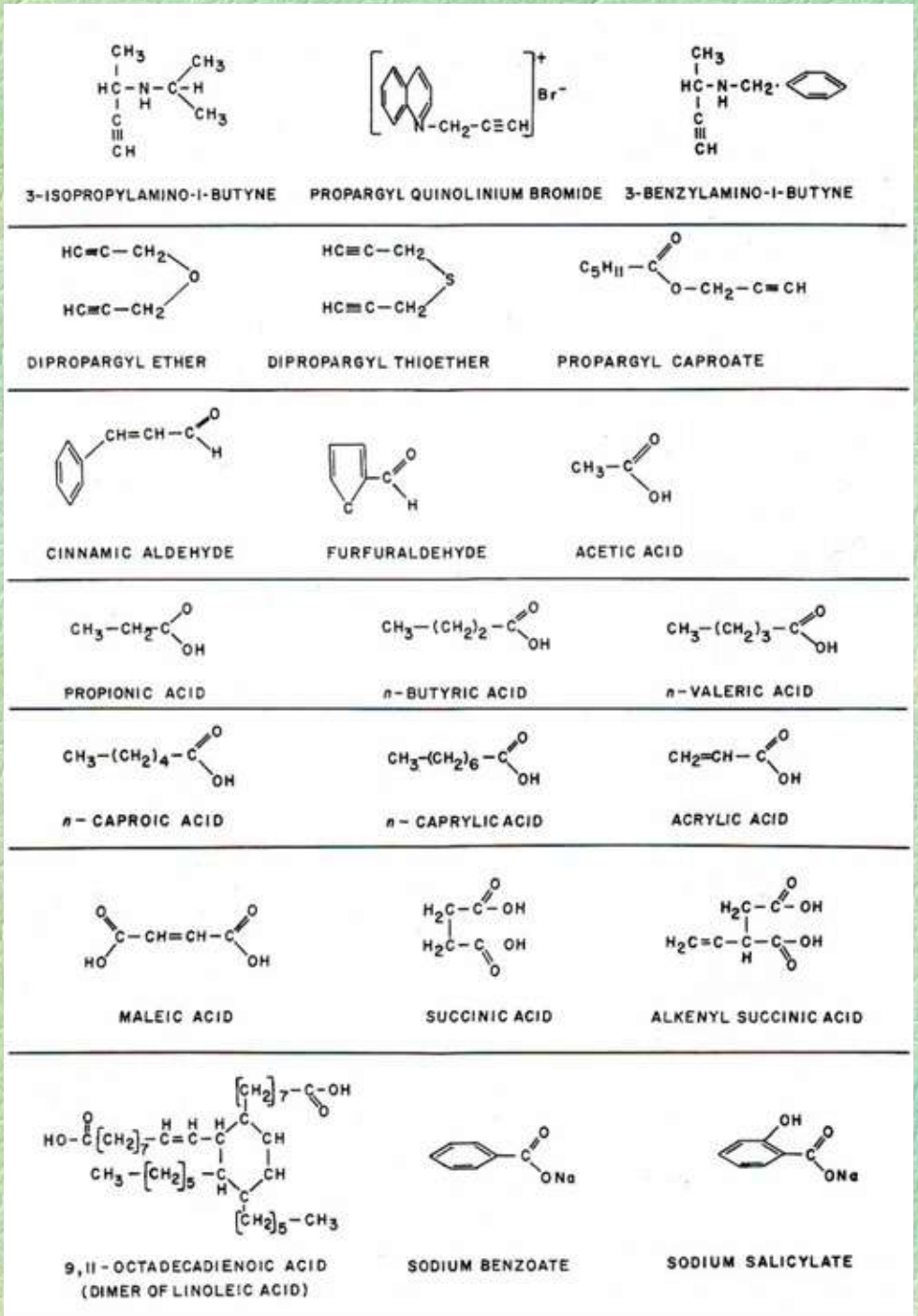
- Szervetlen
  - Anódos
- Szerves
  - Anódos
- Szerves
  - Katódos

Inhibitor Chemicals

Group Class	*Compound*		*Applications*
Inorganic Anionic	Phosphates		Boiler feedwater, with caustic (NaOH) and dispersants
	Sodium ortho	(Na_3PO_4)	
	Sodium pyro	$(Na_4P_2O_7)$	
	Sodium tripoly	$(Na_5P_3O_{10})$	Cooling water, with phosphonates, chromates and dispersants
	Sodium hexameta	$(Na_6P_6O_{18})$	
	Chromates		Cooling water, with phosphates, phosphonates and dispersants (Use limited by toxicity)
	Sodium chromate	(Na_2CrO_4)	
	Sodium dichromate	$(Na_2Cr_2O_7)$	
	Sodium molybdate	(Na_2MoO_4)	Use same as chromates
	Silicates		Low salinity (fresh) water distribution systems
	Sodium meta	(Na_2SiO_3)	
	Sodium ortho	(Na_4SiO_4)	
	Borates		Automotive cooling systems, with phosphates, nitrite, and MBT
	Sodium meta	$(Na_2B_2O_4)$	
	Sodium tetra	$(Na_2B_4O_7)$	
	Nitrite		Same as Borates
	Sodium	$(NaNO_2)$	
Organic Anionic	Sulfonates		Cutting/cooling oils Lubricants Hydraulic Fluids
	Alkyl Aryl ($R \cdot SO_3^-$, Na^+ or Ca^{++})		
	Mercaptobenzothiazole (MBT)		Automotive (see Borates)
	Sodium MBT		Glycol dehydration systems (see Section 1, Chapter 8, Item 8.15)
	Triazoles		Antifreeze inhibitors for protection of copper
	Benzo		
	Tolyl		
	Thioureas		Drilling fluid additives
	Alkyl	$(RNH_2)_2CS$	Detergents (concentrated)
	Acetylenic Alcohols	$(RC \equiv CROH)$	Acid inhibition, with complex amines
	Propargyl		
	Hexynol		
	Phosphates	$N(RPO_3^{=} \cdot Na_2^+)_3$	Cooling water, with chromates, phosphates and zinc salts (primarily for scale inhibition and silt dispersion)
	Amino, polyalkyl -sodium salts		
Organic Cationic	Amine/Acid Salts		Base materials for oilfield inhibitors
	Typically, high molecular weight diamines	$RNH(CH_2)_3NH_2$	
	combined with high molecular weight organic acids	$R \cdot COOH$	
	Imidazolines		
	Amides	$R \cdot CONH_2$	
	Quaternary ammonium salts	$[R_4N]^+[Cl]^-$	

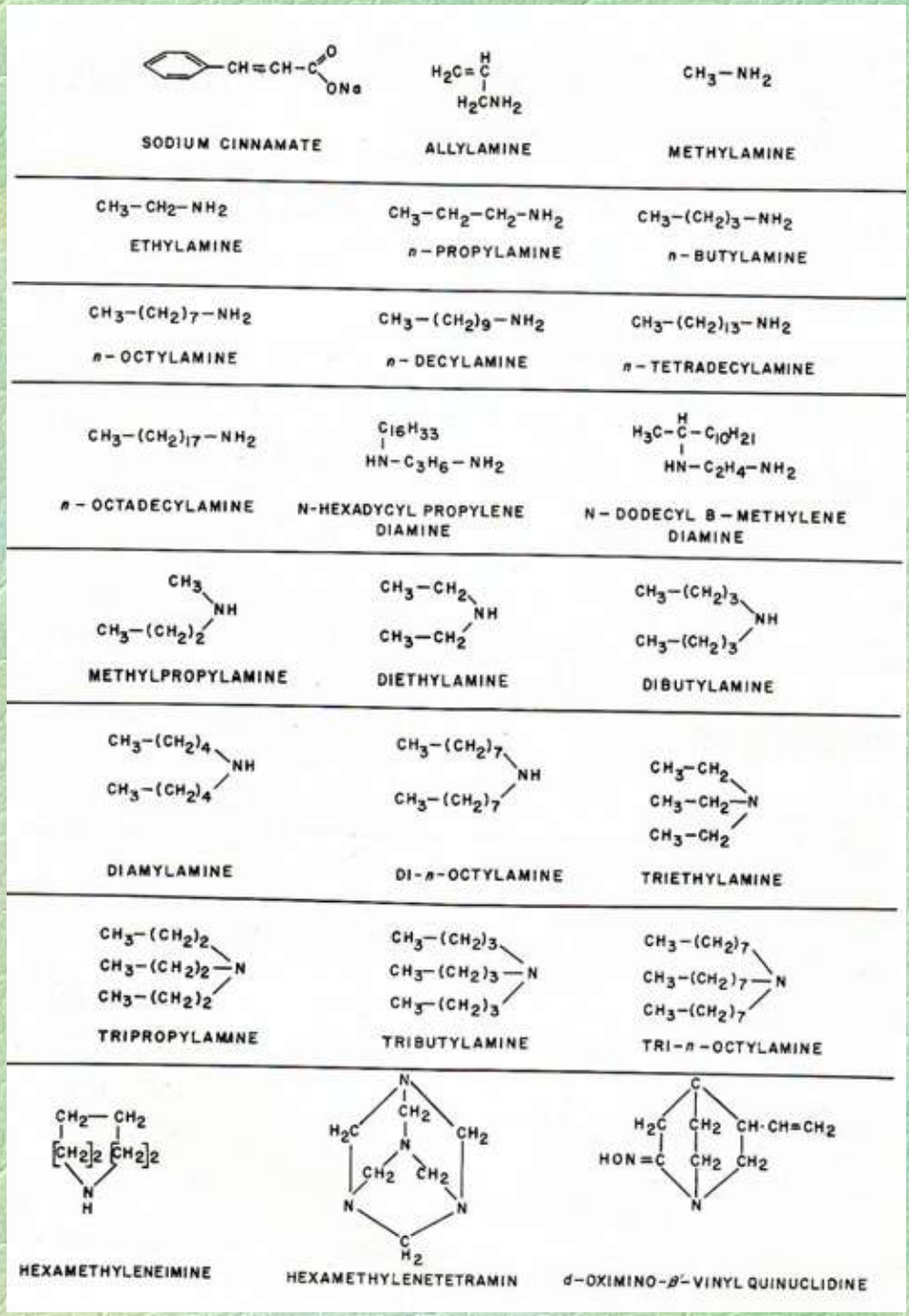
Lista-2

- Aminok
- Éterek
- Karbonsavak
- Karbonsav sók
- Benzoátok



Lista-3

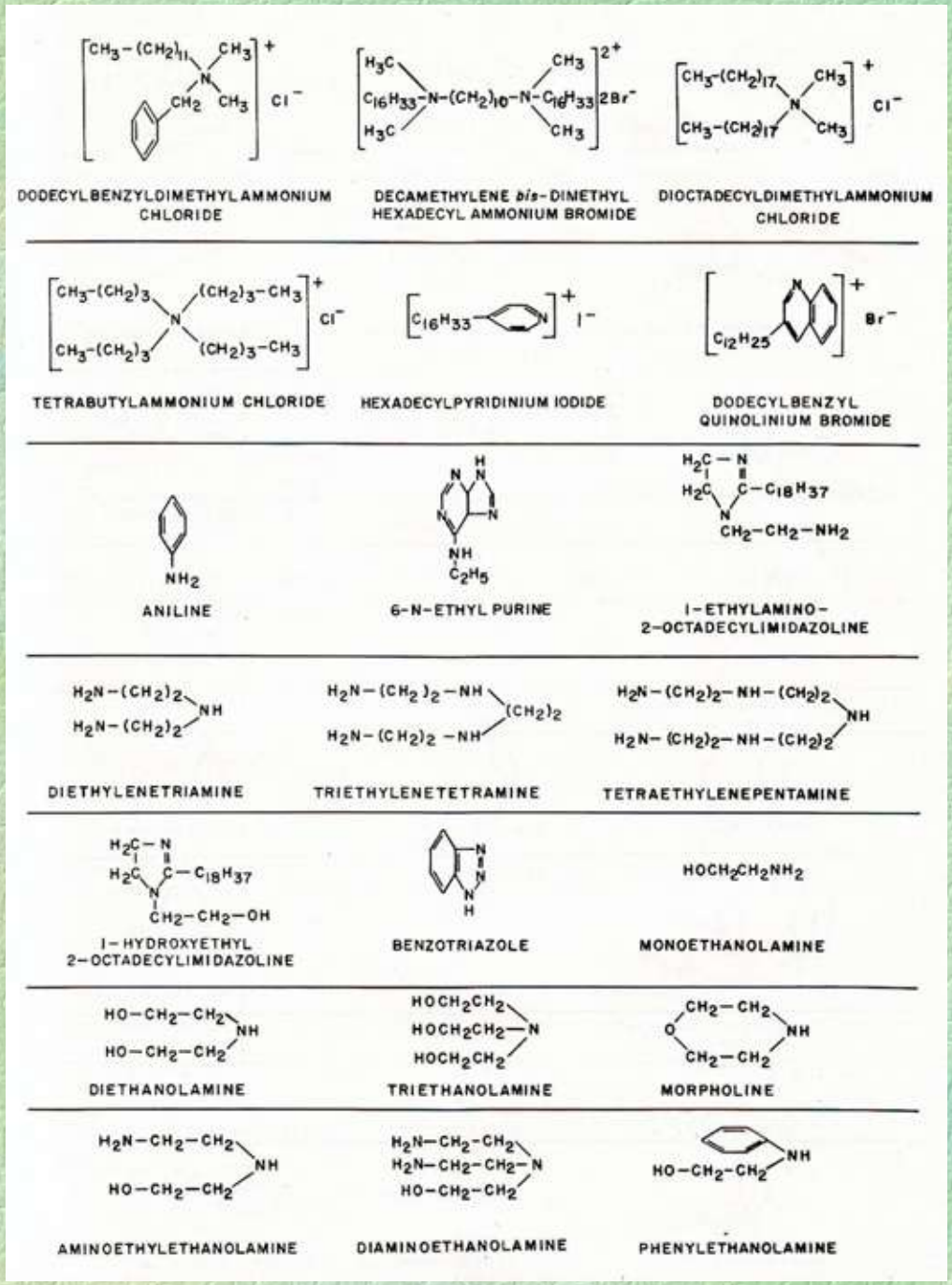
- Cinnamát
- Alkil aminok
  - Di-alkilaminok
  - Tri-alkilaminok
- Gyűrűs aminok
  - „HEXA”





Lista-4

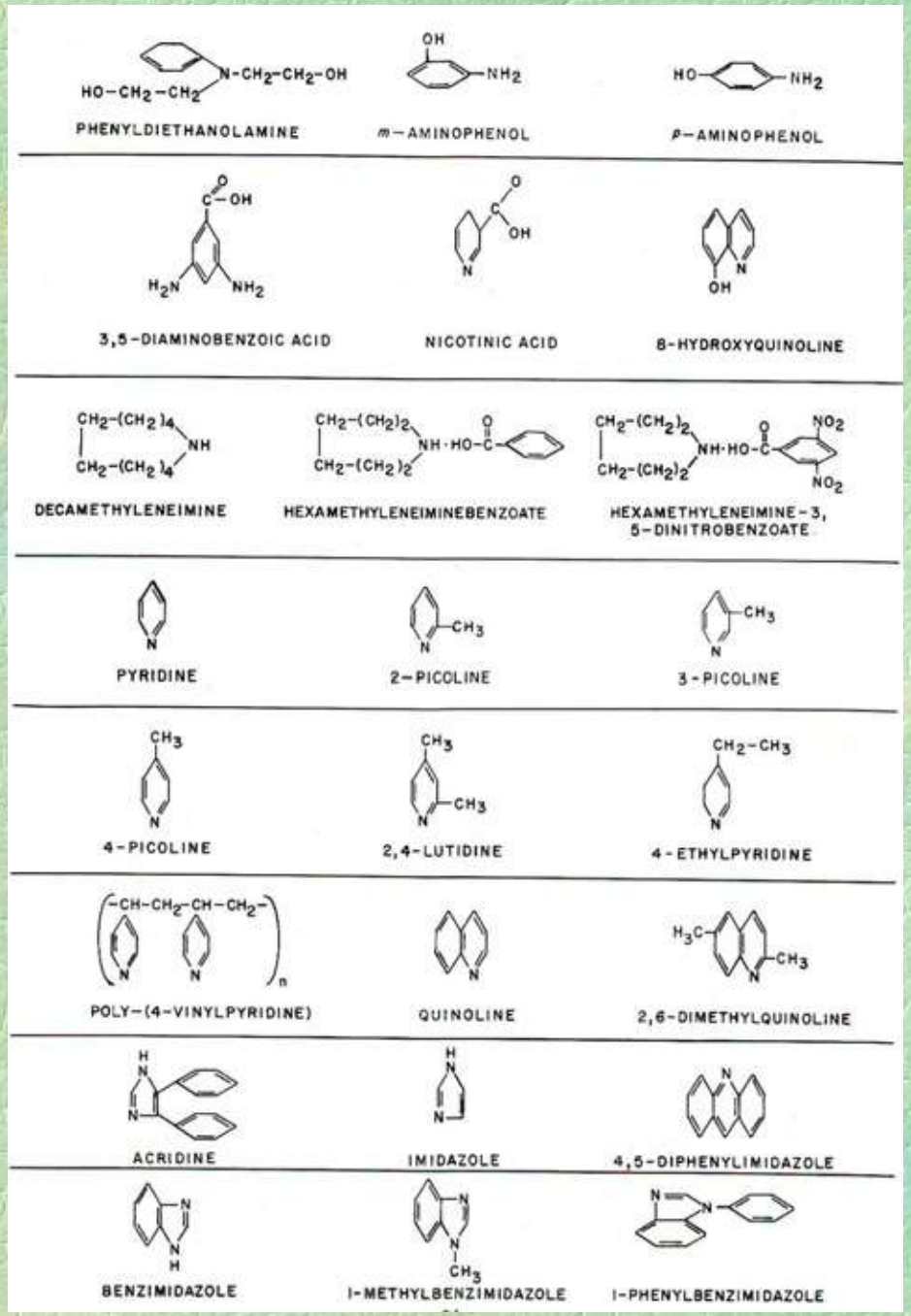
- Ammónium sók
- Aromás aminok
- Imidazolinok
- Tetraminok
- Triazolok
- Etanolaminok





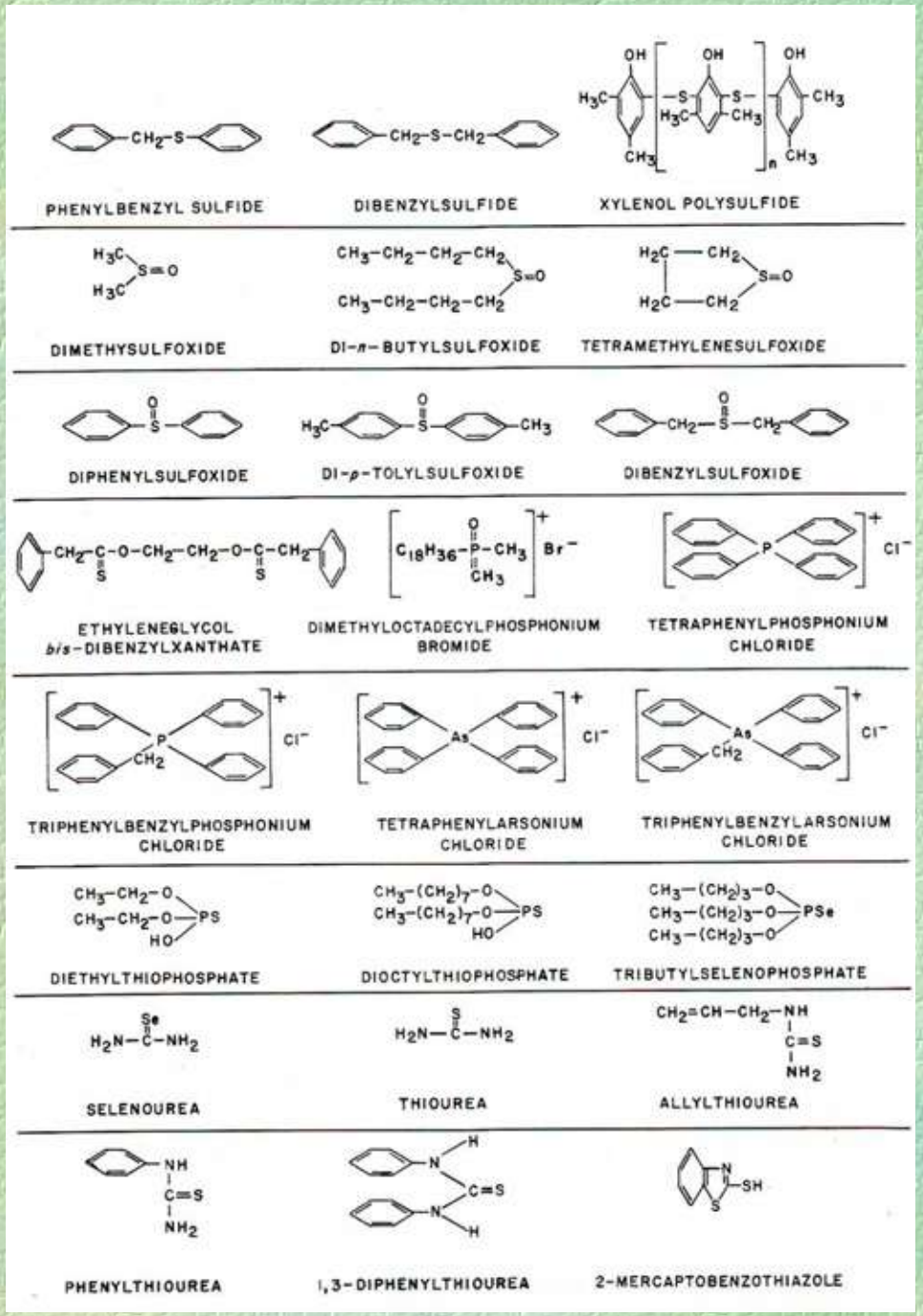
Lista-5

- Aminofenolok
- Benzoesav
- Nikotinsav
- Kinolin
- Piridin
- Imidazolok
  - Benzil, fenil, metil



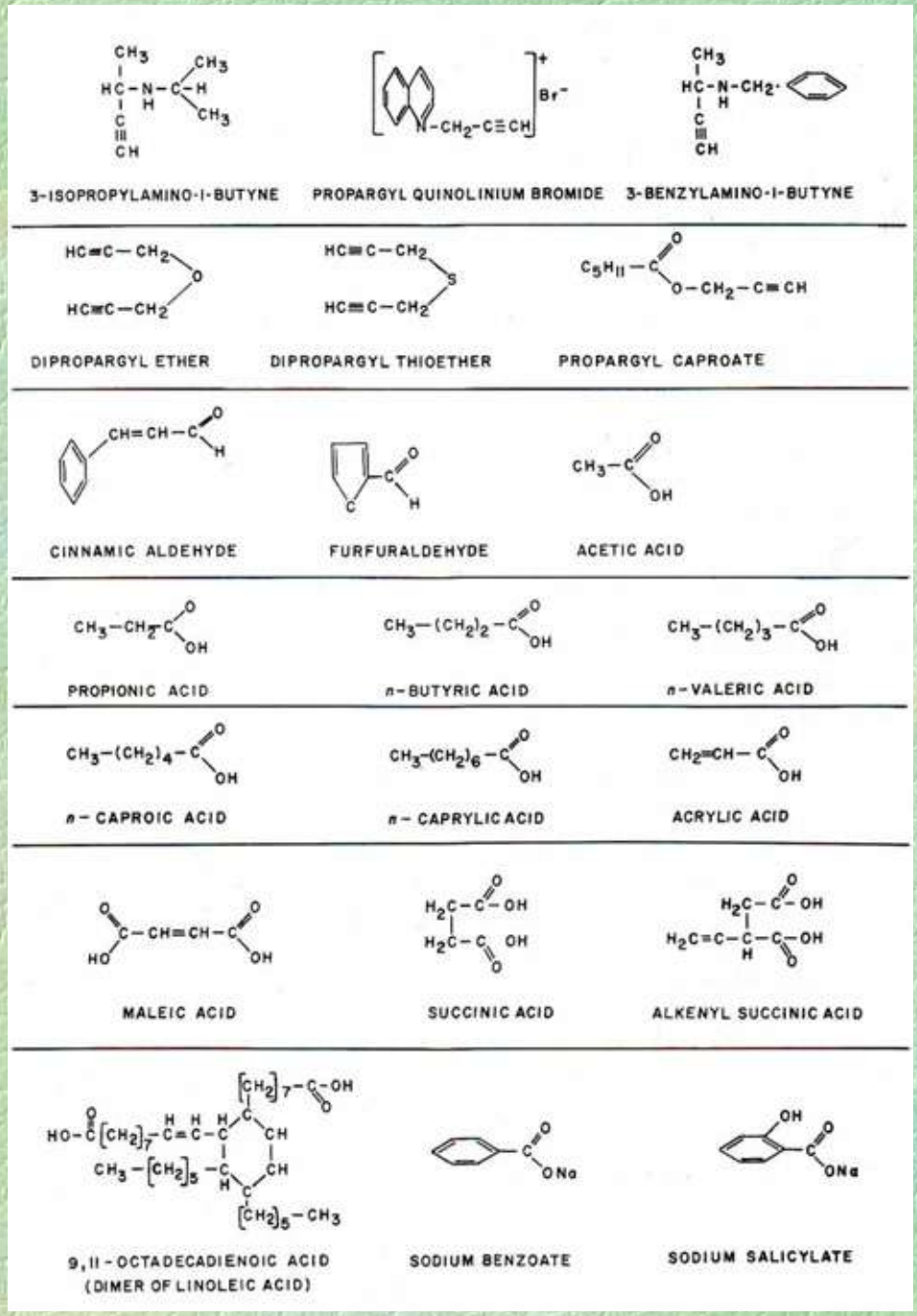
Lista-6

- Szulfidok
- Szulfoxidok
- Foszfor és kén sók
  - Klorid, bromid
- Tiofoszfátok
- Szelénfoszfátok
- Tiokarbamidok



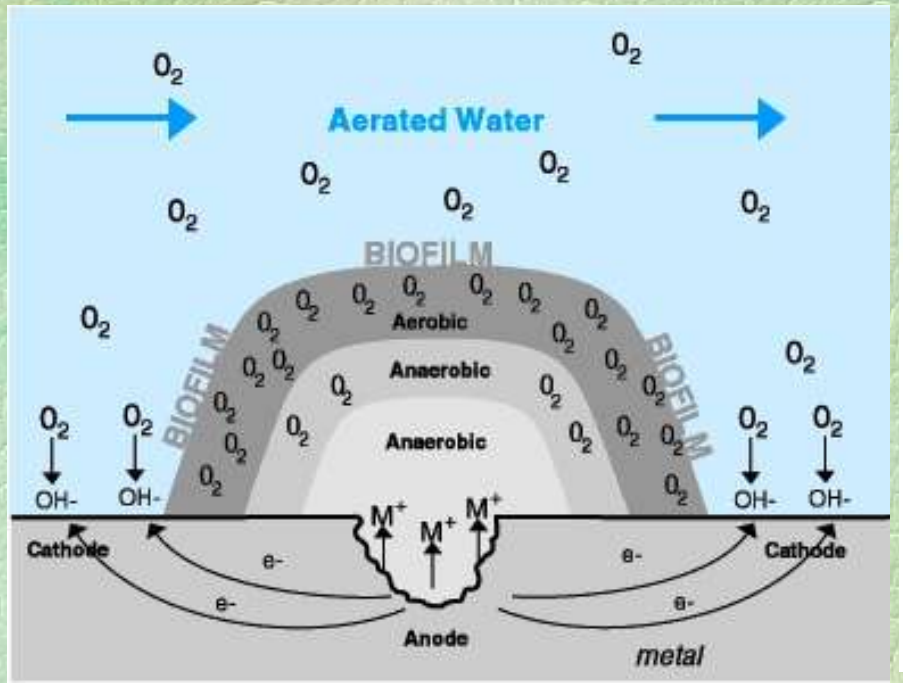
Lista-7

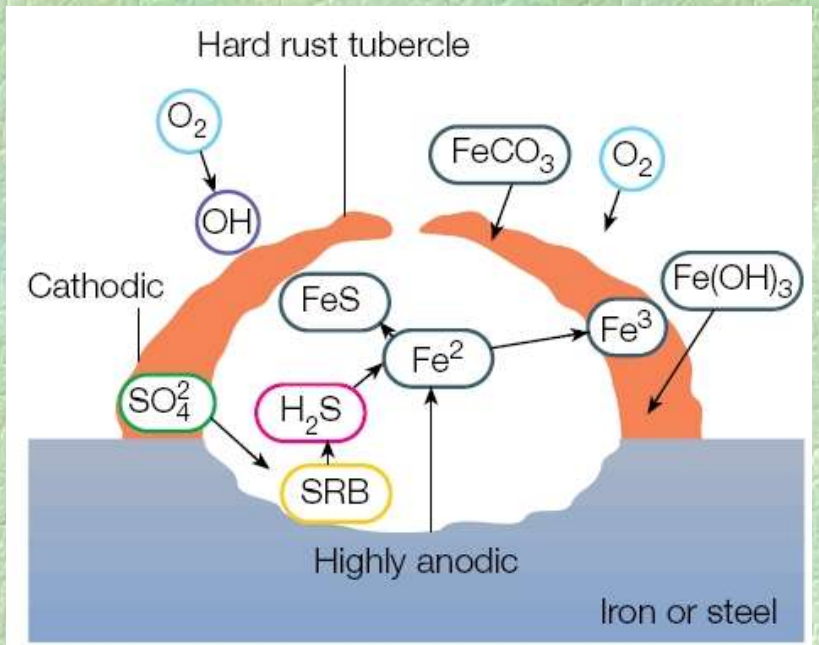
- Amino vegyületek
- Éterek, tioéterek
- Aldehidek
- Karbonsavak
- Bezoesav és sói
- Szalicilsav és sói
- Linolénsav és sói



MIC Mikrobák által generált korrózió

- *Aerób és anaerób mikrobák okozta korrózió*

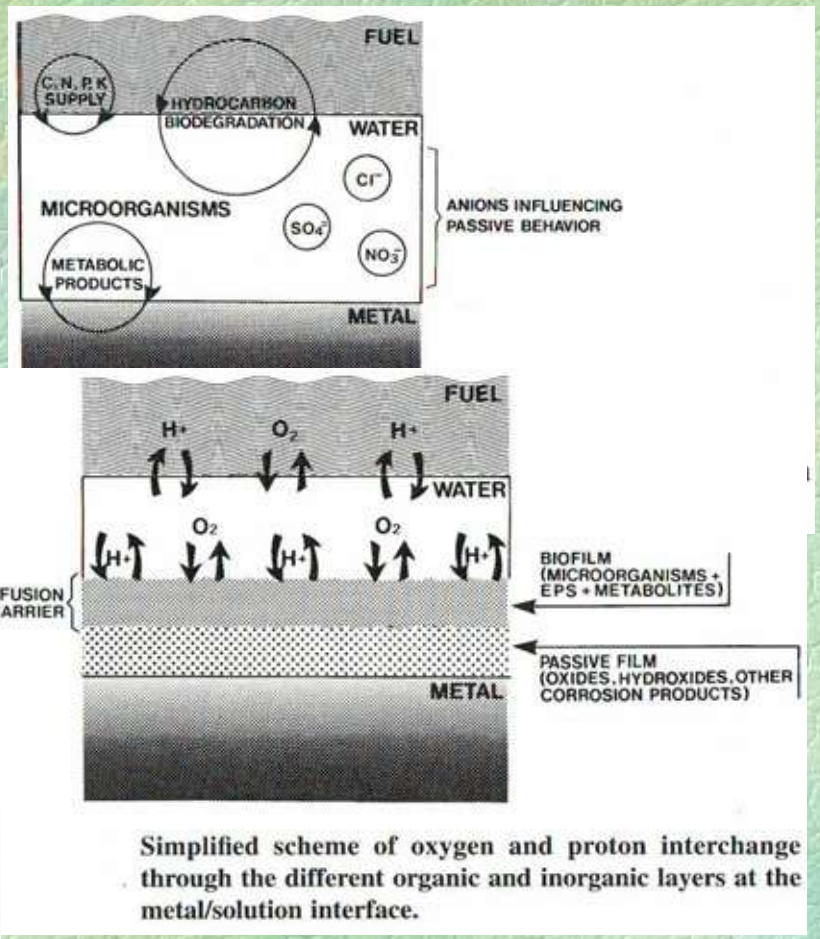




Rust tubercle. Tuberculation is a complex localized process that forms a nodule-like structure. It often forms in a region of low fluid velocity where a deposit of sludge or rust can shield a part of the metal and reduce the oxygen available to that area. The portion of steel exposed to water with low oxygen concentration becomes anodic and corrodes at a faster rate than the rest.

Biofilm kialakulása

- *A biofilm kialakulása során metabolitok képződnek.*
- *A képződött metabolitok a fém felületén lokális potenciálkülönbségeket idéznek elő.*



Simplified scheme of oxygen and proton interchange through the different organic and inorganic layers at the metal/solution interface.



Mikrobák és az általuk okozott korrózió

Corrosion by Microorganisms

Type of microorganism	Growth requirements	Corrosion and related problems
Algae	Light, water, nitrogen and phosphorus, CO_2, trace elements	Growth in ponds, cooling towers. Provide organic material for more corrosive organisms. Fouling of heat exchangers, differential aeration.
General aerobic microorganisms, e.g., *Aerobacter*, yeasts, molds	Water carbon source, nitrogen and phosphorous, trace elements	Differential aeration cells. Heat exchanger fouling.
General anaerobic microorganisms	Water, carbon source, nitrogen and phosphorous, trace elements	Produce organic acids that can preferentially chelate specific alloying elements.
Ion-oxidizing bacteria	Water, CO_2, oxygen, ferrous materials, nitrogen and phosphorous, trace elements	Oxidize ferrous (+2) to ferric (+3), cause blockage of pipes, create anaerobic conditions.
Nitrite-oxidizing bacteria	Water, nitrate, carbon sources, phosphorous, trace elements, ammonia and aeration	Consume nitrite corrosion inhibitors; differential aeration cells.
Nitrate-reducing bacteria	Water, carbon source, nitrogen and phosphorous, sulfate, trace elements	Reduce nitrate, produce large quantities of organic acids.
Pseudomonas sp.	Water, hydrocarbon, nitrogen and phosphorous, trace elements, manganese and iron, aeration	Breakdown of cutting-oil emulsions; cause emulsions of dewatering oils; acidifications of systems; skin infections. Provide material for anaerobic organisms. Differential aeration cells.
Sulfur-oxidizing bacteria	Water, sulfides or sulfur, CO_2, nitrogen and phosphorous, trace elements, oxygen	Produce up to 10% H_2SO_4. Concrete attack. Associated with waste disposal.
SRB	Water, carbon source, nitrogen and phosphorous, trace elements	Produce large quantities of sulfide. Severe localized corrosion.

Mikrobák és az általuk okozott korrózió

- ***Mikrobák és az általuk képzett metabolitok***

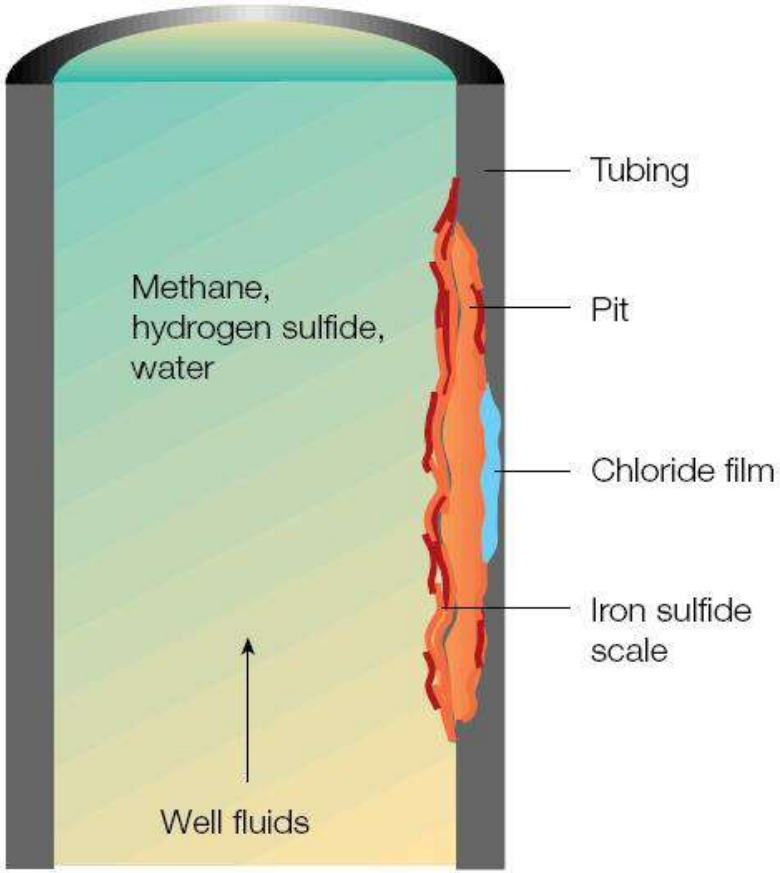
Main Corrosive Metabolites from Different Microorganisms Frequently Involved with Corrosion

Microorganism	Corrosive metabolite	Metals corroded	*pH* range
Thiobacillus thiooxidans	Sulfuric acid	Iron, steels	0.5–4.0
Desulfovibrio desulphuricans	Sulfides, bisulfides, hydrogen sulfide	Iron, mild steel, stainless steels	5.5–9.0
Hormoconis resinae	Organic acids	Aluminum and its alloys	2.5–7.0
Lactobacilus delbruckii	Organic acids	Stainless steels	—

Kráteres korrózió

- Olajipari kénhidrogénes korrózió
- SRB tevékenység
- Víz oldott só tartalma

Fokozzák a lyukkorróziót (Cl^-)



Barnacle-type corrosion. As tubing corrodes in a hydrogen sulfide and water environment, iron sulfide scale builds up. This is porous and is also cathodic with respect to the steel tubing. An intervening layer of iron chloride [$FeCl_2$] is acidic and prevents precipitation of FeS directly onto the steel surface. This establishes a pit-forming corrosion cell.

MIC - SRB korrózió

- *Szulfát redukáló baktériumok elektrokémiai reakciói*

FeS

H_2

Naszcensz hidrogén!

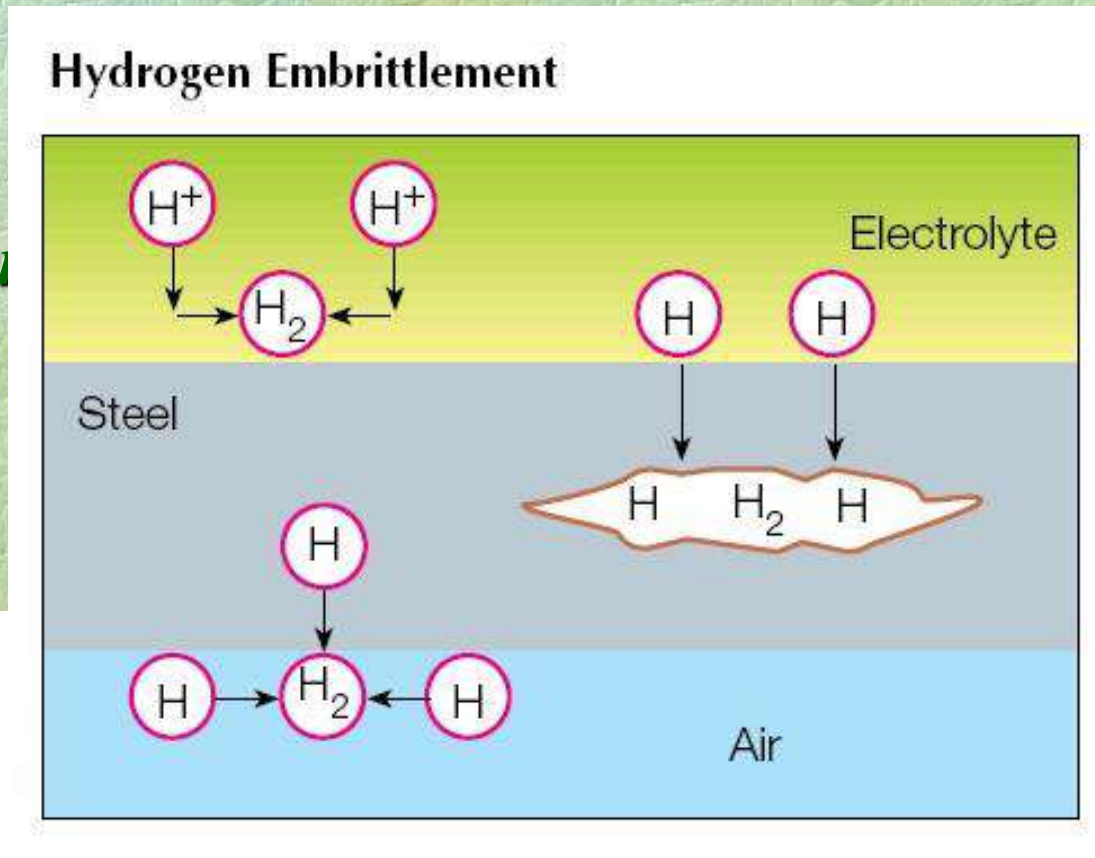
Overall reaction	$4\,Fe + SO_4^{2-} + 4\,H_2O \longrightarrow 3\,Fe(OH)_2 + FeS + 2\,OH^-$		
Metal	$4\,Fe \longrightarrow 4\,Fe^{2+} + 8e^-$	Anode	Electro-chemical cell
	$8\,H^+ + 8e^- \longrightarrow 8H_{ad}$	Cathode	
Solution	$8\,H_2O \longrightarrow 8\,H^+ + 8\,OH^-$		Electrolyte
Microorganism	$SO_4^{2-} + 8\,H \longrightarrow S^{2-} + 4\,H_2O$		Microbial depolarization
Corrosion products	$Fe + S^{2-} \longrightarrow FeS$	$3Fe^{2+} + 6\,OH^- \longrightarrow 3\,Fe(OH)$	

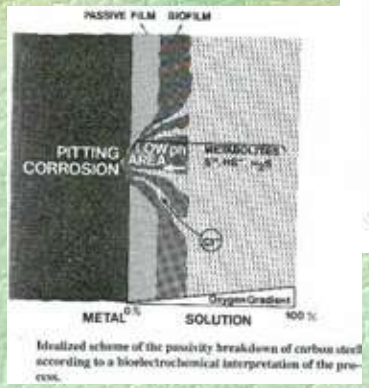
$$H_2S + e = SH^- + \frac{1}{2}H_2$$

Sequence of reactions of the cathodic depolarization theory. The three elements of biocorrosion (metal/solution/micro-organisms) are involved in different reactions of the whole process.

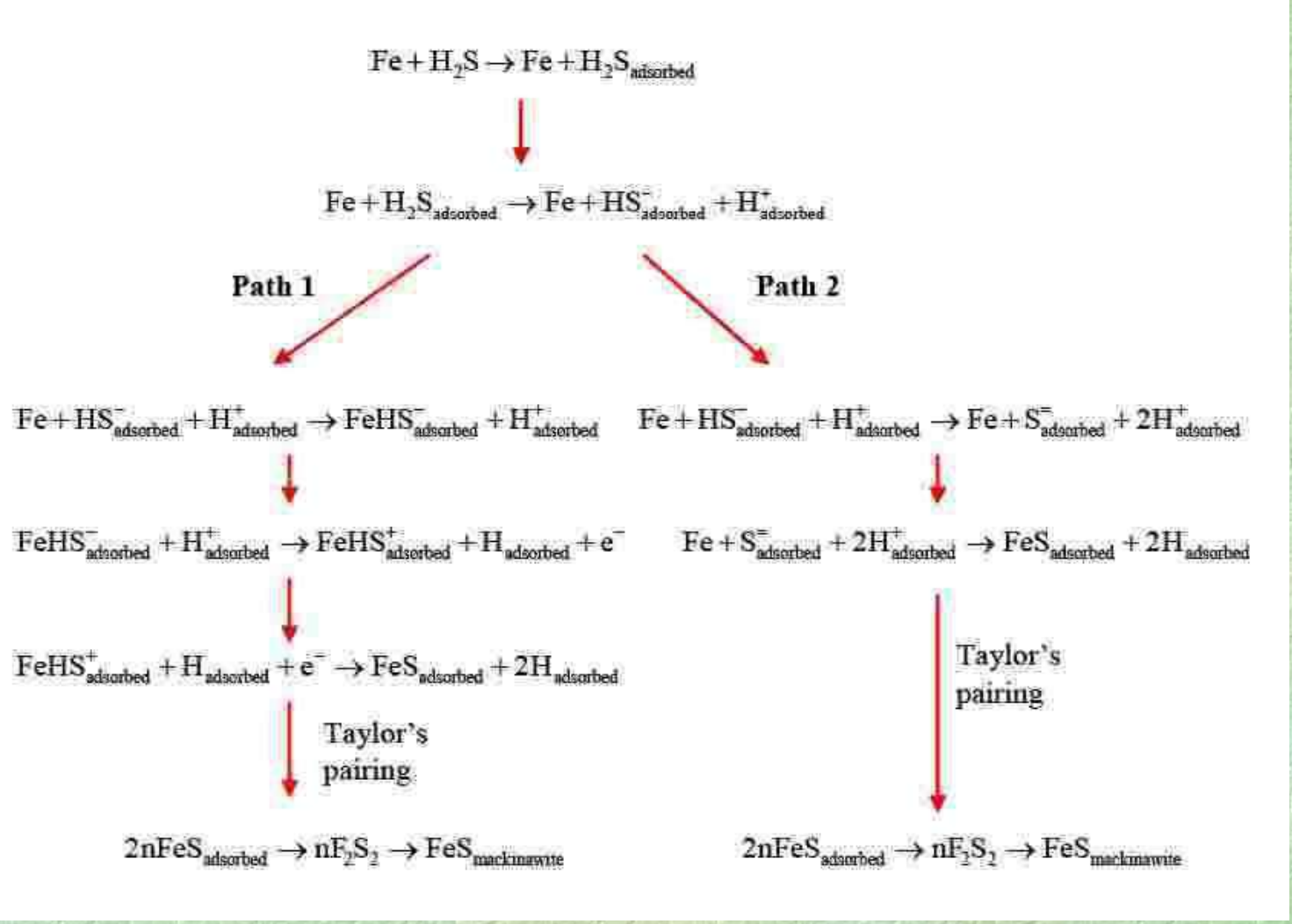
MIC – H_2S korrózió, Hidrogén hólyagosodás

- Naszcensz hidrogén
- Belső hibahelyeken rekombinálódik
- Gyors tönkremenetelt okoz





MIC SRB H_2S korrózió mechanizmusa



Biocidok

- ***Klór*** — Cl_2
- ***Nátrium hipoklorit*** — $NaOCl$
- ***Kalcium hipoklorit*** — $Ca(ClO)_2$
- ***Klór-dioxid*** — ClO_2
- ***Bróm*** — Br_2
- ***Ózon*** — O_3

Biocidok folytatás

- *Hidrogénperoxid* H_2O_2
- *Peroxi-ecetsav* CH_3COO_2H
- *Hipobrómsav* $HOBr$
- *Hipoklórsav* $HOCl$
- *BCDMH 1-Bromo-3-chloro-5,5-dimethylhydantoin*

Biocidok folytatás

- *Aldehidek* CH_2O
- *Izo-tiazol* C_3H_3NOS
- *bisz-tiocianát* $CH_2(SCN)_2$
- *Imidazolkarbamát* $C_6H_8N_4O_4$
- *Hexahidrotriazin* $C_9H_{21}N_3O_3$
- *Oktil izo-tiazol* $C_{11}H_{19}NOS$
- *2-Piridil merkaptán* $(C_5H_5N)S$

- *Kvaterner ammonium sók*

  (korróziós inhibitorok is!)

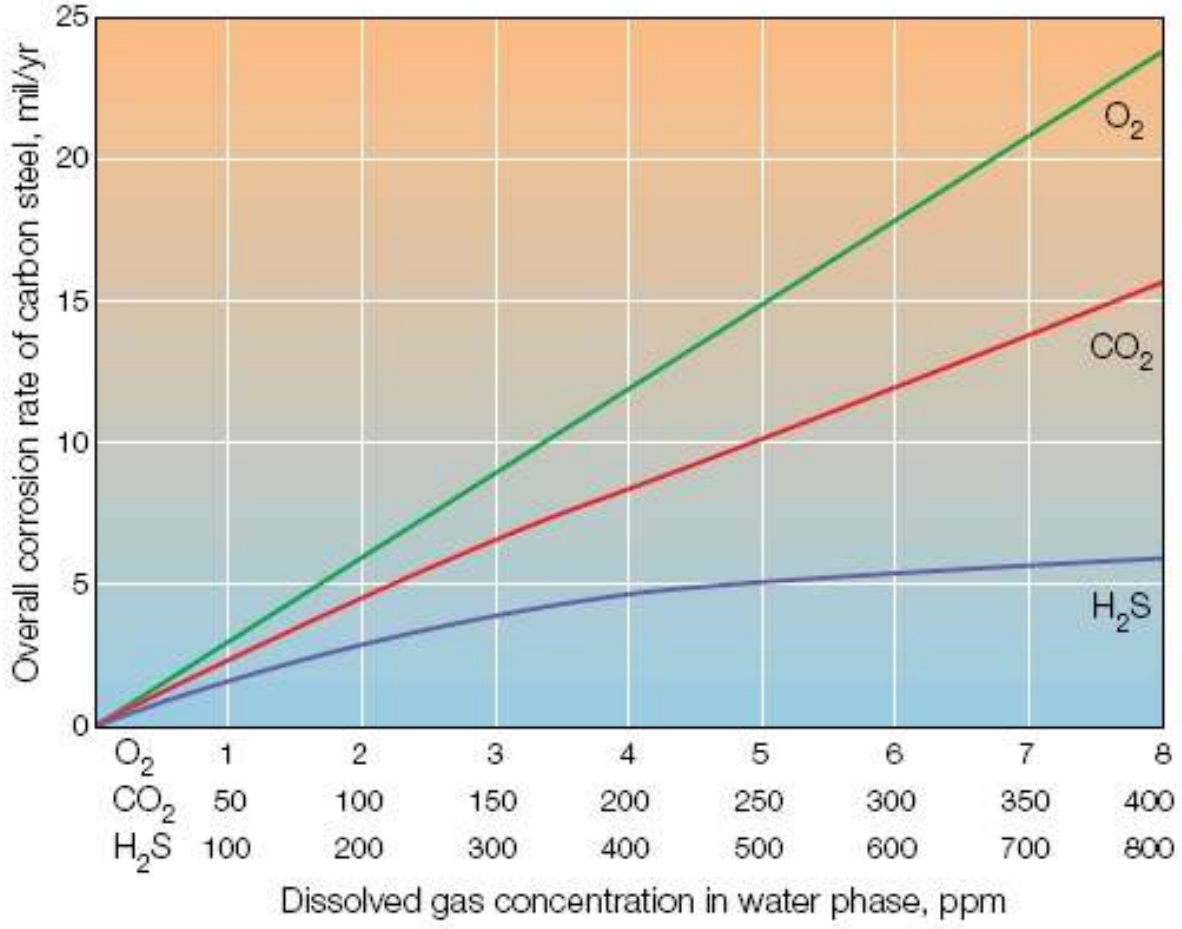
Biocidok adagolása

- *Klór*
- *Ózon*
- *Klórdioxid*
- *Hidrogénperoxid*
- *Jód*
- *Kvaterner-ammónium só*
- *Formaldehid*
- *Felületaktív anyag*

Biocide	Dosage Level (mg/l)	Contact Time (hours)
Chlorine		
Ozone	50-100	1-2
Chlorine dioxide	10-50*	<1
Hydrogen peroxide	50-100	1-2
	10% (v/v)	2-3
Iodine	100-200	1-2
Quaternary ammonium cmpds.	300-1000	2-3
Formaldehyde	1-2% (v/v)	2-3
Anionic & nonionic surfactants	300-500	3-4

* Ozone dosage is 10-50 mg/l, but the residual levels in water were 1-2 mg/l.

Az oldott gázok korróziós szerepe



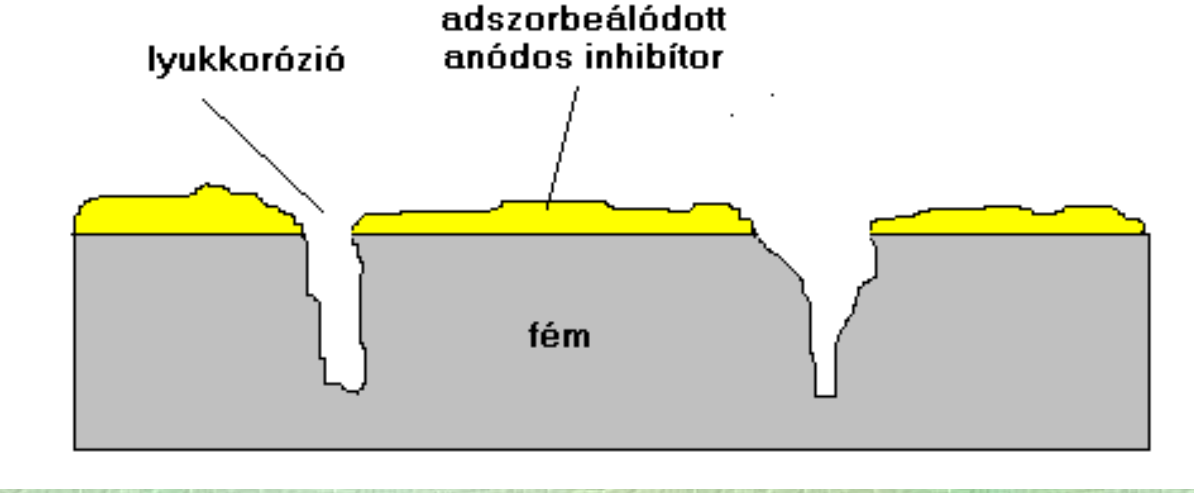
Comparison of corrosion rates of steel. Measurements of the corrosion rates of a carbon steel exposed to different concentrations of O_2, CO_2 and H_2S gases dissolved in water, show that O_2 is about 80 times more corrosive than CO_2 and 400 times more corrosive than H_2S.

A víz egyéb korróziót fokozó alkotói

- pH –oldott sók és gázok is meghatározzák
  - CO_2, SO_2, H_2S, NO_2, NH_3
- Oldott oxigén levegőből légköri nyomáson 8-9 ppm oldódik
- Algák, mikroorganizmusok
  - pH-t, oldott oxigént és egyéb alkotókat megváltoztatnak: pl szerves savakat termelnek

Aktív korrózióvédelem

- **Anódos inhibitorok:**
  - A korróziót kísérő anódos folyamatot (fém oldódását) gátolják. Amennyiben az inhibitor mennyisége nem elegendő súlyos lyukkorrózió alakulhat ki.

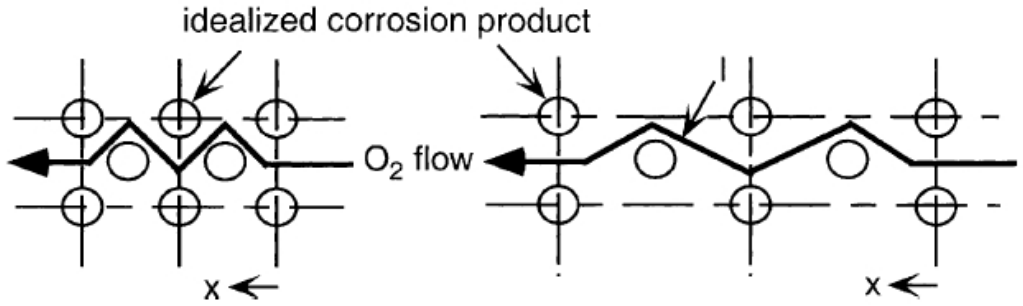


Aktív korrózióvédelem folytatás

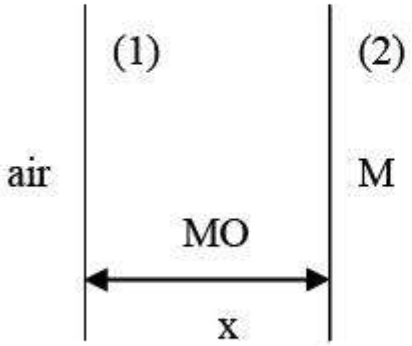
- ***Katódos inhibitorok:***
  - ***A korróziót kísérő katódos folyamatot (oldott oxigén vagy a hidrogén-ion redukcióját) gátolják.***
  - ***Elégtelen mennyiség nem okoz lyukkorróziót.***
  - ***Biztonságosabb, mint az anódos inhibitor.***

Oxigén diffúzió korróziós terméken keresztül

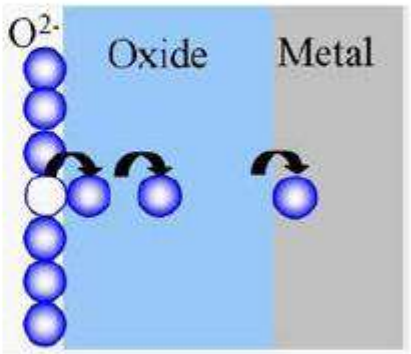
- *Az oldott oxigén akár a passzív filmen (oxidon, foszfáton) akár az inhibitor védőfilmen áthatol!*
- *Oxigén scavengert kell alkalmazni!*



Tortuousness of flow path as a function of density (schematic).

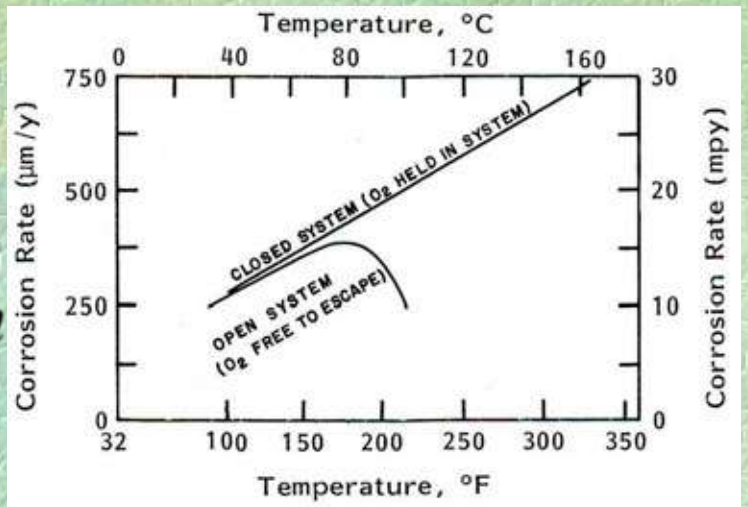


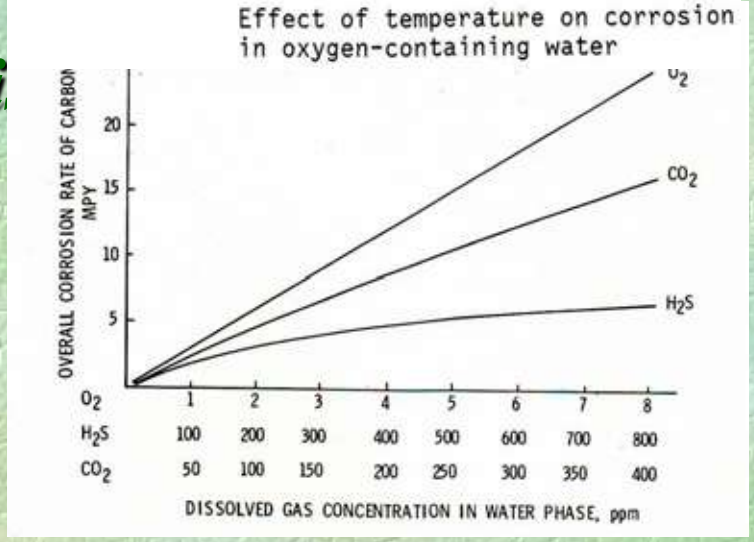
M: Metal; MO: metal oxide



Oxigén korrózió nyitott és zárt rendszerekben

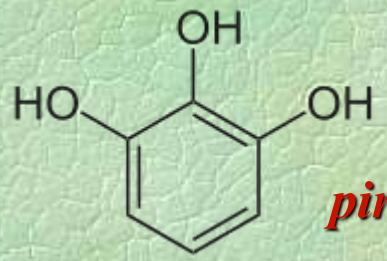
- *Az oldott oxigén mennyisége a hőfok emelésének következtében nyitott rendszerekben csökken.*
- *A sótartalom emelkedése i az oldott oxigén csökkenését eredményezi (kisózás)*





Oxigén megkötők (scavengerek)

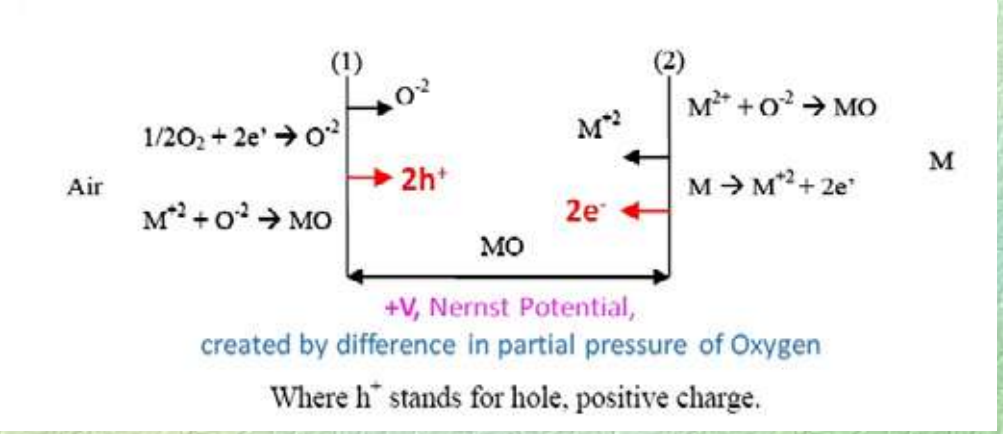
- Hidrazin N_2H_4
- Nátrium-szulfit Na_2SO_3
- Pirogallol $C_6H_6O_3$
- Karbo-hidrazid $(N_2H_3)_2CO$
- Metil-etil-ketoxim (MEKO)
- Hidrokinon $C_6H_4(OH)_2$
  - $2\ Na_2SO_3 + O_{2\ (oldott\ ox.)} = 2Na_2SO_4$
  - $N_2H_4 + O_2 = N_2 + 2H_2O$



pirogallol

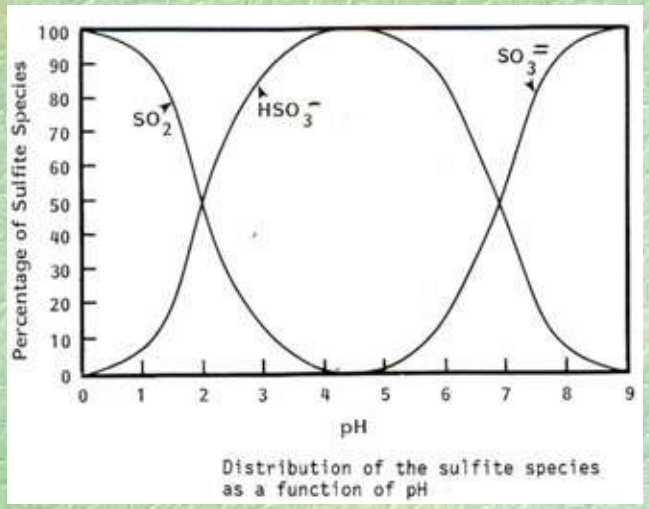
Oxigén megkötők (scavengerek) folyt

- N,N-Dietil-Hidroxil-Amin DEHA:
  $(CH_3CH_2)_2NOH$
- Metil-Etil-Ketoxim MEKO:
  $CH_3CNOCH_2CH_3$
- Erithorbin sav EA:
  $C_6H_8O_6$
- Kéndioxid
  SO_2



Oxigén megkötés scavengerrel

- **Legegyszerűbb reakciók:**
- **Katalizátor nélkül:**
  - $2Na_2SO_3 + O_2 = 2Na_2SO_4$
- **Katalizátorral:**
  - $O_2 + 6CoSO_4 + 2H_2O = 2Co_2(SO_4)_3 + 2Co(OH)_2$
  - $Co_2(SO_4)_3 + Co(OH)_2 + Na_2SO_3 = Na_2SO_4 + 3CoSO_4 + H_2O$



Distribution of the sulfite species as a function of pH

Szokásos adagolási dózisok DO mennyiségre vonatkoztatva

ppm= mg/l, ppb= µg/l

Kazánok: 30 ppb oldott oxigén!

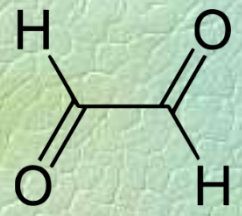
Oxygen Scavengers

Compound	Formula	Theoretical Requirement per ppm O_2	Form	Typical % Active	Requires Catalyst
Sodium Sulfite	Na_2SO_3	7.9 ppm	Powder	100	Yes
Sodium Bisulfite	$NaHSO_3$	6.5 ppm	Liquid	35	Yes
Ammonium Bisulfite	NH_4HSO_3	6.2 ppm	Liquid	65	No
Sulfur Dioxide	SO_2	4.0 ppm	Gas	100	No*
Sodium Hydrosulfite	$Na_2S_2O_4$	5.5 ppm	Powder	100	No
Hydrazine	N_2H_4	1.0 ppm	Liquid	35	No

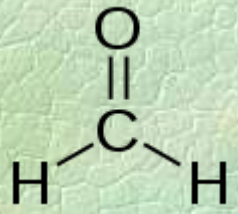
*Catalyst must be added separately.

Kénhidrogén megkötők scavengerek

- Hidroxialkil-triazinok és kvaterner ammónium sók keverékei
- Szervetlen sók: $NaClO_2$, $NaBrO_3$, $NaNO_2$
- Aldehidek
  - Glioxál $C_2H_2O_2$
- Aminos technológiák:
  - Monoetanolamin
  - Dietanolamin
  - Diizopropilamin
  - Diglikolamin
  - N-metil-dietanolamin



Formaldehid CH_2O

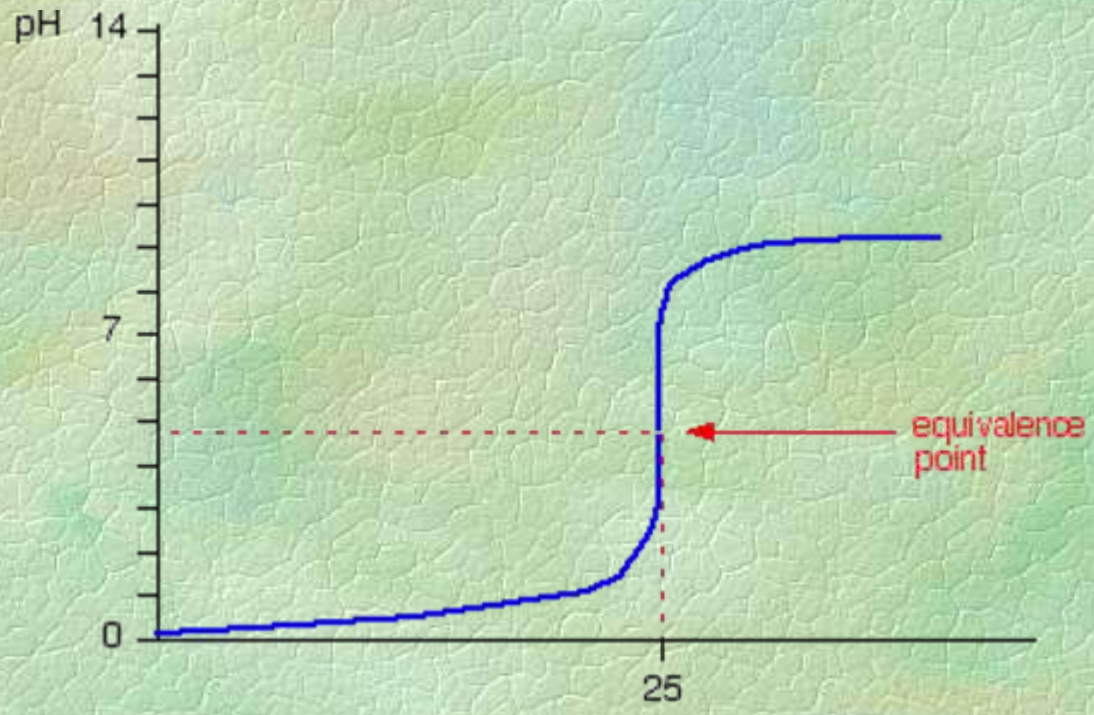




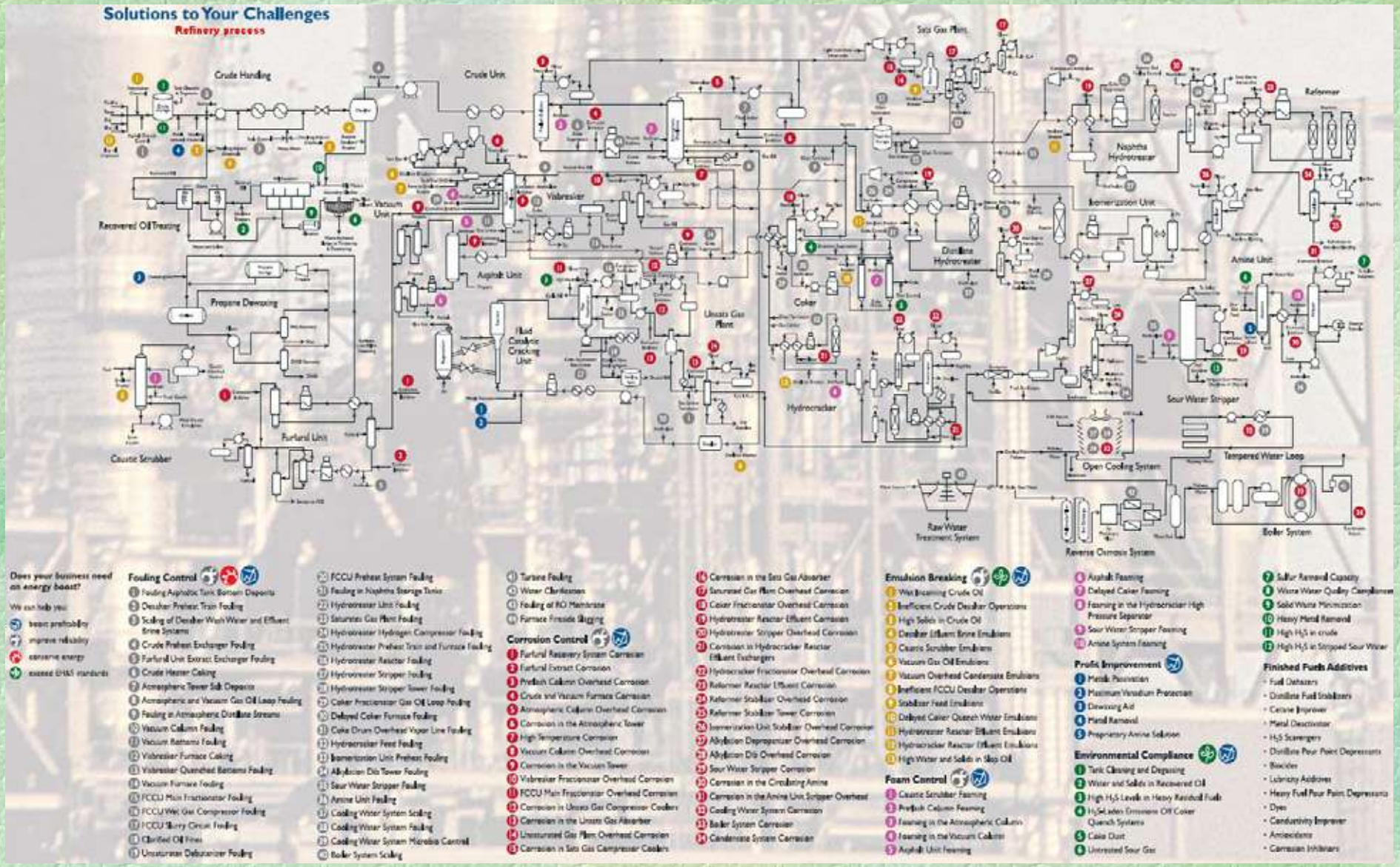
Triazin izomerek

Finomítói kolonnák korrózióelleni védelme

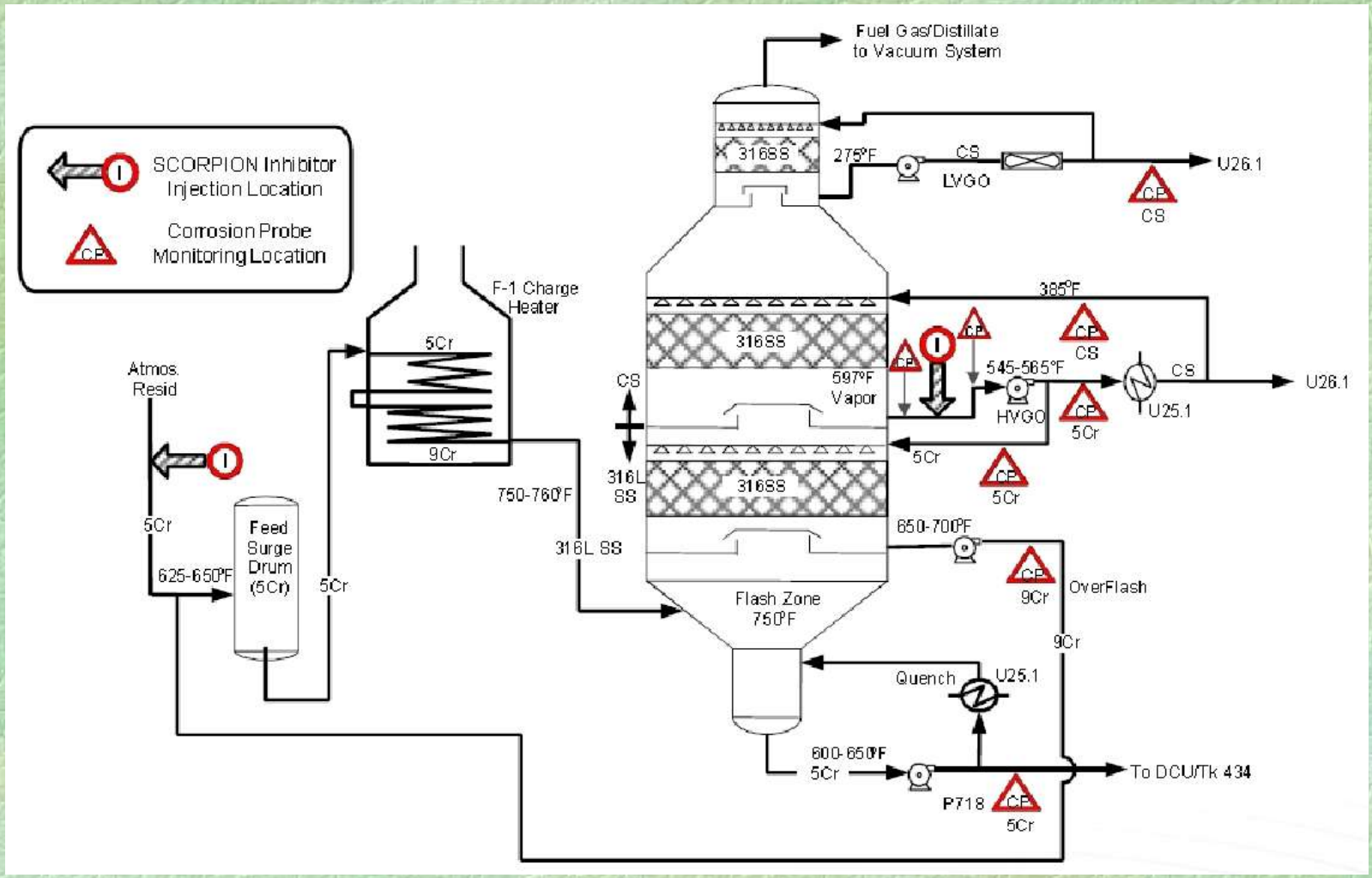
- *Ammóniás semlegesítés*
  - $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$
  - $NH_3 + H_2S \rightarrow NH_4HS$



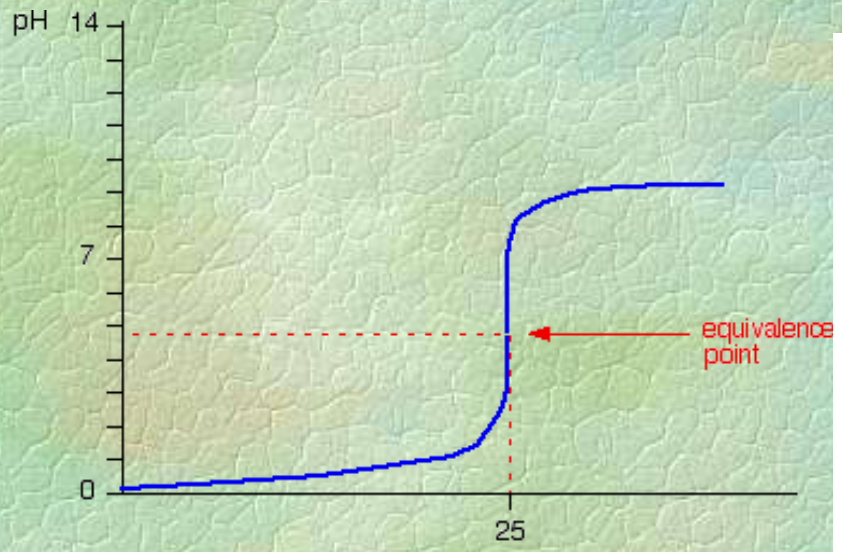
Finomítói blokkdiagram, és kezelések

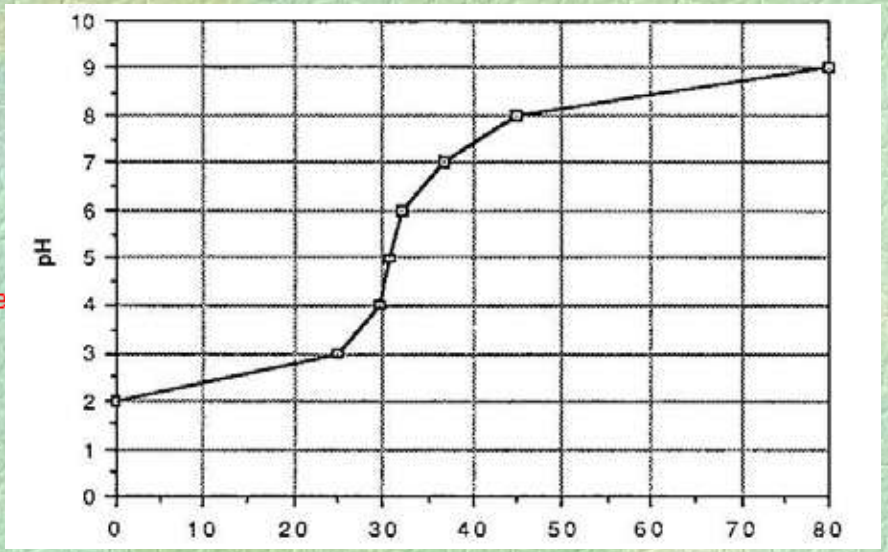


Savanyú olajok feldolgozása-I



Semlegesítő aminok puffer kapacitása vs. ammónia





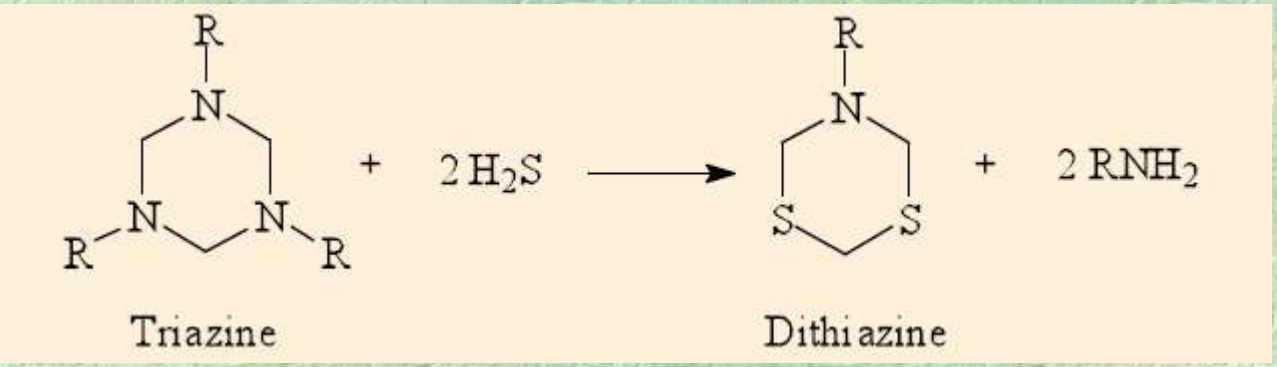
- *Az ammónia kis koncentráció változásra nagy pH változást eredményez, - nincs puffer kapacitása*
- *A semlegesítő amin nagy koncentrációváltozás mellett okoz csak pH változást, -a puffer kapacitása nagy*

Semlegesítő aminok

- *Morpholine*
- *Cyclohexylamine*
- *Ethylenediamine*
- *Pyridine*
- *MEA (Monoethanolamine)*
- *MOPA (Methoxypropylamine)*
- *DEAE (Diethylaminoethanol)*
- *DMIPA (Dimethylisopropanolamine)*
- *DMAE (Dimethylaminoethanol)*

Kénhidrogén mentesítés

- **Kénhidrogén kémiai reakcióval köthető meg**



- **$Fe(C_6H_{12}O_7)_2 + H_2S = FeS + 2\ C_6H_{13}O_7$**
  - **Vasglükonátos kénhidrogén mentesítés**
  - **Vasoxidos kénhidrogén mentesítés**

Hűtőfolyadékok, glikolok

- *Hűtő és fűtő közegek korróziója több fémes korrózió*
- *Hagyományos korróziós inhibitorok*
  - *Anódos inhibitorok és inhibitor keverékek*
- *Korszerű inhibitorok*
  - *Szerves filmképző amfoter vegyületek, oriás molekulák*

Glikolok minhibitálása

- *Salétromos sav és sói*
- *Bórsav és sói*
- *Foszforsav és sói*
- *Kovasav és sói*
- *Benzoesav és sói*
  - *Na^+, K^+*
- *Nátrium-nitrát*
- *Alkil-aminok, Ciklo-alkil-aminok, Tiazolok*

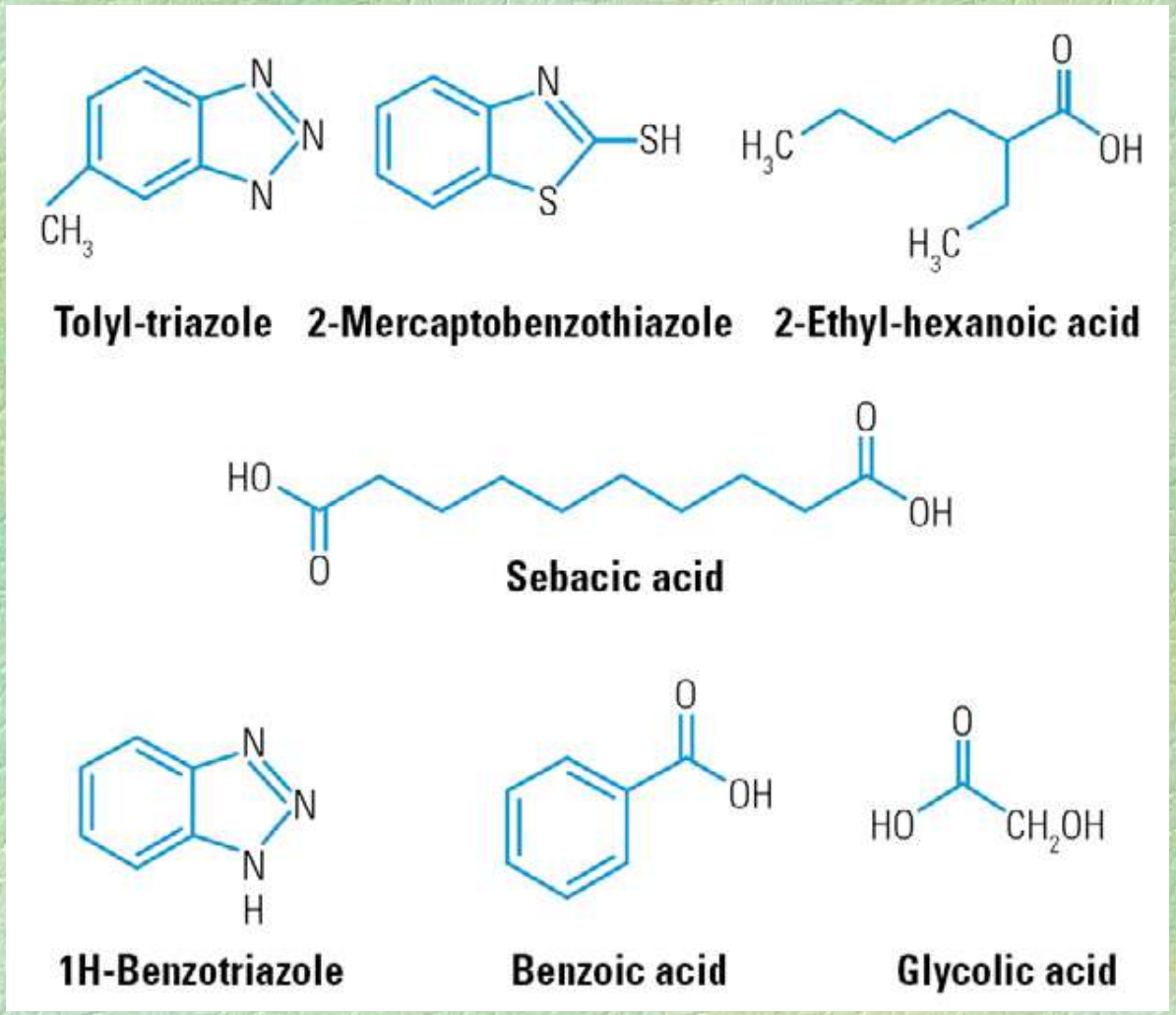
Inhibitor keverékek glikolokhoz

- *Bórax 0,8% Na-polifoszfát 0,8% Ciklo-hexil-amin 0,8%*
- *Na-benzoát 0,1-1,5%, Na NO_2 0,3%*
- *Na-benzoát 5% Na NO_2 0,1-0,5%*
- *Na-benzoát 7,5% Na NO_2 0,5%*
- *Bórax 1% Na-polifoszfát 1%*
- *Bórax 1% Na-polifoszfát 1% Na-szilikát 1%*
- *Bórax 1-3% Trietanol-amin0,9%Na-merkapto-benztiazol 0,1%*
- *Bórax 1% Na-polifoszfát 1% Acilezett-szarkozin 1%*

Inhibitor keverékek glikolokhoz folyt

- *Bórax 1% Vízüveg 1% Dietanol-amin 0,5%*
- *Bórax 0,8% Na-polifoszfát 0,8% Progasol BW 0,8%*
- *Trietanol-amin-foszfát 1% Nátrium-merkapto-benztiazol 0,2%*
- *Na-merkapto-benztiazol 0,3% Foszforsav 0,6% Trietanol-amin 1,7%*
- *Bórax 2,5% Trietanol-amin 1,5%*
- *Bórax 2% Na-merkapto-benztiazol 0,1% Trietanol-amin 0,9% Foszforsav 0,3%*
- *Bórax 1% Nafténsavas-imidazolin 0,5% Dietilén-amin 0,5%*
- *Bórax 1% Na_2HPO_4 0,5% NaH_2PO_4 0,5% Dietilén-amin 0,5%*

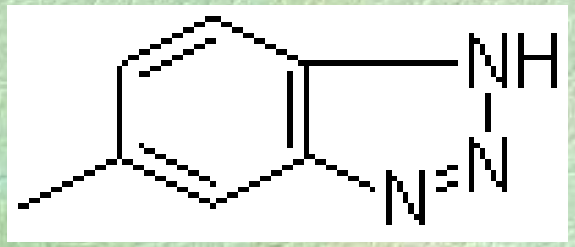
Korszerű inhibitorok glikolokhoz

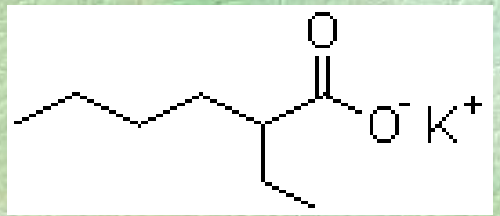


- Tolitriazol
- Merkapto-benztriazol
- Etilhexánsav
- Szebacinsav
- Benztriazol
- Benzoesav
- Glikolsav

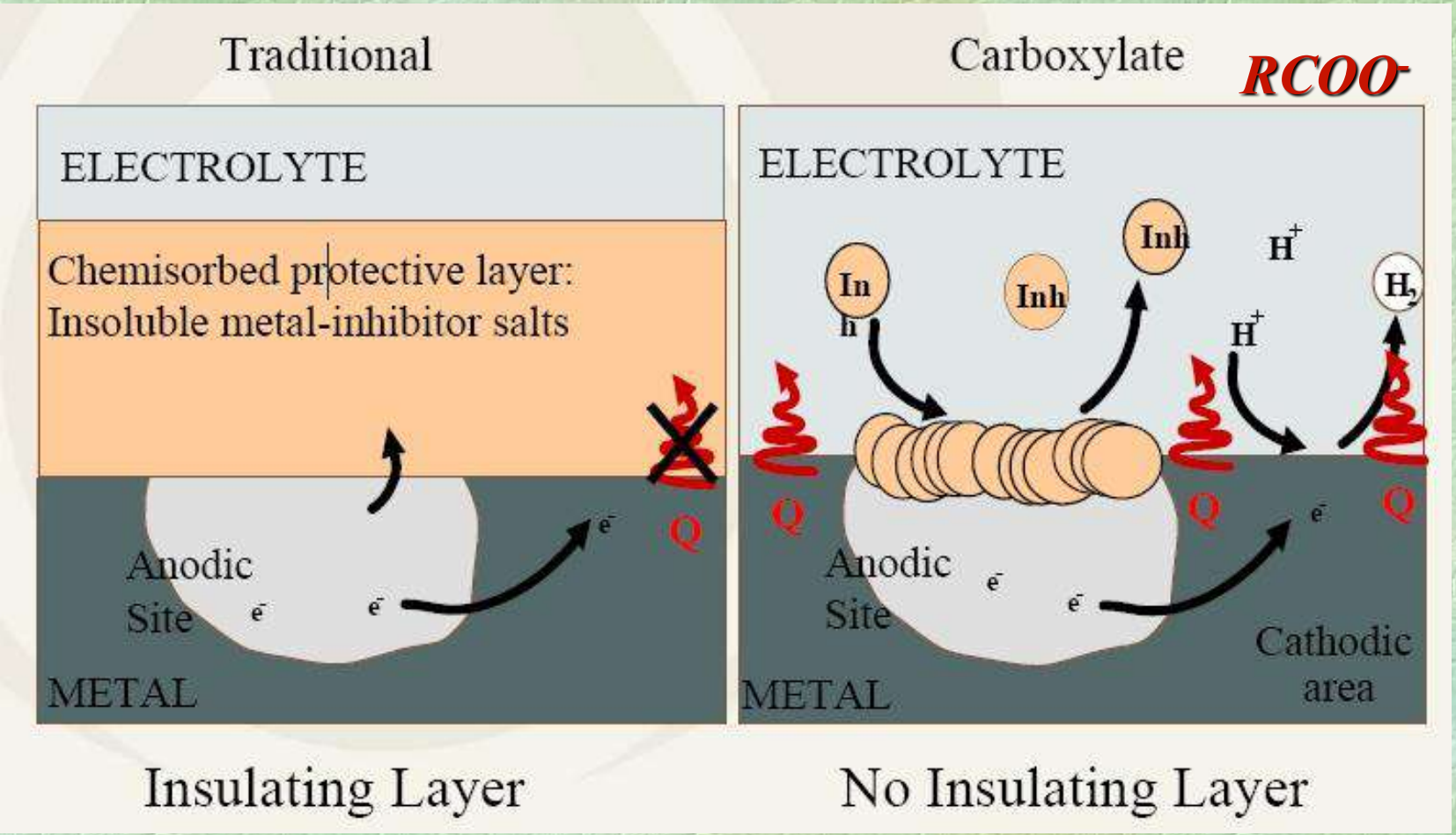
Korszerű inhibitorok glikolokhoz folyt.

- Szebacinsav $(CH_2)_8(COOH)_2$
- Szorbitán-monooleát E 494
- Szorbitán-monolaurát E 493
- Szorbitán-monosztearát E 491
- Methyl-1H-benzotriazole (Toliltriazol) $C_7H_7N_3$
- Kálium 2-etilhexanát $C_8H_{15}KO_2$
- Szorbit E420





Korszerű inhibitorok hatásmechanizmusa



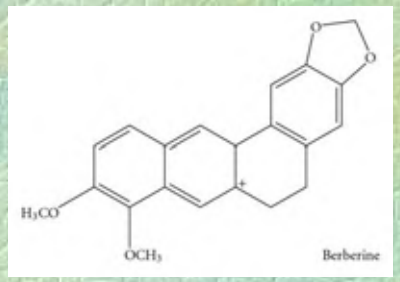
Környezetbarát inhibitorok

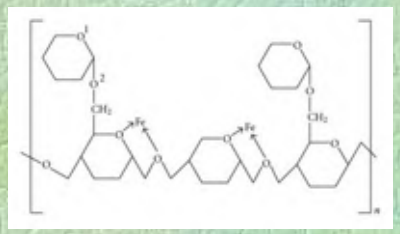
- ***Biodegradálhatóak** (rövid lebontási idejük van)*
- ***Nem akkumulálódnak***
- ***Nem toxikusak (LD_{50}) (lethal dose 50%)***
- ***Természetes anyagok kivonatai (pl. mango, rozmaring, stb.)***
- ***Nagy molekulájú bio-polimerek (aszpartátok, aminosavak, alkil-poliglükozidok, poli-epoxi-borostyánkősav)***

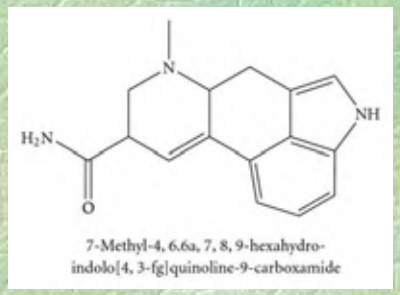
Természetes anyagok

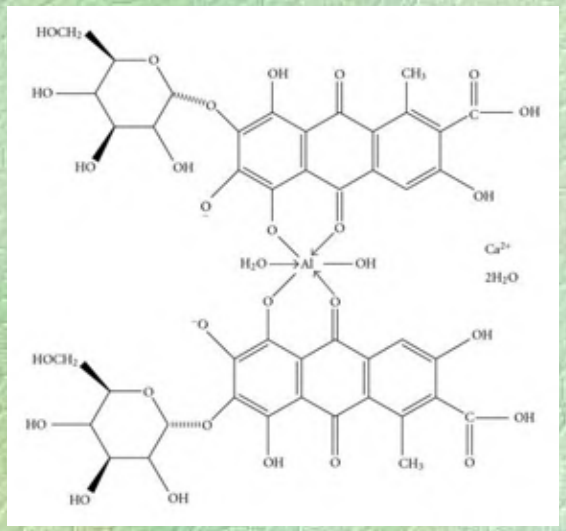


- *Berberin*
- *Gutár gumi*
- *Lizerg sav*





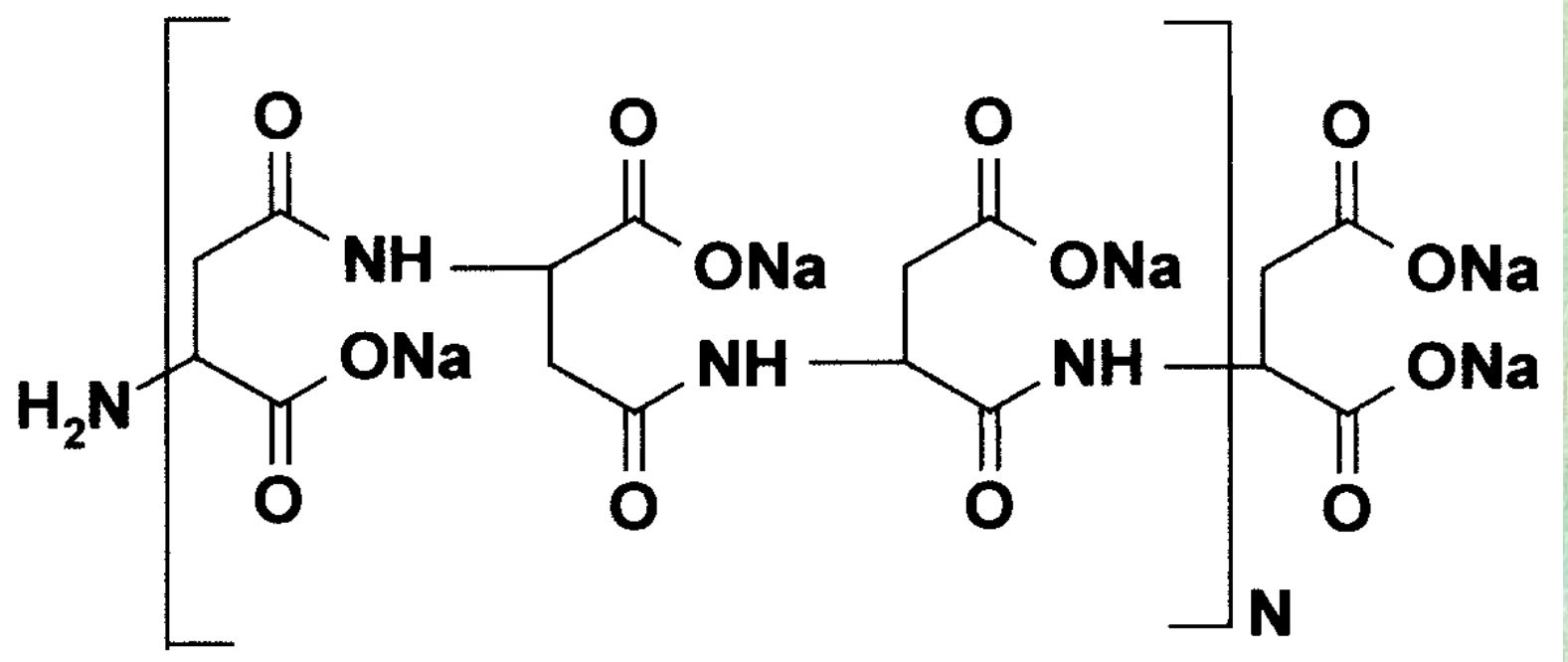




Zöld és vörös színezékek

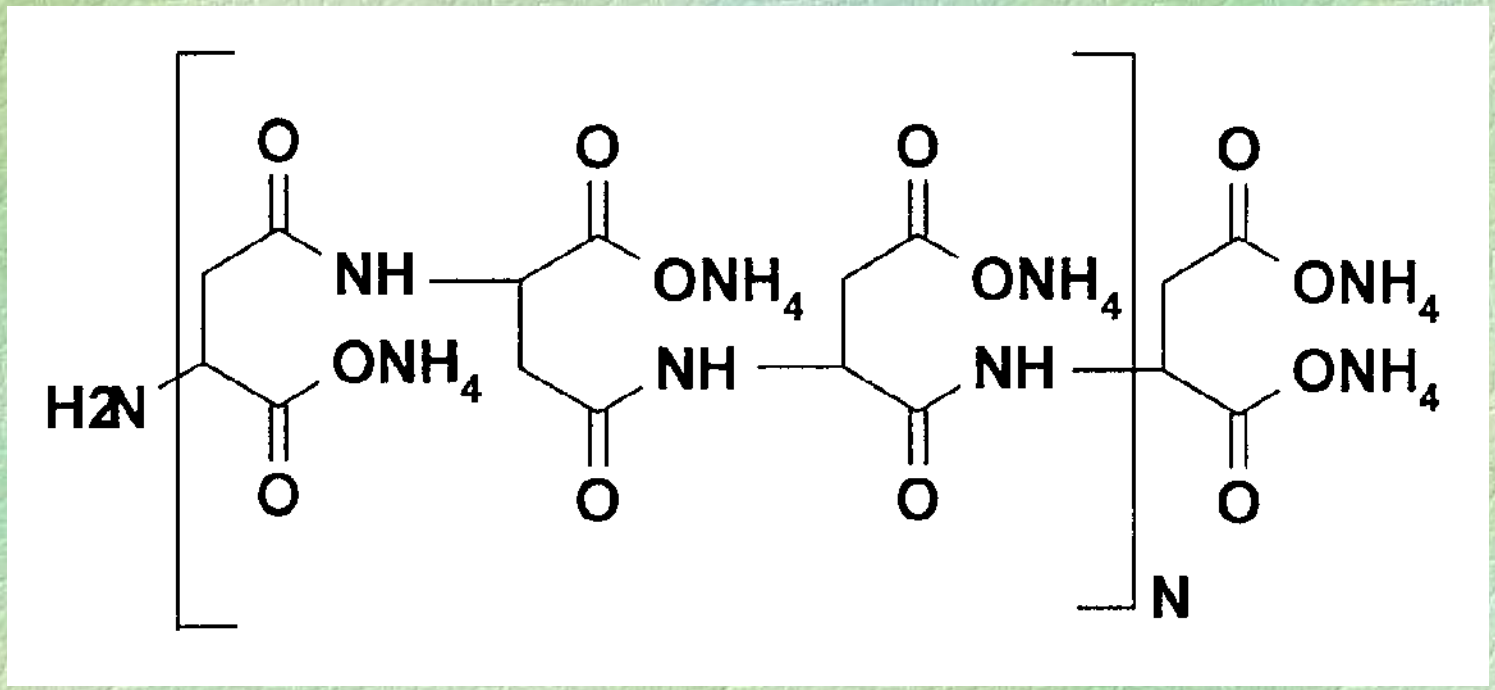
Aszpartátok, mint „green” scale és korróziós inhibitorok

- ***Poliaszparaginsav nátrium só***



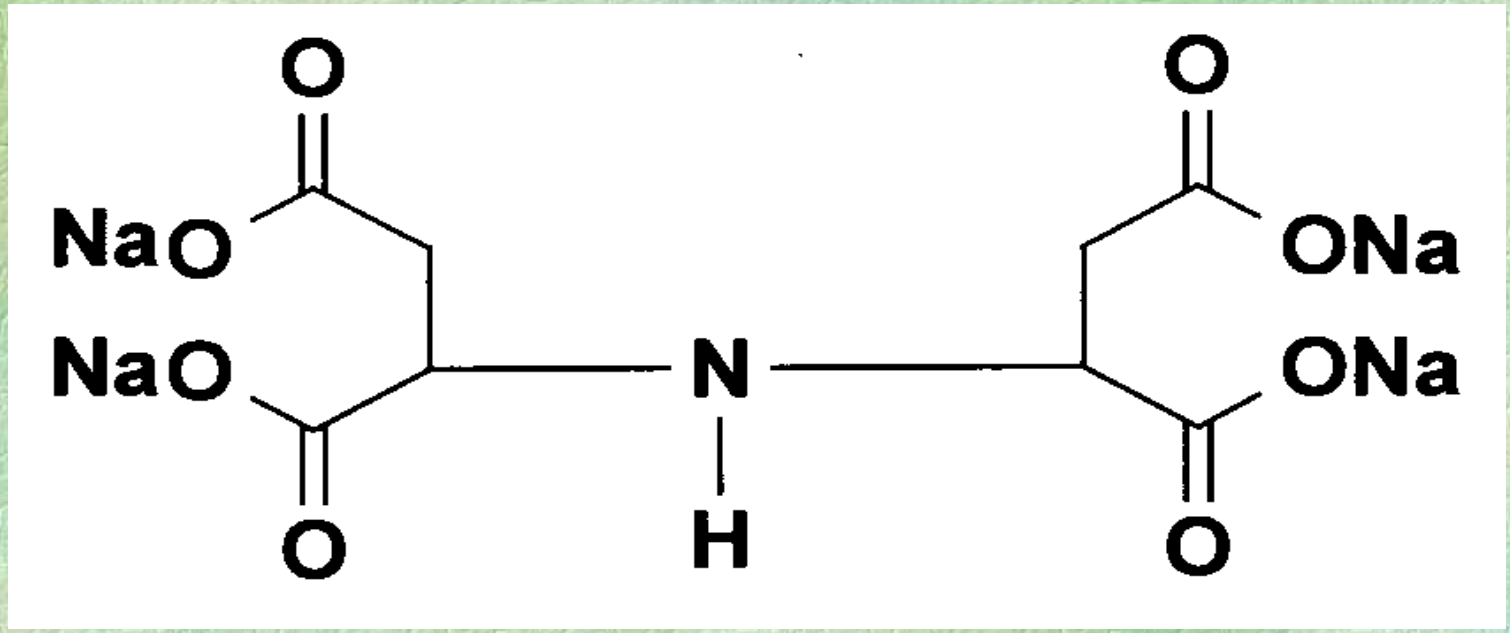
Aszpartátok, mint „green” scale és korróziós inhibitorok

- ***Poliaszparaginsav***



Szukcionátok, mint „green” scale és korróziós inhibitorok

- ***Iminodiszukcinát***



Green lista-1

- Tamarindusz gyumölcs
- Tealevél
- Gránátalma
- Eukaliptusz
- Henna
- Gumi
- Banánlevél
- Aloelevél
- Mango héj
- Narancs héj

Green inhibitors used for corrosion inhibition of steel.

Metal	Inhibitor source	Active ingredient
Steel	Tamarind	
Steel	Tea leaves	
Steel	Pomegranate juice and peels	
Steel	*Emblica officinalis*	
Steel	*Terminalia bellerica*	
Steel	Eucalyptus oil	Monomtrene 1,8-cineole
	Rosemary	
C-steel, Ni, Zn	Lawsonia extract (Henna)	Lawsone (2-hydroxy-1, 4-napthoquinone resin and tannin, coumarine, Gallic, acid, and sterols)
Mild steel	Gum exudate	Hexuronic acid, neutral sugar residues, volatile monoterpenes, canaric and related triterpene acids, reducing and nonreducing sugars
Mild steel	*Musa sapientum* peels (Banana peels)	
Carbon steel	Natural amino acids—alanine, glycine, and leucine	
Steel	Natural amino acids	
Mild steel	*Garcinia kola* seed	Primary and secondary amines Unsaturated fatty acids and biflavnone
Steel	*Auforpio turkiale*	Protein hydrolysis
Steel	*Azydracta indica*	Protein hydrolysis
Steel	Aloe leaves	
Steel	Mango/orange peels	
Steel	*Hibiscus sabdariffa (Calyx extract) in* 1 M H_2SO_4 and 2 M HCl solutions, Stock 10–50%	Molecular protonated organic species in the extract. Ascorbic acid, amino acids, flavonoids, Pigments and carotene

Green lista-2

- Dohány
- Vanília
- Rozmaring
- Citromsav
- Benzoesav
- Keserűfű
- Tannin
- Méz
- Hagyma kivonat
- Manóz, fruktóz
- Akác kivonat

Green Inhibitors used for corrosion inhibition of aluminum, aluminum alloys, and other metals and alloys.

Metal	Inhibitor source	Active ingredient
Al	$CeCl_3$ and mercaptobenzothiazole (MBT)	
Al, steel	Aqueous extract of tobacco plant and its parts	Nicotine
Al	Vanillin	
Al-Mg alloy	Aqueous extract of *Rosmarinus officinalis*—Neutral phenol subfraction of the aqueous extract	Catechin
Al	Sulphates/molybdates and dichromates as passivators	
Al	Amino and polyamino acids—aspartic acid	
Al	Pyridine and its selected derivatives (symmetric collidine and 2,5-dibrompyridine)	
Al	Citric acid	
Fe, Al	Benzoic acid	
Al	Rutin and quercetin	
Al		
Al	Polybutadieonic acid	
Al and Zn	Saccharides—mannose and fructose	
Al, Al-6061 and Al-Cu	Neutral solutions using sulphates, molybdates, and dichromates	
Al	*Vernonia amygdalina* (Bitter leaf)	
Al	Prosopis—cineraria (khejari)	
Al	Tannin beetroot	
Al	Saponin	
Al	Acacia concianna	
Al and Zn	Saccharides	
Al	Opuntia (modified stems cladodes)	Polysaccharide (mucilage and pectin)
Al-Mg alloy	*Rosmarinus officinalis*	
Zn	Metal chelates of citric acid	
Zn	Onion juice	S-containing acids (glutamyl peptides) S-(1-propenyl) L-cysteine sulfoxide, and S-2-carboxypropyl glutathione
Sn	Natural honey (acacia chestnut)	
Sn	Black radish	120

Áttekintés

- *A víz mint korróziós közeg*
- *Nedves talajok korróziós hatásai*
- *Vízkő, vagy korrózió?*
- *Vízkőkiválás*
- *Vízkövek, kazánkövek*
- *Vízkő inhibitorok*
- *Olajiparban használt korróziós inhibitorok*
- *MIC Mikrobiológiai korrózió*
- *Biocidok*
- *Hűtőfolyadékok inhibitorai (glikolok)*





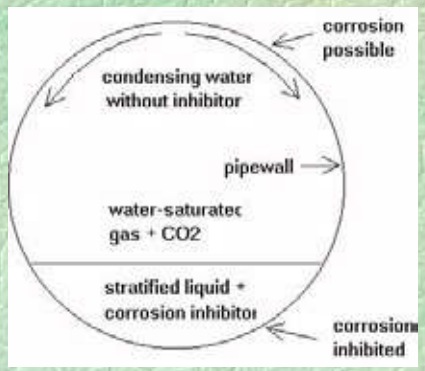
Korrózióvédelem Inhibitorokkal-III

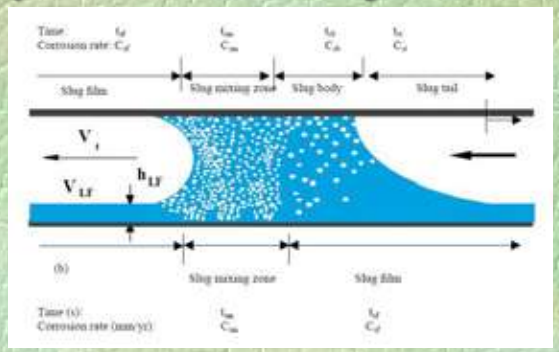
II. rész

Szénhidrogén termelés

A termelt olaj, gáz és víz korróziós tulajdonságai

- Olaj összetétele (aszfaltén, naftén tartalom)
- Gáz összetétele (CH-k, N_2, CO_2, H_2S, O_2)
- Víz összetétele (pH, TDS, TSS, Cl^-, oldott gázok)
- GOV, OVV (gáz-víz arány, olaj víz arány, vízszázalék)
- Áramlási viszonyok (1, 2, 3 fázisú rendszerek)





A termelés közegoldali korróziós problémái

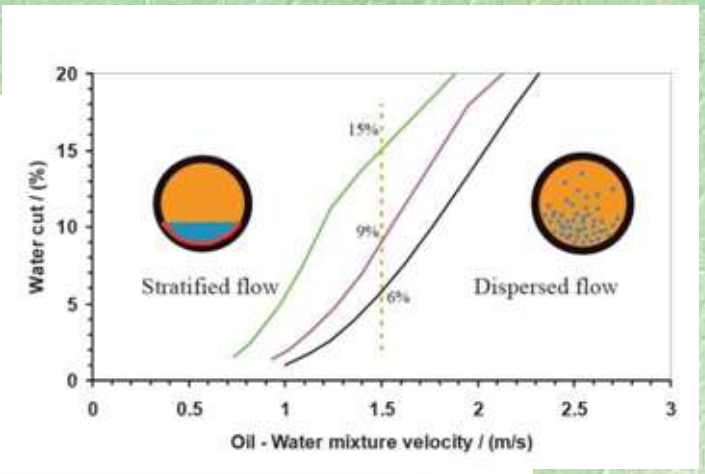
Jellemző korróziót befolyásoló tényezők

- **Áramlási anomáliák, lerakódások kiválások**
  - *Korróziós termékek*
  - *Lebegőanyag kiválás*
- **Oldott agresszív komponensek**
  - *Klorid* (összes só)
  - *Oldott gázok* (CO_2, H_2S, O_2)
- **MIC (**mikroorganizmusok okozta korrózió**)**
  - *Aerob mikroorganizmusok* (?)
  - *Anaerob mikroorganizmusok* (SRB ?)
- **Szerkezeti anyag kiválasztás** (általános rendeltetés)
  - *Szénacél* (általános rendeltetés)
  - *Korrózióálló acél* (AISI 303, AISI 304, Cl korrózió!)
  - *Változó szerkezetpotenciálok!* (eltérő anyagminőségek)





Áramlási viszonyok gáz-folyadék rendszerekben



CO_2 korrózió által kialakult káresetek és vizsgálatuk

- **Esettanulmányok és következtetések** →
- **Közeg oldali korrózió**

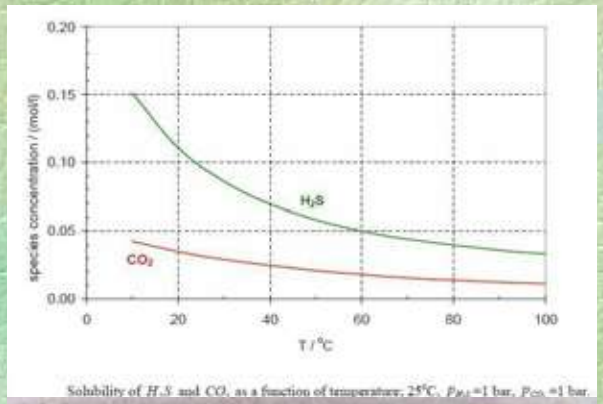






Széndioxid és kénhidrogén okozta korrózió a gáz- és olajtermelésben-1

- GOV; Víz %;
  - Oldott sótartalom
- Széndioxid
- Kénhidrogén
- Oxigén (?)
- Klorid, acetát (!)



Solubility of H_2S and CO_2 as a function of temperature, 25°C, P_{H_2S}=1 bar, P_{CO_2}=1 bar.



Széndioxidos anomáliák, nem mindig a parciális nyomás a meghatározó!

Vegyes korrózió!

Kénhidrogén esetén lappangási idő!

Főbb területek:

- Termelőcső
- Béléscső
- Bekötő vezeték
- Szeparátor
- Emulzióbontó tartály
- Termelvény tároló tartály
- Szállító vezeték





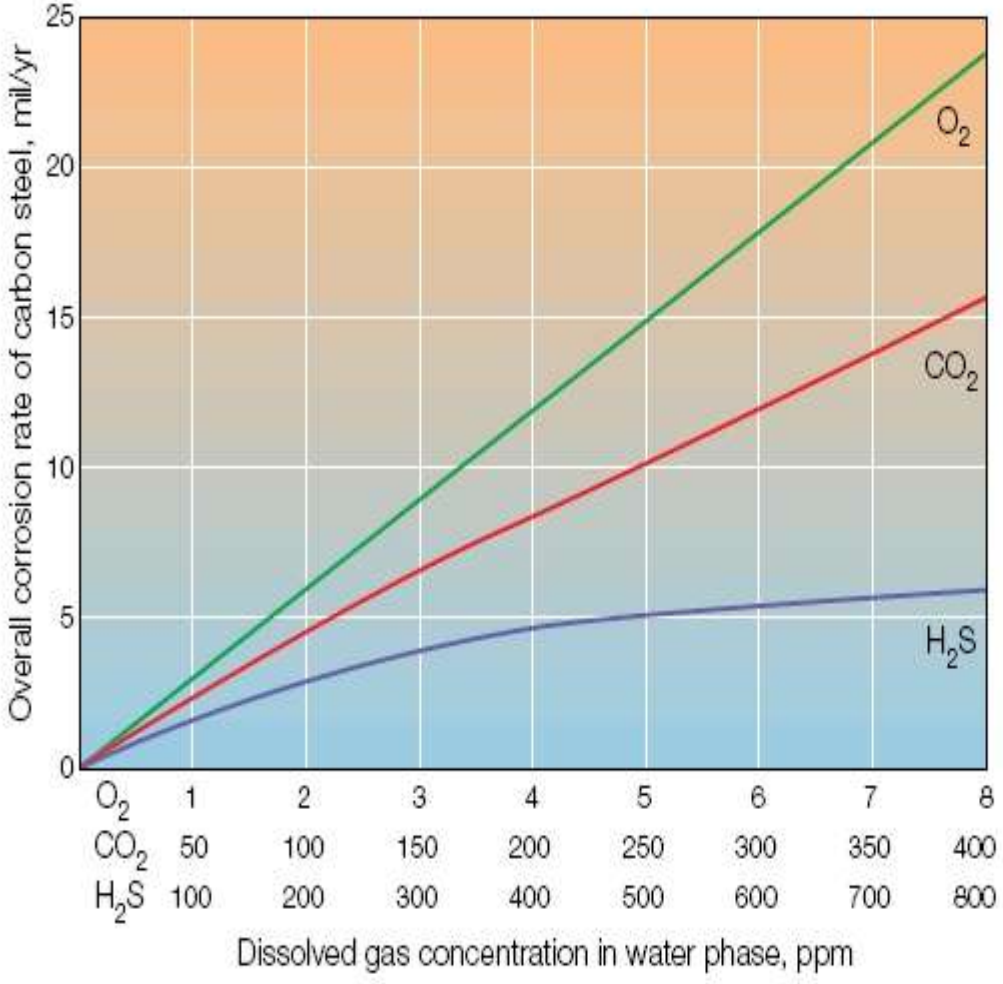
Oldott gázok és a korrózió

- **Oxigén, széndioxid és kénhidrogén (tiszta gázok)**





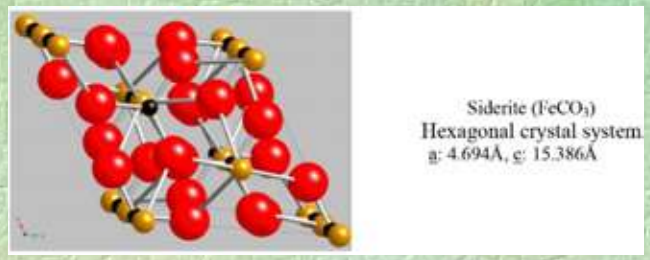




Comparison of corrosion rates of steel. Measurements of the corrosion rates of a carbon steel exposed to different concentrations of O_2, CO_2 and H_2S gases dissolved in water, show that O_2 is about 80 times more corrosive than CO_2 and 400 times more corrosive than H_2S.

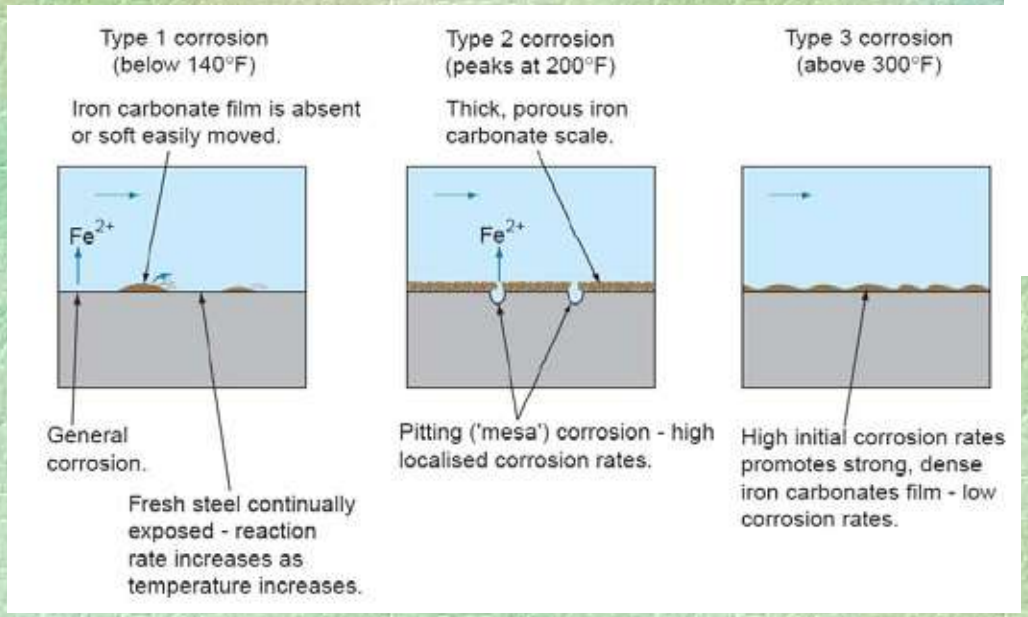
Széndioxid okozta korrózió

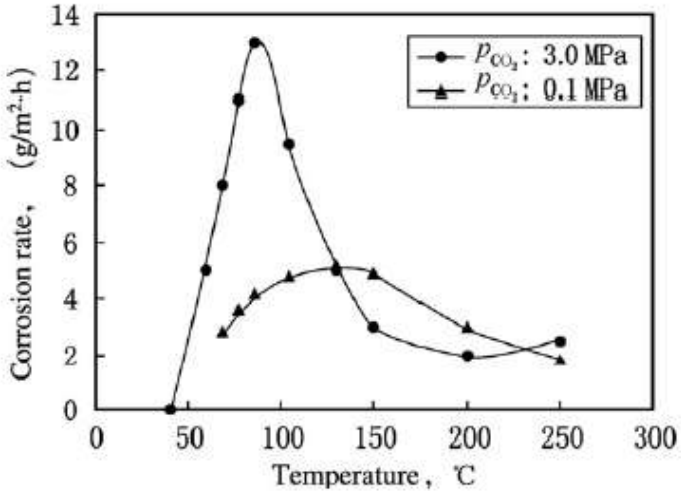
- Széndioxid parciális nyomása és a korrózió
- 30 psi (2,07 bar) CO_2 parciális felett a korrózió szinte biztos
- 7 - 30 psi (0,48 - 2,07 bar) között a korrózió lehetséges
- 0 - 7 psi (0 - 0,48 bar) között a korrózió nem valószínű
- Anomáliák lehetnek! Korróziós termékrétegek szerkezete!



Széndioxid korrózió

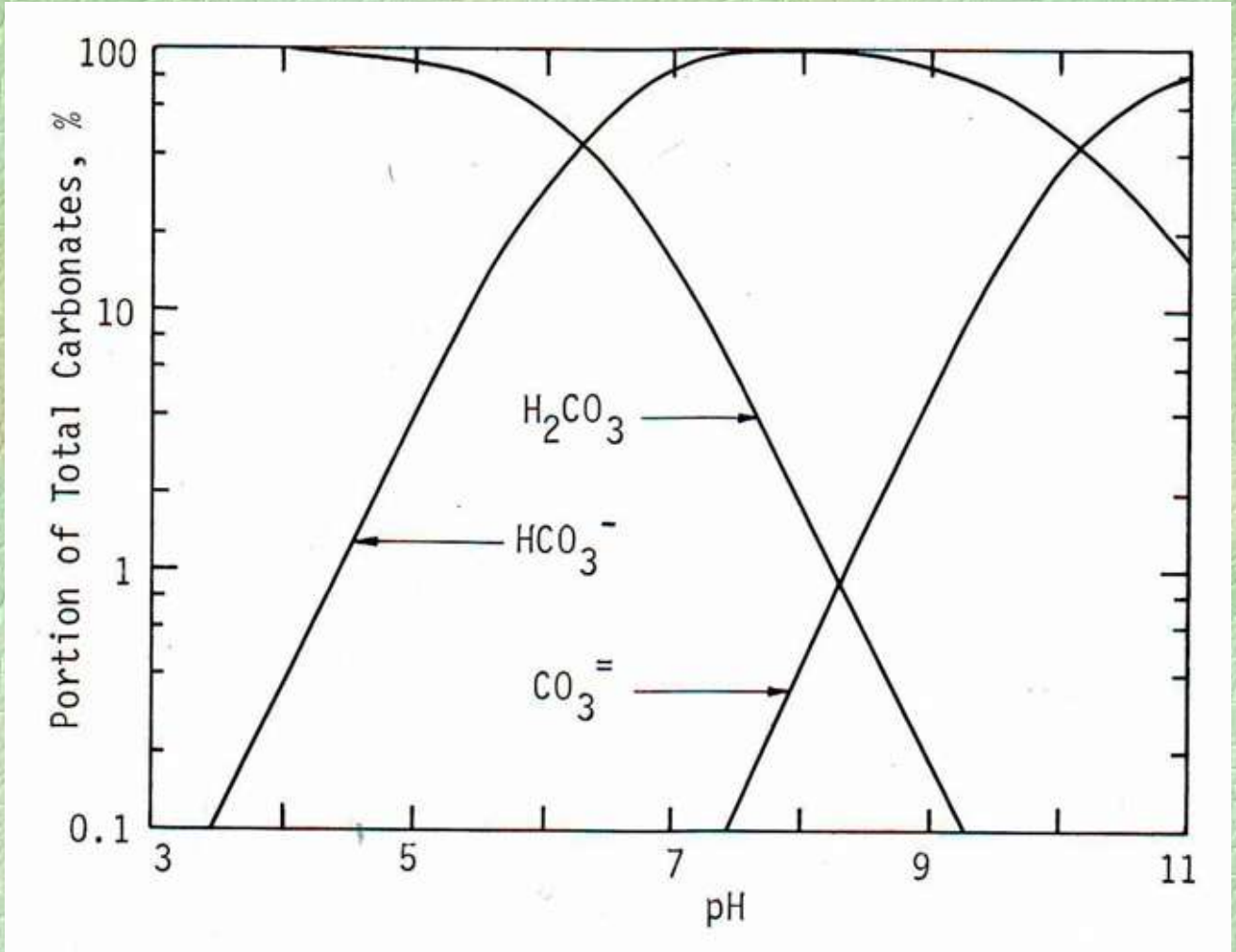
Hőmérséklet és parciális nyomás hatása a korrózió sebességére és jellegére





Anomália: The relationship between temperature, partial pressure of carbon dioxide, and corrosion rate.

Szénsav pH függő ionizációja vízben



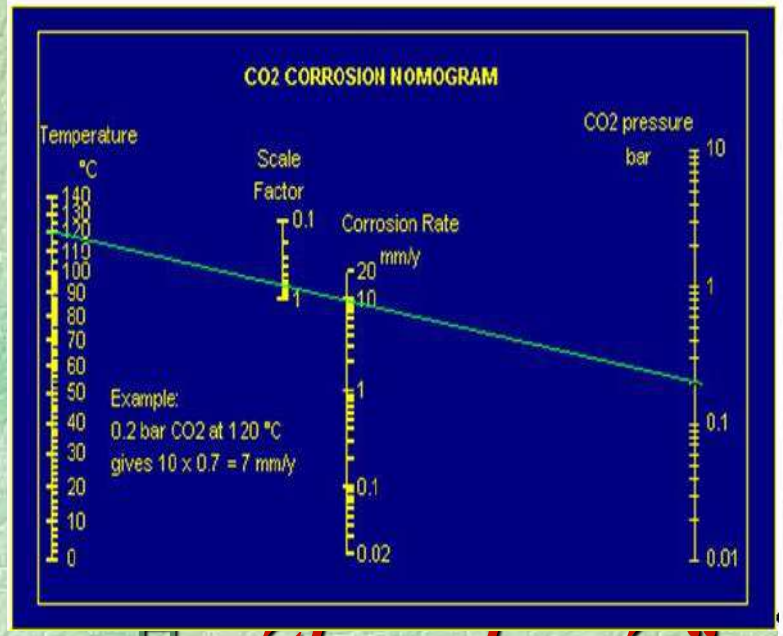
Széndioxid korrózió vizes közegben

- $CO_2 + H_2O \Longrightarrow H_2CO_3 \Longrightarrow H^+ + HCO_3^{2-}$
- $2Fe + H_2CO_3 \Longrightarrow Fe_2CO_3 + H_2$
- $Fe + 2H_2CO_3 \Longrightarrow Fe(HCO_3)_2 + H_2$
- $2Fe(HCO_3)_2 + 1/2\ O_2 \Longrightarrow Fe_2O_3 + 4CO_2 + 2H_2O$
- $4Fe + 3O_2 + 6H_2O \Longrightarrow 4Fe(OH)_3$
- *A korróziós termék szerkezete összetett lehet*

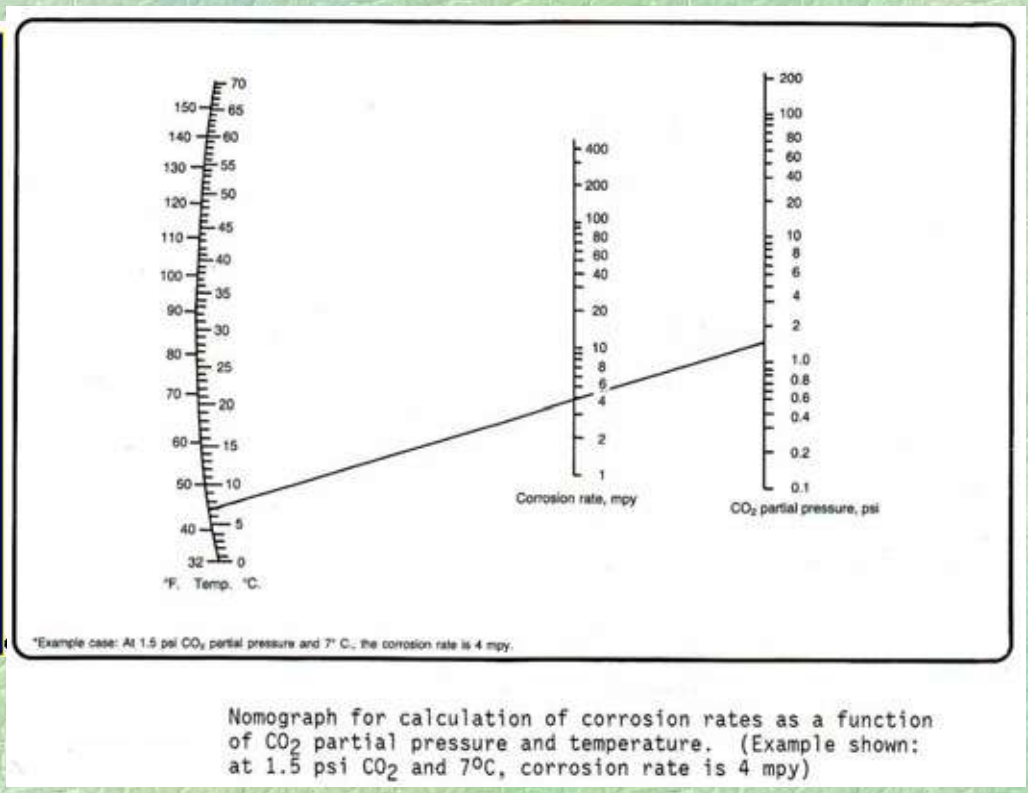
Korrózió előrejelzés



- Széndioxid korrózió becslése



- „átlag sebesség”

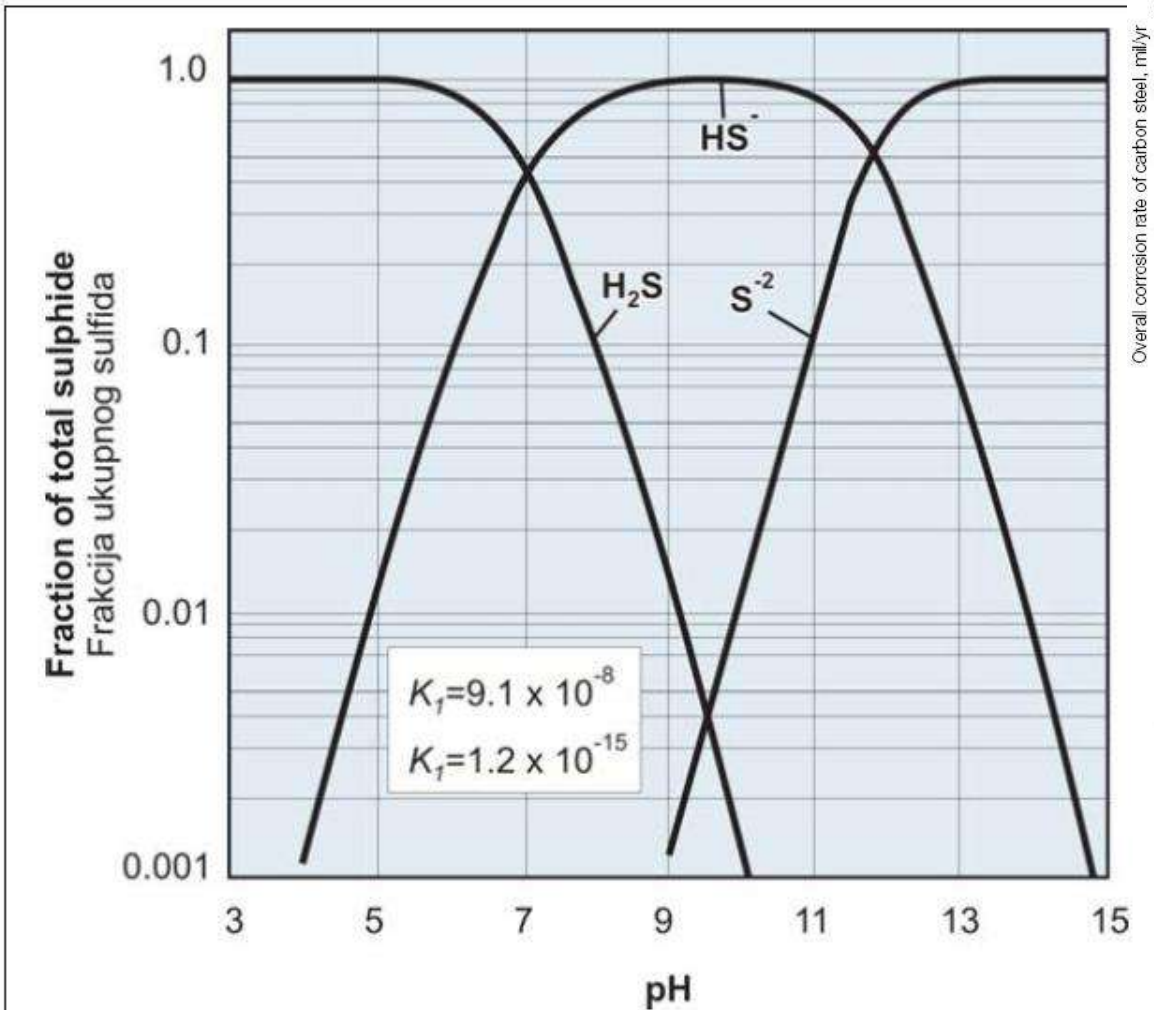


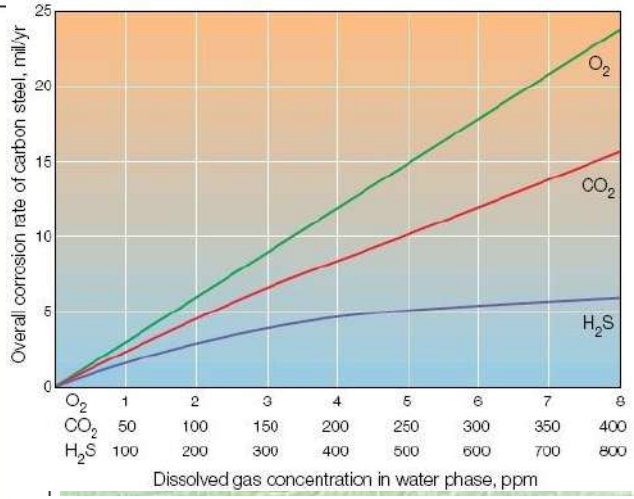
Nomograph for calculation of corrosion rates as a function of CO_2 partial pressure and temperature. (Example shown: at 1.5 psi CO_2 and 7°C, corrosion rate is 4 mpy)

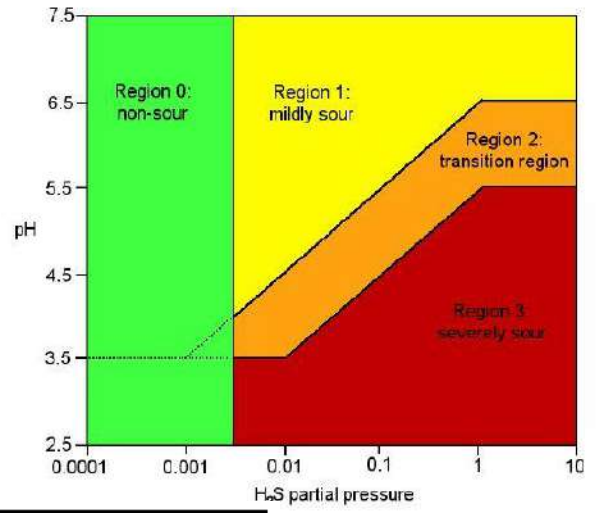
Kénhidrogén korrózió

- *Igen nagy H_2S koncentrációknál a kezdeti nagy korrózió az idő előrehaladtával lefékeződik.*
- *A szulfid okozta feszültségridegedés egy bizonyos inkubációs idő letelte után jelentkezik*
- *Katasztrofális tönkremenetel SSCC*
  - *„Szulfidok okozta feszültségi korróziós törés”*

Kénhidrogén korrózió *folyt*

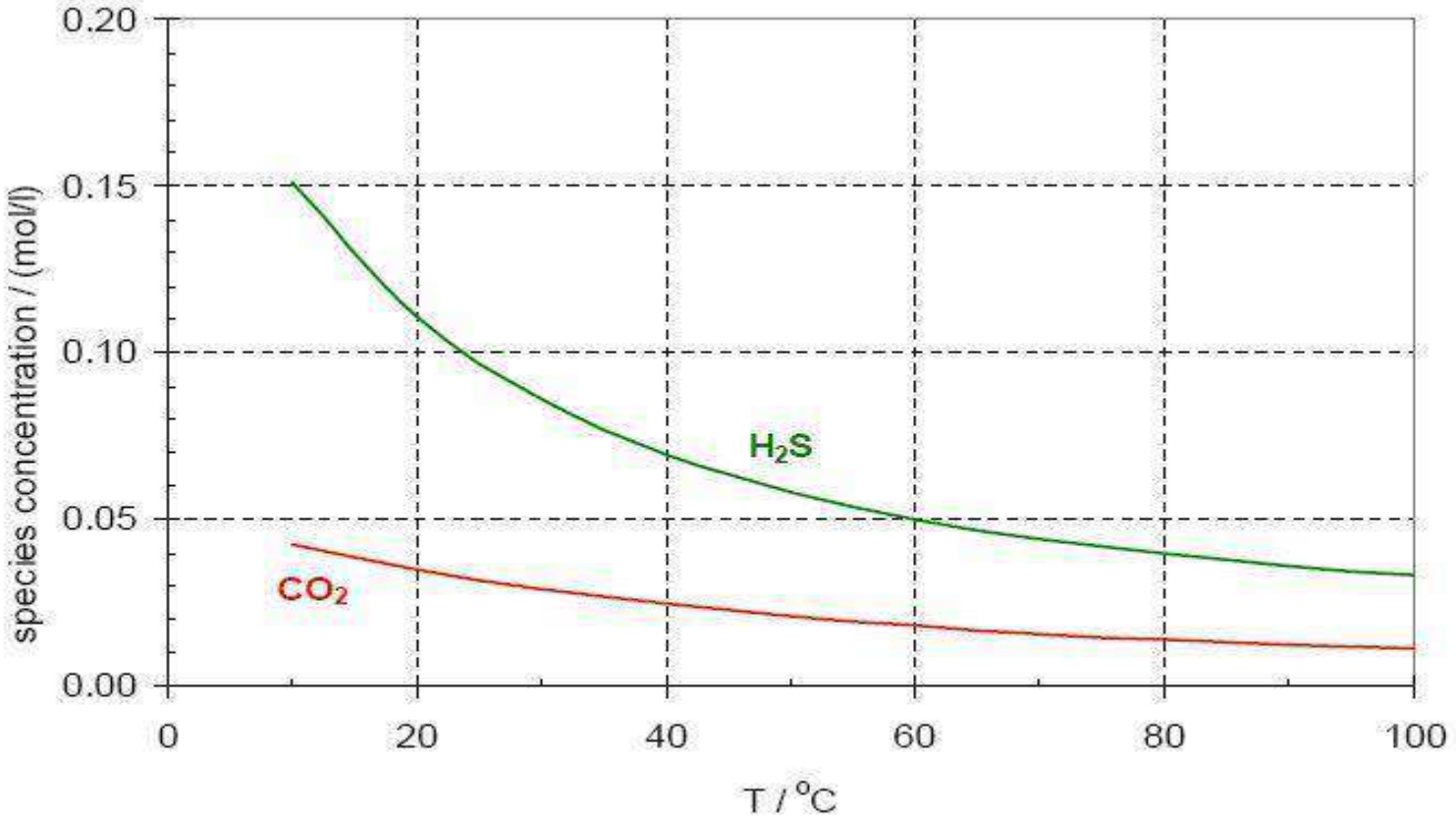






pH	4	5	6	7	8	9	10
H_2S %	99,9	98,9	91,8	52,7	10,1	1,1	0,1
HS^- %	0,1	1,1	8,2	47,1	89,9	89,89	99,8
S^{2-} %	-	-	-	-	-	0,01	0,1

Gázok oldhatóságának hőmérséklet függése



Solubility of H_2S and CO_2 as a function of temperature; 25°C, p_{H_2S}=1 bar, p_{CO_2}=1 bar.

Széndioxid és kénhidrogén okozta korrózió a gáz- és olajtermelésben-2

Növekvő veszély a H_2S korrózió:

„Elridegedés”

Hólyagosodás

Törés

Lokális korrózió

Mikrobiológia (?)

CO_2/H_2S CORROSION

CO_2/H_2S	> 500	→	CO_2 corrosion
500 < CO_2/H_2S	< 20	→	mixed corrosion
CO_2/H_2S	< 20	→	H_2S corrosion

Simple H_2S corrosion model:

$$CR_{H2S} = CR_{basic} \times F_{Cl} \times F_{temp} \times F_{flow}$$

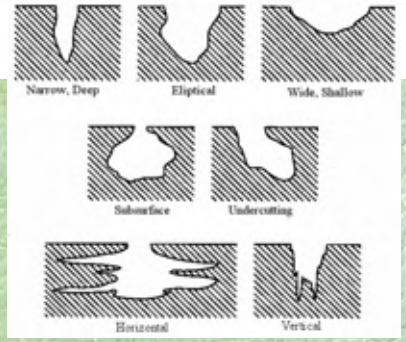
where:

CR_{basic}	=	basic corrosion rate
F_{Cl}	=	Chloride factor
F_{temp}	=	temperature factor
F_{flow}	=	flow dependant factor







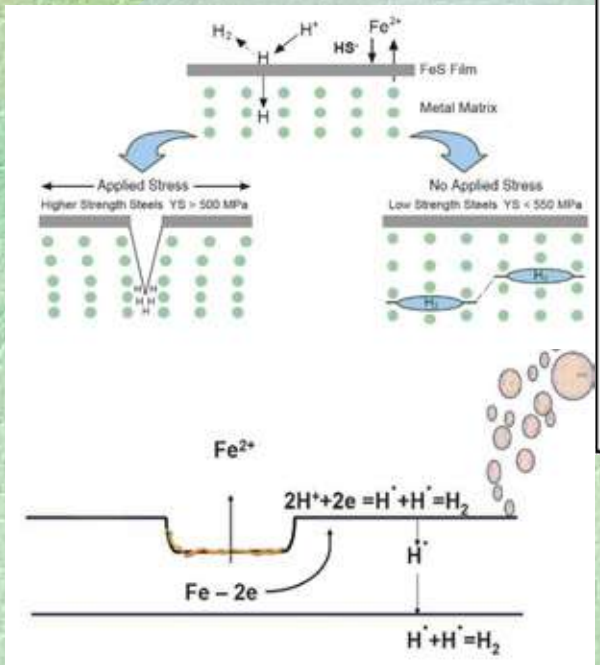


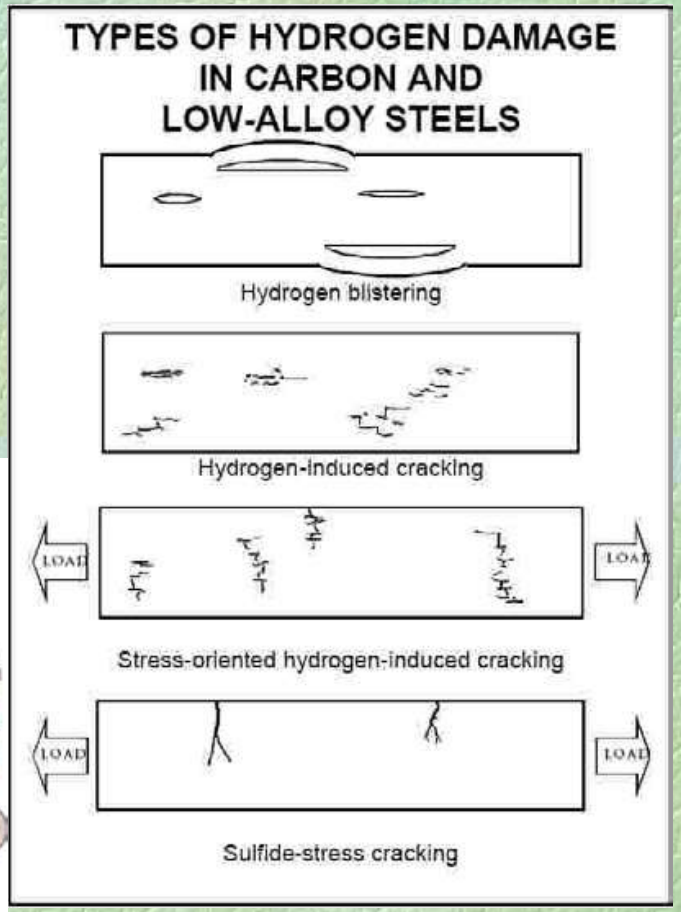


Kénhidrogén szerepe a savanyú termelvények okozta korrózióban

H_2S korrózió:

- **HB**
- **HIC**
- **SOHIC**
- **SSCC**

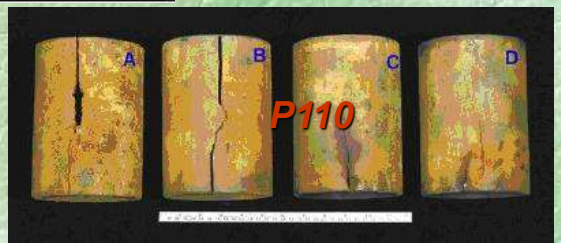




A károsodás többnyire inkubációs idő után, hirtelen következik be.

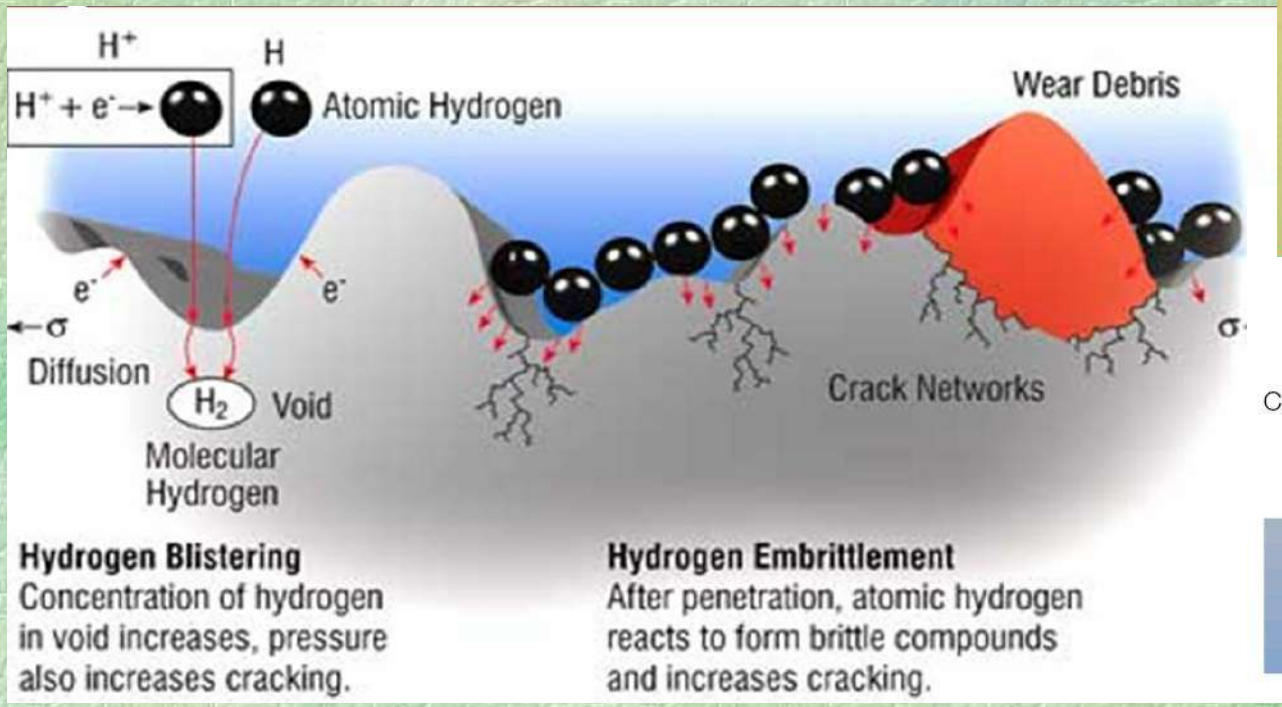
A szerkezeti anyag viszonylag alacsony átlagos anyagfogyása mellett, drasztikus változások, hirtelen tönkremenetel alakulhat ki.

Magas üzemi nyomás és hőmérséklet ***fokozott veszély****!*

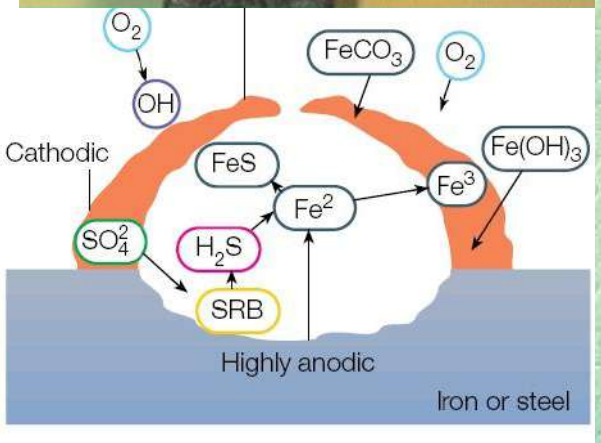


Hidrogén ridegedés

- **Kénhidrogén és MIC**





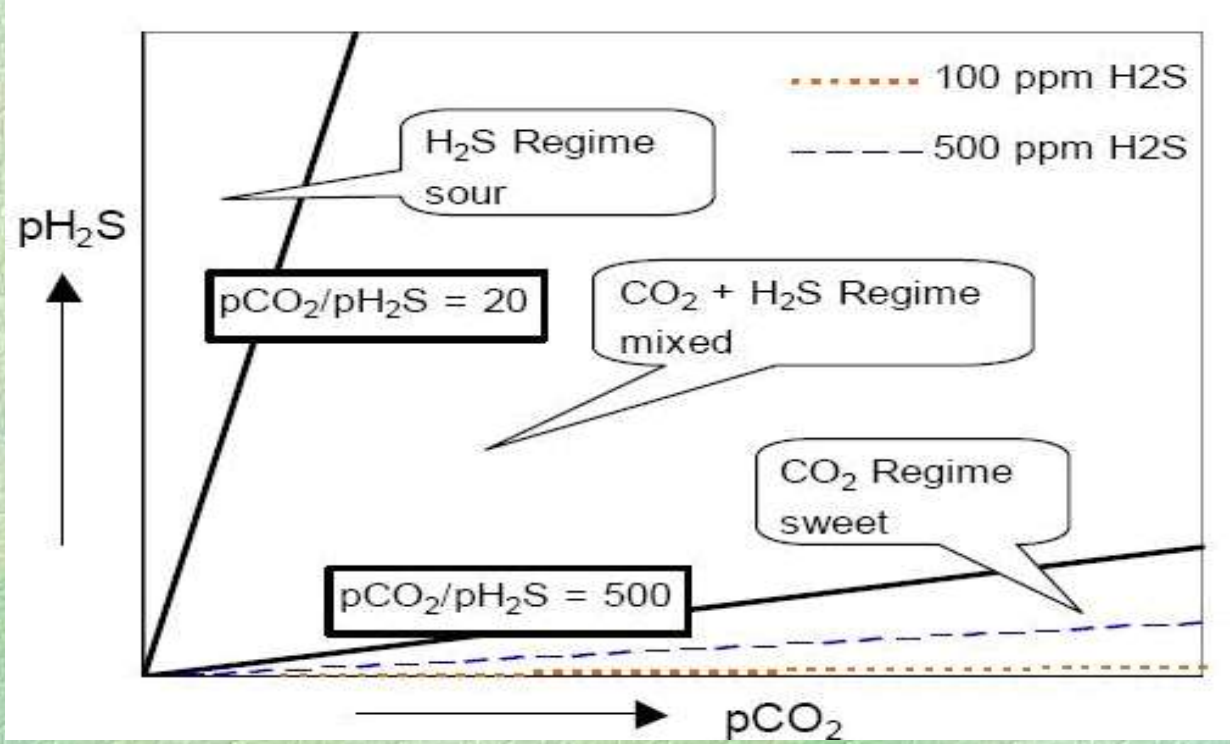


Széndioxid és kénhidrogén parciális nyomása

- ***Sweet és Sour termelvények***

A kevert régiókban nehezen becsülhető a várható korróziósebesség.

A korróziós termék FeS és $FeCO_3$, valamint Fe_2O_3 és FeOOH, $FeO*Fe_2O_3$



Olajipari technológiák védelme

- Domináns-e valamelyik típusú korrózió?
- Sour rendszerről van-e szó? (H_2S korrózió?)
- A CO_2 szerepéről szabad-e megfeledkezni?
- Klorid szerepe?
  - Csak korrózióálló acélon jelentős?
- A lerakódások szerepe?
  - A helyszínen keletkeznek, korrózió vagy kőkiválás?
- Áramlasi instabilitás, ülepedés, adszorpció?
- Hogyan tisztítsuk a technológiát? (Lehet tisztítani?)
- Hogyan védjük meg? (Vegyszer? Más?)

A korróziós problémák lehetséges csökkentése, az élettartam növelése

Vizsgálni kell az alkalmazott megfelelően tesztelt szerkezeti anyagon kívül az egyéb lehetséges védelmi módszerek használhatóságát is:

vegyszerek, bevonatok, bélelések, inhibitorok, passzívátorok,

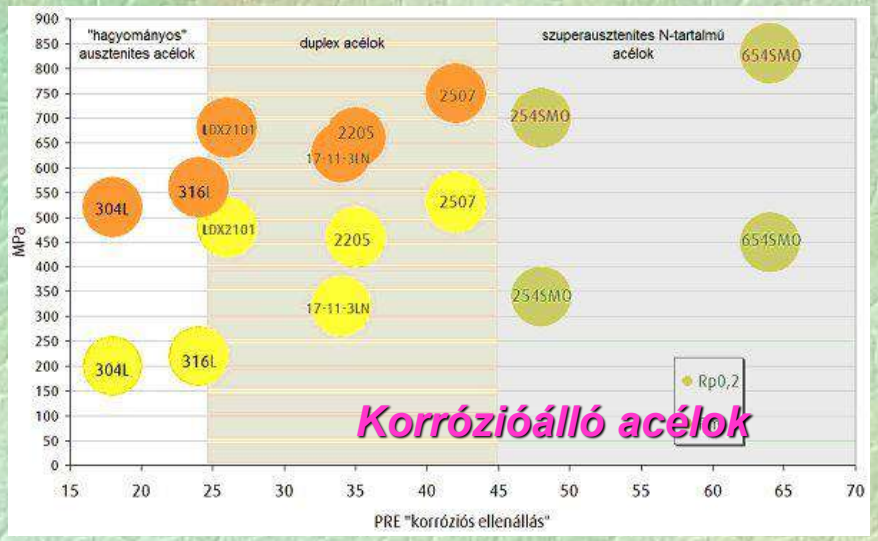
„mágneses” módszer





Folyamatos állapotellenőrzés

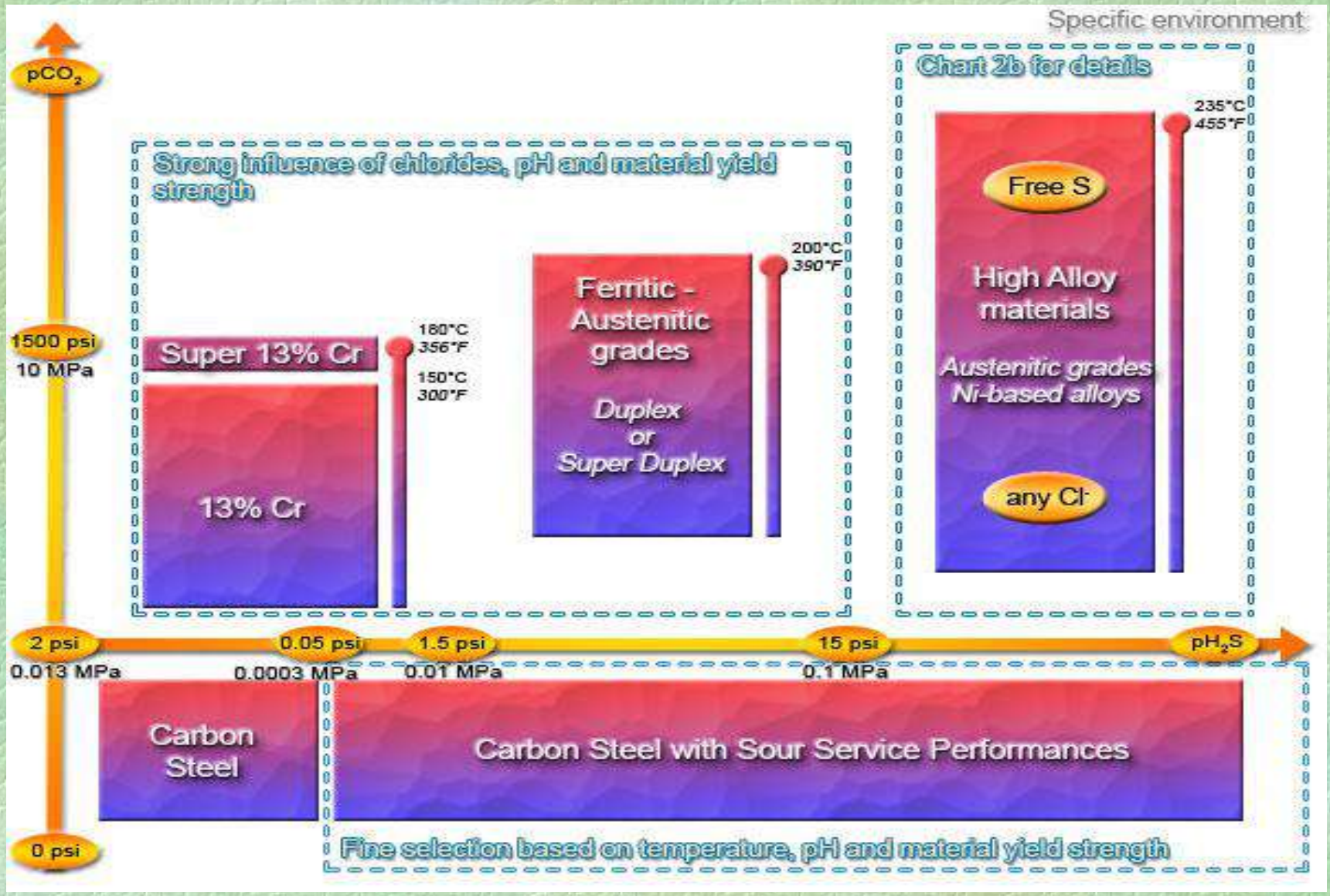
- **korróziós monitoring rendszerek**
- **on line eszközök**



Korrózióálló acélok

Szerkezeti anyag választás már a tervezéskor!

Szerkezeti anyag választás



Olajipari inhibitoros technológiák

- ***Mezőbeni inhibitorozási technológiák***
  - ***Gázkutak inhibitorozása (folyamatos kezeléssel – belső adagoló csövön keresztül)***
  - ***Gázkutak inhibitorozása kútfejen (talpi kezelés nincs)***
  - ***Gázkutak inhibitorozása kútfejen (kvázi folyamatos kezelés „batch” kezelési technika)***
  - ***Gázkutak inhibitorozása kúttalpon inhibitort rétegbe sajtolással („squeeze” technológia)***

Korróziós inhibitoros technológiák folyt.

- *Bekötővezetékek folyamatos inhibitorozása*
- *Bekötővezetékek „bach” kezelése*
- *Bekötővezetékek csőgörények közötti inhibitoros tisztítása, kezelése*
- *Bekötővezetékek időszakos „sokk” kezelése biocidokkal*

A gáz- és olajszállító, valamint termék vezetékeknél is alkalmazható módszerek!

Korróziós inhibitoros technológiák folyt.

- *Nyomástartó edények, szeparátorok inhibitorozása három fázisú inhibitorokkal*
- *Nyomástartó edények technológiai vezetékeinek inhibitorozása*
  - *CH vezeték : szénhidrogén oldható, vízben diszpergálható inhibitorok*
  - *Rétegvíz vezeték: vízben oldható, párolgó komponenst is tartalmazó inhibitor keverékek*
  - *Gáz vezeték: vízben oldható szénhidrogénben diszpergálható párolgó komponenseket tartalmazó inhibitor kompozíciók*

Néhány jellemző vegyszer összeállítás

Név	Gyártó	Főbb komponensek	Felhasználás
EC 1180A	Nalco Exxon	Etilén -glikol 5 – 10% 1-benzil-1-(2-hidroxi-etil)-2-kókuszolaj-2-imidazolium-klorid 10 – 30% Izo-butanol 1 – 5% Benzil-(C12-C16 nyíltláncú alkil)- dimetil-ammónium klorid 5 – 10%	Vízben oldódó inhibitor a vízvisszasajtolásnál, illetve magas rétegvíz tartalmú olajszállító vezetékek kezelésére (H_2S, CO_2 tartalom mellett) folyamatos adagolással javasolt (Filmképző inhibitor)
EC 1390A	Nalco Exxon	Könnyű aromás nafta 1 – 5% 2-butoxi-etanol 10 – 30% 1,2,4-trimetil-benzol 0.1 – 1% Zsírsav-amin párlat 5 – 10% Imidazolin-sók 10 – 30% Kvaterner ammónium vegyületek 1 – 5% 1,3,5-trimetil-benzol 0,1 – 1%	Vízben oldódó inhibitor amely magas rétegvíz tartalmú olaj és gázkutak kezelésére, „sour" és „sweet" rendszerekben (H_2S, CO_2 tartalom mellett) folyamatos adagolással javasolt (egyes lerakódások eltávolítást is elvégzi)
EC 1391A	Nalco Exxon	Könnyű aromás kőolaj 1 – 5% Dietilén-triamin 1- 5% Dízel üzemanyag No. 2 60 – 100% 1,2,4-trimetil-benzol 0.1 – 1% Zsírsav-amin párlat 30-60% 1,3,5-trimetil-benzol 0.1 – 1%	Szénhidrogénekben és alkoholban oldódó, vízben diszpergálódó nagy védőképességű inhibitor, mind a CO_2, H_2S és O_2 tartalmú rendszerekben alkalmazható Batch [dugós] és folyamatos kezelésre alkalmas
EC 1316A	Nalco Exxon	Nehéz aromás kőolaj 10-30% Dietil-amin 0,1-1% Naftalin 1-5% Izo-butanol 30-60% 1, 2, 4- trimetil-benzol 1-5% Dietilén-triamin és naftén sav reakció terméke 10-30%	Alkoholban oldódó és alkohol tartalmú rétegvízben diszpergálódó, emulzióképződést nem okozó háromfázisú filmképző inhibitor. Gázkutak védelmére folyamatos, vagy batch kezeléssel alkalmas

Néhány jellemző vegyszer összeállítás folyt.

Név	Gyártó	Főbb komponensek	Felhasználás
EC 1233A	Nalco Exxon	imidazolin illékony amin diamin izopropil alkohol vagy metanol	Szénhidrogénekben és alkoholban oldódó háromfázisú filmképző inhibitor gázkutak és bekötővezetékek védelmére alkalmas folyamatos, vagy batch kezeléssel. (Elsősorban H_2S tartalmú „sour" rendszerekben.)
Servo CK 982	Champion Servo	2-butoxi-etanol 1 – 10% Imidazolin- acetát 1-10% Propán-2-ol 60-90% Kvaterner ammónium vegyületek 1 – 10% Oldószer nafta (kőolaj), nehéz aromások <0.1% Xilén <0.1%	Vízben és alkoholban oldódó olaj és gázrendszerek mind „sweet" (CO_2) és „sour" (H_2S, CO_2) környezetben korrózió védelemre szolgáló hatékony inhibitor folyamatos adagolást alkalmazva
CK 377 HF	Champion Servo	2-(2-etoxi-etoxi)etanol 5-30% 2-butoxi-etanol 5-30% Imidazolin- acetát 1-5% Foszfát -észter imidazolinnal közömbösítve 5-30% Kvaterner ammónium vegyületek 5 – 30%	Vízvisszasajtoláshoz illetve nagy olajtartalmú olajszállító vezetékek védelmére alkalmas nagy hőállóságú filmképző inhibitor, elsősorban magas só és CO_2 tartalmú rendszerekhez Alkalmazható folyamatos adagolással és batch kezelésre is.

Néhány jellemző vegyszer összeállítás folyt.

Név	Gyártó	Főbb komponensek	Felhasználás
CK 987	Champion Servo	2-butoxi-etanol 30-60%	Szénhidrogénben oldódó, vízben diszpergálódó olaj és gázrendszerek mind „sweet" és „sour" környezetben korrózió védelemre szolgáló hatékony inhibitor folyamatos adagolást alkalmazva
		Foszfát -észter imidazolinnal kezelve 10-30%	
		Foszforsav- 2-etil-hexil-észter 1-10%	
		C9-11 alkoholok, etoxilát, imidazolinnal közömbösített foszforsav-észterrel 1-10%	
		1H-imidazol-1-etánamin, 4,5 dihidro-, 2-nortall-olaj származékok, acetátok 1-10%	
		Kvaterner ammónium vegyületek 1 – 10%	
		Oldószer nafta (kőolaj), nehéz aromások <0.1%	
		Naftalin <0.01%	
		Xilol < 0.1%	
		Etil-benzol <0.01%	
Progasol BW BIO	MOL NyRT.	Dietilén-triamin 20- 30%	Vízvisszasajtolás, rétegvíz szállítás korróziós hatásainak csökkentésére alkalmas biocid hatású víz-oldható inhibitor, mind batch kezelésre, mind folyamatos adagolással alkalmazható
		Aromatol 10-20%	
		Izopropil-alkohol 35-45%	
CRW 80666	Baker Petrolite	Etán-diol 10-30%	Víz és alkohol oldható filmképző korróziós inhibitor. Alkalmas gázkutak és nagy vízhányaddal termelő olajkutak védelmére. (CO_2 és szerves sav tartalmú közegekben is.) Folyamatos adagolással és batch kezeléssel alkalmazható (Nem túl magas H_2S tartalmú rendszerekben is alkalmazható.)
		Etoxilált gyanta-olaj 1-5%	
		Etoxilált sztearinsav amin 10-30%	
		Propán-2-ol < 1%	
		Kvaterner ammónium vegyületek, benzil-C10-21-alkildimetil,kloridok 1-5%	

Néhány jellemző vegyszer összeállítás folyt.

Név	Gyártó	Főbb komponensek	Felhasználás
CRW 83133	Baker Petrolite	2-(2-butoxi-etoxi) etanol 5-10% Etán-diol 5-10% Etoxilált amin-sók 10-30% Propán-2-ol < 1% Kvaterner ammónium vegyületek, benzil-C10-21-alkildimetil,kloridok 1-5%	Vízben oldódó, szénhidrogénekben diszpergálódó tartós filmet képző korróziós inhibitor. Alkalmas gázkutak olajkutak, bekötő és gyűjtővezetékek védelmére. (CO_2 és szerves sav tartalmú közegekben is.) Folyamatos adagolással alkalmazható.
CRW 85151	Baker Petrolite	Etán-diol 10-30% Kvaterner ammónium vegyületek, benzil-C10-21-alkildimetil,kloridok 1-5% Imidazolin-sók 10-30%	Vízben oldódó, tartós filmet képző korróziós inhibitor. Alkalmas vízlikvidálás, vízbesajtolásnál jelentkező korrózió ellen. Lerakódás gátló és eltávolító hatása van. Folyamatos adagolással alkalmazható
CRW 85208	Baker Petrolite	Etoxilált alkoholok,(C8-10) 1-5% Alkil-szukcinimid-anhidrid /polietilén- amin párlat 5-10% Etán-diol 10-30%	Vízben oldódó, filmképző korróziós inhibitor. Alkalmas „sweet” és „sour” rendszerek korrózióvédelmére. Folyamatos adagolással alkalmazható
CRW 85360	Baker Petrolite	Etán-diol 10-30% Etoxilált imidazolin 5-10% Tio-alkohol 1-5% Tridecil-6-foszfát 10-30%	Vízben oldódó, filmképző korróziós inhibitor. Alkalmas gázkutak olajkutak, bekötő és gyűjtővezetékek védelmére. (CO_2 és szerves sav tartalmú közegekben is.) Folyamatos adagolással alkalmazható

Néhány jellemző vegyszer összeállítás folyt.

Név	Gyártó	Főbb komponensek	Felhasználás
Dehycor C-509	Cognis/Henkel	Metanol >25% Zsírsavalkanol-amid-acetát >20% Ecetsav 1-5% Foszforsav-észter 5-10%	Vízvisszasajtolás, rétegvíz szállítás és magas víztartalmú olaj szállítóvezetékeiben a korróziós hatásoknak csökkentésére alkalmas víz-oldható inhibitor. Mind batch kezelésre, mind folyamatos adagolással alkalmazható
Dehycor C-952	Cognis/Henkel	Zsírsavamido-imidazolin >20% Szerves savak, laktonok, észterek keveréke >20% Oldószer nafta >25% 1,2,4-trimetil-benzol 3-7%	Szénhidrogénben oldódó, filmképző korróziós inhibitor. Alkalmas „sweet” és „sour” rendszerek korrózióvédelmére. Folyamatos adagolással és batch kezeléssel alkalmazható
Dehycor C-985	Cognis/Henkel		Szénhidrogénben oldódó, filmképző korróziós inhibitor. Alkalmas „sweet” és „sour” rendszerek korrózióvédelmére. Folyamatos adagolással és batch kezeléssel alkalmazható
Dehycor C-687	Cognis/Henkel	Szerves savak zsírsav-aminoamid sói Aromás oldószer	Szénhidrogénben oldódó,vízben diszpergálódó filmképző korróziós inhibitor. Alkalmas „sweet” és „sour” gáz és olajkutak, termelő-, és gyűjtőrendszerek korrózióvédelmére. Folyamatos adagolással és batch kezeléssel alkalmazható

Néhány jellemző vegyszer összeállítás folyt.

Név	Gyártó	Főbb komponensek	Felhasználás
GE Endcor 9790	GE-BETZ	Imidazolinok sói >20%	Vízben és alkoholban oldódó, filmképző korróziós inhibitor. Alkalmas „sweet" és „sour" rendszerek korrózióvédelmére. Folyamatos adagolással és batch kezeléssel alkalmazható
		Izopropil-alkohol 5-15%	
GE Endcor 9791	GE-BETZ	Nehéz aromás nafta 60-80%	Szénhidrogénben oldódó, filmképző korróziós inhibitor. Alkalmas „sweet" és „sour" rendszerek korrózióvédelmére. Folyamatos adagolással és batch kezeléssel alkalmazható
		1,2,4-trimetil-benzol 1-5%	
CGO85677	Baker Petrolite	1,2,4-trimetil-benzol <1%	Nagy koncentrációban alkalmazható vegyszer, amely 5000 ppm tartalom közelében fejti ki védőhatását. Szénhidrogénekben oldódik, alkalmas vizes közegekben is korrózióvédelemre. („Sweet" és „sour" rendszerekben.)
		2- aminoetanol <1%	
		Alkil-(C3-C5) benzolok 1-5%	
		Amid/imidazolin 1- 5%	
		Izo-butanol <1%	
		Metanol 10-30%	
		Naftalin <1%	
		Xilol 60-100%	
HSO89200	Baker Petrolite	C11-C14-tercier-alkil-metilének 30-60%	Kénhidrogén megkötésére használt szénhidrogén oldható H_2S „scavenger"
		Kerozin 10-30%	
		Xilol 10-30%	

Néhány jellemző vegyszer összeállítás folyt.

Név	Gyártó	Főbb komponensek	Felhasználás
CRO85617	Baker Petrolite	1,2,4-trimetil-benzol <1%	Szénhidrogénben oldódó, filmképző korróziós inhibitor. Alkalmas „sweet" és „sour" rendszerek korrózióvédelmére. Folyamatos adagolással és batch kezeléssel alkalmazható
		Alkil-(C3-C5) benzolok 5-10%	
		Amid/imidazolin 5-10%	
		Etoxilált gyanta-olaj 1-5%	
		Kerozin 60-100%	
		Naftalin <1%	
		Propán-2-ol 1-5%	
KIMID+	MOL NyRT.	Tetraetilén-pentamin 10-25%	Szénhidrogénben oldódó, filmképző korróziós inhibitor. Alkalmas „sweet" és „sour" rendszerek korrózióvédelmére. Folyamatos adagolással és batch illetve squeeze (réteg-besajtolás) kezeléssel alkalmazható
		Alkil-karbonsav 20-30%	
		Aromatol 40-60%	
		Komad 301 1-5%	
		Butilcelloszolv 1-5%	
		Tetraetilén-pentamin 10-25%	

- ***Az inhibitor keverékek teljes összetételét soha nem közlik a gyártók és forgalmazók, mivel az MSDS az anyagok veszélyességi besorolását tartalmazzák!***

Inhibitorozási technológiák paraméterei

A hazai és nemzetközi gyakorlatban a vegyszeres védelmi módszereken elsősorban inhibitoros védelmi technológiákat értünk.

Az üzemelő gáz- és olajkutak esetenként, - *az üzemi és technológiai paraméterektől függően* - jelentős korróziós veszélyforrást jelentenek.

A folyamatos termelés esetén – *az adott üzemeltetési paraméterek mellett* - a szénhidrogén termelő rendszereken elsősorban az un. „*édes*" technológiákon (*kénhidrogéntől mentes, és/vagy alacsony széndioxid tartalomnál*) kis sebességű, vagy közepes mértékű korróziót lehet feltételezni, amit elvégzett labormérésekkel és üzemi korrózióellenőrzéssel lehet igazolni. Ennek ellenére egyes „édes" kutak üzemen kívül helyezésekor, illetve hosszabb leállások alatt jelentős korrózió alakul ki a termelőcsőben, „*savanyú*" gázkutaknál ez a jelenség gyakoribb. (Savanyú termelvény: kénhidrogén tartalmú termelvény) Ugyancsak kedvezőtlenül hat az inhibitor adagolás nagy mértékű ingadozása, amikor védelem nélküli és védett periódusok sűrűn váltják egymást.

Inhibitorozási technológiák paraméterei folyt

Sok területen (*alacsony rétegnyomás esetén*), probléma a kutak termelőcsöveinek inhibitorozásánál a leállás utáni újraindulás és/vagy a stabil emulzió keletkezése. A jelenleg általánosan alkalmazott vegyszerekkel történő inhibitorozási műveletek után időnként jelentkeztek visszaindulási és emulziós problémák. Ezekre a rendszerekre felhasználható az un. szilárd, (különböző cseppenés-pontú parafin rúdban elkevert hatóanyag) inhibitoros védelmi technológia, amely során meghatározott időközönként (2-4 hetes ciklusokban) a termelvény agresszivitásától függően adják be a kb. 30 - 50 kg inhibitort 1 MNm^3 gázra a kb. 1 kg-os szilárd inhibitor rudakból.

A gáz- és olajgyűjtőkön (*általában a „savanyú" technológiáknál*) jelentkezhet a kis mennyiségű H_2S, és a magasabb CO_2-tartalmú termelvények korróziót fokozó hatása, ezért ezeknek a termelő kutaknak a korrózióellenőrzése megoldandó, valamint javasolni szoktuk a termelvényt szállító gerincvezetékek korróziós monitoringjának megoldását. Rendszerint ezeket a kutakat tervszerűen időnként, vagy folyamatosan, illetve kvázi folyamatosan kezelik szénhidrogén oldható inhibitorral. Az adagolási dózis 25-50 kg/MNm^3 gáz. Ha a széndioxid tartalom 2-5 % alatti az adagolási dózis csökkenthető 10-20 kg/MNm^3 gáz értékre. *(Javasolt labormérésekkel ellenőrizni a csökkentett dózis hatását is*!)

Inhibitorozási technológiák paraméterei ***folyt***

Célszerűnek látszik a CO_2-s kutak (*ha a széndioxid tartalom 2-5 % feletti*) 25-30 kg/MNm^3-es dózisú kezelése, ha a víztartalom 4-8 m^3/nap, 20-30000 m^3 gázhozam mellett. Ennél alacsonyabb vízforgalom mellett az inhibitor koncentrációt le lehet csökkenteni 5-20 kg/MNm^3-re. A magasabb gázforgalom esetén 5000 m^3/nap-onként célszerű az alkalmazott dózist emelni 0,5-2 kg/MNm^3-rel. (*A termelvény agresszivitástól függően, ellenőrzött módon*.)

A 4-8 % CO_2 tartalom alacsony vagy közepes kondenzvíz termelése mellett időnként meglepő magas lokális korrózióval tarkított anyagfogyásos meghibásodásokat tud okozni. Ezért ezekben a gáztermelő kutakban célszerű magasabb minőségű szerkezeti anyagokat alkalmazni, és/vagy optimalizált inhibitoros védelmet biztosítani. Ezen esetekben is elmondható, hogy kb. 30-35 kg/MNm^3 dózisú kezeléssel indítva a folyamatos védelem 10-20 kg/MNm^3 adagolással biztosítható.

A kis CO_2-s és a CO_2 mentes kutak inhibitorozására, ha a vízforgalom nagyobb, mint 8-10 m^3/nap 20-30000 m^3 gázhozam mellett szintén 10-20 kg/MNm^3 inhibitort szoktunk javasolni lehetőleg folyamatosan a kútfejre kijuttatva.

Inhibitorozási technológiák paraméterei folyt

Batch kezelés: az olajkísérő gázt, illetve szabadgázt termelő termelőcsöveken a védő-film felépítését általában 10%-os inhibitor oldattal végezzük, az elhelyezett oldattal azonos mennyiségű további oldószert igényel a művelet végrehajtása. A kutat néhány órára, (egy napra) zárva kell tartani, hogy a besajtolt inhibitor biztosan lejusson a kúttalpra.

Kvázi batch kezelés: a termelőcső védelmére napi 1 x 300-800 dm^3 5%-os inhibitor oldatot célszerű lejuttatni. (*Megfelelő mennyiségű utánnyomó folyadékról gondoskodni kell!*) A pihentetési időt minimum 2-4 órában célszerű meghatározni.

A több éves kezelési tapasztalatok alapján, (*mivel metanolt egyes területeken csak a hideg téli időszakban adagolnak*) célszerű metanolban és gazolinban jól oldódó inhibitorokat alkalmazni a kutak- és kútvezetékek védelmére. Az általunk vizsgált inhibitorok közül több ezeknek az oldhatósági követelményeknek megfelel, azonban időnként a leszállított inhibitorok közül némely „sarzs" (*az alapanyagok, vagy oldószer esetleges megváltoztatása miatt*) gyengébben oldódik, vagy az elkészült oldat stabilitása nem megfelelő. Ez a megállapításunk vonatkozik a nagy inhibitor gyártó cégek termékeire is, hisz nem egy termelési üzemünkből kaptunk olyan visszajelzést, hogy a használt, jól bevált inhibitor nem úgy viselkedik, mint a korábbi szállítmányok. Ezt a jelenséget sajnos nehéz kezelni, mivel a cégösszevonások, (*pl.: Nalco-Exxon, Baker-Petrolite*) hatására előfordulnak oldószer és/vagy hatóanyagváltások is.

Inhibitorozási technológiák paraméterei folyt

Az általunk már bevizsgált termékek közül számos jó védőhatású inhibitorral lehet az üzemi korrózióvédelmet megvalósítani. (*A teljesség igénye nélkül néhány évek óta beváltan alkalmazott termék: a Kontol 143, Kontol 152W, az EC 1233A, az EC 1316A, a CK 346, a CK 347 CK 982 OCC 9791, Dehycor C-641, Dodigen 481, Progasol 3F, Progasol GS, stb.*)

Megjegyezzük azonban, hogy a laborvizsgálatok ***nem helyettesíthetik*** egy üzemi próba eredményeit, mivel a gyorsított igénybevételű laboratóriumi körülmények csak megközelítik az üzemi alkalmazás paramétereit.

A kútkezelések pontos időbeni és módbeli meghatározásához minden esetben javasoljuk a termelvény víz-taralmának figyelembevételével a vízelemzések, és az elengedhetetlen korróziós próbatest adatok alapján a kutankénti inhibitorozási program elkészítését. (*A kutankénti mintavételeknél javasoljuk a befutósoron az u.n. ciklonos mintavételi technikát alkalmazni.*)

A védelmi technológia optimalizálásához javasolni szoktuk az inhibitoros kútkezelések megkezdésekor inhibitor kihordási vizsgálatok elvégzését, vagy elvégeztetését, hogy a védelmi technológia érzékenyen tudja követni a termelési paraméterek változását.

Inhibitorozási technológiák paraméterei folyt

Rétegbesajtolás

Sgueeze kezelés: a kútkezelések másik elterjedt módszere a **squeeze** technológia. Ennél az eljárásnál kb. 800-1200 dm^3 tömény inhibitorból készített 10%-os gazolinos oldatot helyeznek el a termelőcső méreteitől függően 10-30 m^3 elhelyező folyadékkal. Itt elsődleges szempont, hogy az inhibitor rétegbe sajtolása megtörténjen, tehát az utánnyomó folyadék mennyisége meghatározó. Fontos, hogy a besajtolt vegyszer a réteg tulajdonságait ne rontsa le, és a termelés volumene fenntartható legyen. A módszernél aggregátor, vagy nagy teljesítményű szivattyú használata elengedhetetlen. A kezelés hatékonyságának fokozása érdekében a kutat zárt állapotban 1-2 napig pihentetni kell. A squeeze technológia 3-6 hónapos időintervallumban hatékony, kedvező esetben akár 12 hónap is lehet a ciklusideje.

Inhibitorozási technológiák paraméterei folyt

Gerincvezetékek védelme

A gerincvezetékek korróziós terhelését több féle monitoring eszközzel célszerű ellenőrizni. Az oldott és összes vastartalom, az oldott mangán tartalom, a pH a vezetőképesség, az összes sótartalom, a szerves sav, és savmaradék meghatározása, a klorid tartalom az oldott oxigén tartalom mind a korrózió lehetséges lefolyására adnak hasznos információkat. A korróziós kuponok, elektromos szondák (LPR és ER) a kezelések hatékonyságára is felvilágosítást adnak. A termelvény szállító gerincvezetékek védelménél meg kell határozni a közös szeparátorokban leválasztott víz maradó inhibitor tartalmát, illetve ha lehetőség van a csővezetékből folyadék mintát venni, akkor a leválasztott víz és CH fázis inhibitor tartalmát célszerű meghatározni. Ha az inhibitor tartalom folyamatosan 5-10 mg/dm^3 alatt van, célszerű a vezetékekbe ismételt inhibitor adagolást végezni, vagy emelt koncentrációjú adagolást megvalósítani.

Kezelési módszerek

A védelem megoldható kétféle úton: folyamatos inhibitor adagolással 5 - 8 kg/MNm^3-es dózisban a szállított gázra vonatkoztatva, illetve szakaszosan a vezetékek tisztító görényezésével összekapcsolva. A megfelelő inhibitorral tisztító és korrózióvédő un. sokk-kezelést kell elvégezni.

Inhibitorozási technológiák paraméterei folyt

Folyamatos adagolás (bekötővezeték és gerincvezeték védelmére)

Többfázisú inhibitoros vezetékkezelések az alacsony víztartalmú bekötő és gerincvezetékek védelmére alkalmazható, amikor nincs folyamatos vízfázis a vezeték belső felületén. A folyadékdugók helyenként összegyűlnek, és a gázárammal elhordódnak, emelkedő szakaszokon nem ritka a folyadék visszacsurgás és betöményedés. A háromfázisú inhibitorok az un. TLC top of line corrosion ellen hatékony védelmet biztosítanak. A védelem egyik legfontosabb alapja a vegyszer illékony amin típusú inhibitor komponense.

Lezárt, használaton kívüli vezetékeket konzerválni VCI inhibitorokkal azaz párolgó inhibitorok alkalmazásával lehet. A védendő csővezetékbe juttatott VCI hatékony védelmet biztosít akár 1-2 év időtartamra is.

Inhibitorozási technológiák paraméterei folyt

Batch kezelés (bekötővezeték és gerincvezeték védelmére)

Az olajat szállító vezetékeknél alkalmazott inhibitoros védelmi technológiánál a vezetéken tisztító görény végig küldésével és a görény mögé 25 - 150 dm^3 tömény inhibitor betöltésével alakítjuk ki az inhibitor filmet, itt a görény végigküldhető a termelvénnyel. (Esetenként a tisztító hatás fokozására és felületre egyenletesebb adszorpció kialakításának érdekében gazolinnal indítjuk a csőmalacot, vagy csőgörényt, az alkalmazott gazolin mennyisége 300-500 dm^3.)

A cél ennél a sokk-kezelésnél az, hogy 10 - 50 μm-es inhibitor filmet képezzünk a védendő vezeték belső falán. Batch kezelés alkalmas mikrobák elszaporodása ellen is. Ezek a vegyszerek ismételt alkalmazások esetén amennyiben baktericid hatóanyagot is tartalmaznak nem csak a korróziós folyamatokat gátolják, hanem védenek a mikrobiológiai korrózió ellen is.. (Ez a kezelés gátolja a mikroorganizmusok élettevékenységét és egyben a fémfelületet inhibitálja is.)

A kezelés a legeredményesebben úgy valósítható meg, ha az inhibitort két dugó között nyomják el. Azonban erre a megoldásra a nem mindegyik vezeték alkalmas, így a vegyszert kvázi dugószerűen kell, illetve lehet a csővezetékben végig nyomni. (változó keresztmetszetű vezetéken gél dugók közötti inhibitor elhelyezést szoktunk javasolni.

Inhibitorozási technológiák paraméterei folyt

Az alábbiakban röviden közöljük a dugós kezelés anyagszükségletének elvi számítását, amely számítást:

egy pl.: NA 100-as vezeték méreteivel számolva az alábbi eredményt kapjuk:

A vezeték mérete: 114,3 ∗14

A belső átmérő: 114,3 - (2∗14) = 86,3

$T = d^2 * \pi / 4 = 0{,}585\ dm^2$

Az 1 méteres cső belső térfogata: 5,85 dm^3.

$K = d * \pi = 2{,}7\ dm.$

Az 1 méter hosszú és 50 μm vastag film 13,5 cm^3.

A vezeték hossza legyen: 5000 m.

Inhibitorozási technológiák paraméterei folyt

A szükséges hatóanyag mennyisége: 67,5 dm^3. Erre a vezeték minőségétől függően rá kell számolni 20- 40% anyagveszteséget, így 81-95 dm^3 hatóanyagra van szükség a tervezett 50 μm vastag film kialakításához.

A olajkísérő gázt, illetve termelt szabadgázt szállító gerincvezetékeknél film felépítését általában 10%-os inhibitor oldattal végezzük, és az elhelyezett oldattal azonos mennyiségű további oldószert igényel a művelet végrehajtása.

- ***Az olajtermelésben alkalmazott inhibitorozási technológiák alkalmazhatóak a földalatti gáztárolás és a termékszállítás csővezetékeire is.***

Inhibitorozási technológiák paraméterei folyt

Az olajat szállító vezetékeknél alkalmazott inhibitoros védelmi technológiánál a vezetéken tisztító görény végig küldésével és a görény mögé 25 - 150 dm^3 tömény inhibitor betöltésével alakítjuk ki az inhibitor filmet, itt a görény végigküldhető a termelvénnyel. (Esetenként a tisztító hatás fokozására és felületre egyenletesebb adszorpció kialakításának érdekében gazolinnal indítjuk a csőmalacot, vagy csőgörényt, az alkalmazott gazolin mennyisége 300-500 dm^3.)

Amennyiben a kiválasztott vezeték több felfűzést (beágazást) tartalmaz, minden görényindításnál fel kell tölteni a megfelelő inhibitor mennyiséget a görény után, hogy az inhibitor a tisztított felülettel a leghatékonyabban érintkezhessen.

- ***Elágazó vezetékeknél figyelni kell a keresztmetszet változásokra, mélypontokra és pangó szakaszokra***

Korróziósebesség kategóriák

METAL	MILS PER YEAR MPY	RATING
Carbon steel	0-2.0	Excellent inhibition
	2.0 to 3.0	Generally acceptable for all systems.
	>3 to 5	Fair
	>5 to 10	Unacceptable, migrating corrosion products may cause fouling.
Copper	<0.2	Excellent inhibition
	0.2 to 0.5	Generally Acceptable
	0.6 to 1.0	Fair
	>1.0	Unacceptable
Admiralty	<0.2	Generally safe for HX tubing
	0.2-0.5	High rate and may enhance corrosion of mild-steel.
	>0.5	Unacceptably high, significantly effects mild steel corrosion.
Galvanized Steel	<2	Excellent
	>2 to 4	Good
	>4 to 8	Fair
	>8 to 10	Poor
	>10	Unacceptable

1 mpy = 0,0254 mm / y = 25,4 mikrom / y

BARON Chemicals

Geotermia, finomítás, szállítás

- ***Geotermia:*** *Vízkő problémák, CO_2 korrózió* ***(foszfonátok, polimerek, kombinált hatású vegyszerek)***
- ***Finomítás:*** *Nafténsavas korrózió, klorid korrózió, kén korrózió, szerves karbonsav korrózió* ***(aminok, imidazolinok, speciális scavengerek)***
- ***Szállítás:*** *Lokális korrózió, párakorrózió, metanol hatására oxigén korrózió* ***(VCI, VpCI, szénhidrogén oldható illékony komponenseket tartalmazó folyékony inhibitorok)***

Korrózióvédelem Inhibitorokkal-IV

Az oktatási anyag Csabai Tibor

Korróziós szakértő

Korrózióvédelmi mesteriskola tananyagának felhasználásával készült

Tartalomjegyzék IV. rész

- *Inhibitorok minősítése*
  - *Laboratóriumi vizsgálatok*
  - *Félüzemi kísérletek*
  - *Üzemi alkalmazások*
  - *Korróziós monitoring*
  - *Esettanulmányok*



Inhibitorok minősítése

- *Gyártói minősítés (összetétel)*
  - *MSD Biztonságtechnikai adatlap*
  - *TDS Technikai alkalmazási adatlap*
- *Esettanulmányok*
- *Javaslatok*
- *Referenciák*

Biztonsági adatlapok

- ***A biztonsági adatlapok (Safety Data Sheets, SDS, MSDS) az információk anyagok és keverékek átvevői számára történő biztosításának széles körben elfogadott és hatékony eszközei az Európai Unióban.***
- ***Az 1907/2006/EK rendelet (REACH) rendszerének szerves részét képezik.***

Mit tartalmaz az MSDS?

- *Néhány környezetkárosítás szempontból veszélyes komponenst ökológiai kockázatok*
- *R és S mondatokat,*
- *Veszélyességi osztályba sorolást*
- *Kezelés, tárolás feltételeit*
- *Expozíciós adatokat*
- *Személyi védelem*

Mit tartalmaz a technikai adatlap?

- *TDS vagy „Product Bulletin”(PB)*
- *A termék előnyeit*
- *Használati útmutatást*
- *Adagolási módot koncentráció tartományt*
- *Összeférhetőségi adatokat*
- *Tárolási, kezelési adatokat*
- *Szállítással kapcsolatos információkat*

Mire kell figyelni?

- *A TDS és MSDS adatok nem teljes körűek*
- *Néhány hatóanyag nem szerepel az adatlapokon*
- *Pontos összetétel titkos! (-tól -ig határok)*
- *Gyártási sarzsonként, tételenként változhat az összetétel*
- *Hatóanyag módosítást időnként nem követi le a dokumentáció*

Miért van szükség vizsgálatra?

- *Nincs univerzális vegyszer*
  - *„Ami mindenre jó az általában nem igazán jó semmire”*
- *Ne a forgalmazó mondja meg, mi jó nekem*
  - *Ellenőrizni kell a kereskedők állításait, a „csodaszerek használata” hosszú távú befektetés*
- *A korróziós közeg soha nem állandó*
  - *Le kell tudni modellezni a változásokat*

Mit vizsgáljunk?

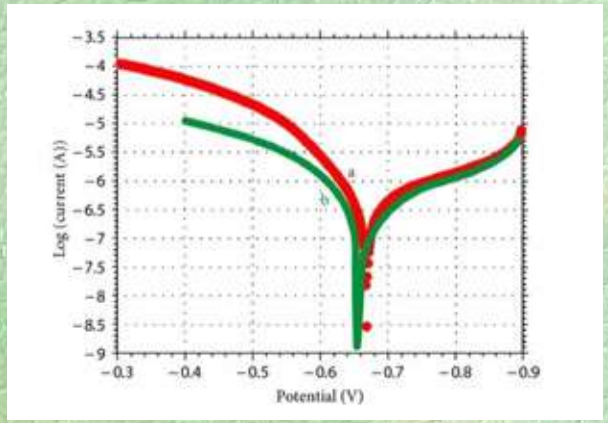
- *Fizikai paraméterek*
- *Kémiai jellemzők*
  - *Hatóanyag tartalom vizsgálatok*
- *Korrózióvédő hatást*
  - *Az általunk üzemeltetett rendszerre specifikusan*
  - *Az egyéb alkalmazási területekre modellezve*
  - *Összehasonlítva már ismert védőhatású vegyszerekkel*
  - *Inhibitor kiválasztás, több vizsgálati módszerrel*

Vizsgáljunk, vagy vizsgáltassunk?

- ***Ha van saját laborunk, kapacitásunk, vizsgáljuk be az alkalmazandó vegyszereket***
- ***Ha nincs saját laborunk, referenciákkal rendelkező vizsgáló kapacitást vegyünk igénybe***
- ***Ne csak a kereskedő, forgalmazó laboradatait fogadjuk el a védelmi technológia kialakításakor***
  - ***Kérjünk garanciákat!***
  - ***Kérjünk szervizt!***
  - ***Legyen folyamatos visszajelzés, visszacsatolás!***

Laborvizsgálatok

- Általános kémiai labor
  - Fizikai kémiai paraméterek
- Korróziós vizsgáló labor
  - Korrózió sebesség mérés
  - Inhibitor hatékonyság mérés
  - Védőfilm stabilitásának vizsgálata
  - Szinergetikus hatások vizsgálata
  - Kompatibilitási vizsgálatok



Korróziósebesség mérés

- *Tömegveszteséges korróziósebesség meghatározása korróziós kuponokkal*



- *Megfelelő acélminőség*
- *Megfelelő felület*
- *Felület – tömegarány*
- *Korróziós termék eltávolítás*

Tömegveszteséges korróziósebesség mérés

- Elterjedt mértékegységei:
  - mm/év
  - mpy (milli-inch/év)
  - mg/cm^2h
  - g/m^2d (gramm/m^2 nap)
  - mg/dm^2d
  - mA/cm^2
- Ipari gyakorlatban: mm/év

Átváltandó		Átváltott	
	Írd be!		Olvasd le!
mpy	30	mm/év	0,762
	Írd be!		Olvasd le!
mm/év	0,762	mpy	30,00
	Írd be!		Olvasd le!
mg/cm^2h	0,75	mm/év	8,33
	Írd be!		Olvasd le!
mm/év	8,33	mg/cm^2h	0,75
	Írd be!		Olvasd le!
g/m^2d	0,75	mm/év	16,20
	Írd be!		Olvasd le!
mm/év	16,2	g/m^2d	0,75
	Írd be!		Olvasd le!
mg/dm^2d	150	mm/év	0,69
	Írd be!		Olvasd le!
mm/év	0,7	mg/dm^2d	151

Az átlagos korrózió kiszámítása

- **Korróziósebesség konvertáló tábla:**
  - **A mérés alapja a tömegkülönbség, illetve elektromos mérésnél az áram mennyiség**

		g/m^2d	g/m^2h	mg/dm^2d	mg/cm^2h	mpy	mm/év	mA/cm^2	lb/ft^2d
1	g/m^2d	1	0,0417	10	0,00417	1,823	0,0464	0,004	0,000205
1	g/m^2h	24	1	240	0,1	43,9	1,114	0,096	0,00493
1	mg/dm^2d	0,1	0,0042	1	0,00042	0,182	0,0046	0,0004	0,0000205
1	mg/cm^2h	240	10	2400	1	438	11,1	0,96	0,0493
1	mpy	0,549	0,0229	5,49	0,0023	1	0,0254	0,0022	0,000112
1	mm/év	21,6	0,9	216	0,09	39,37	1	0,086	0,00441
1	mA/cm^2	250	10,42	2500	1,04	457	11,6	1	0,0513
1	lb/ft^2d	4882	203	48820	20,3	8890	226	19,5	1

A korrózió sebessége

Becsült korróziósebesség számítása

Faraday törvény alapján $m = k * I * t$

ahol:
- m : az oldódó fém tömege [g]
- k : a fém minőségétől függő konstans [g/Amperóra]
- I : korróziós áram [Amper]
- z : az oldatba ment fémion töltésszáma
- F: Faraday konstans [26,8 Amperóra]
- t : a korróziós folyamat időtartama [óra]

$$k = \frac{\text{oldódó fém atomtömege}}{z * F}$$

$$\text{Korrózió sebesség} \left[\frac{g}{m^2\ év}\right] = v_{korr} = \frac{m}{A * t}$$

ahol:
- m: az egy év alatt oldódó fém mennyisége [g]
- A: az oldódó fém felülete [m^2]
- t: a korróziós folyamat ideje [év]

$$\text{Lineáris korrózió sebesség} \left[\frac{mm}{év}\right] = v_{lineáris} = v_{korr}\left[\frac{g}{m^2\ év}\right] * \frac{1}{\rho}\left[\frac{m^3}{g}\right] * 1000\left[\frac{mm}{m}\right]$$

ahol: ρ : az oldódó fém sűrűsége [g / m^3]

v [mm/év] (cr) számítása tömegméréssel

m_1 [g]

m_2 [g]

$v = ((m_2-m_1) * 10 * 365)/ (F*n*d)$

m_1	tömeg igénybevétel előtt
m_2	tömeg igénybevétel után
10	mm/cm
365	nap/év
F	felület cm^2
n	kitéti napok száma
d	sűrűség g/cm^3

Laboratóriumi kísérleti módszerek

- *Bemerítéses vizsgálatok (1, 2 illetve 3 fázis)*
  - *Kis- és nagynyomású kísérletek*
- *Bemerítéses forgócellás vizsgálatok (2 illetve 3 fázis) „Wheel test”*
- *Dinamikus gáz-telítétes vizsgálatok („Bubble test”)*
- *Áramló közegben végzett vizsgálatok („Loop test”)*

Bemerítéses vizsgálatok

- *Autoklávos „statikus” vizsgálat*
  - *Folyadék : modellvíz, Cl^-, (CH fázissal)*
  - *Gáz: CH-k, CO_2, H_2S, N_2*
  - *Egyéb ágensek: ecetsav, stb*
  - *Nyomás: 1-250 bar*
  - *Hőmérséklet: 20-240°C*
  - *Idő: 3-7 nap (4 nap)*





Bemerítéses vizsgálatok folyt

- Nagynyomású forgócellás vizsgálat („Wheel”)
  - Folyadék és gáz fázis (fordulat: 16/perc)
  - Nyomás: 1-250 bar
  - Hőfok: 20-120°C (80°C)
  - Idő: 1-3 nap (1 nap)
  - Gáz: mező gáz (CO_2, H_2S) modellgáz

Folyadék: rétegvíz
gazolin/olaj
modellvíz





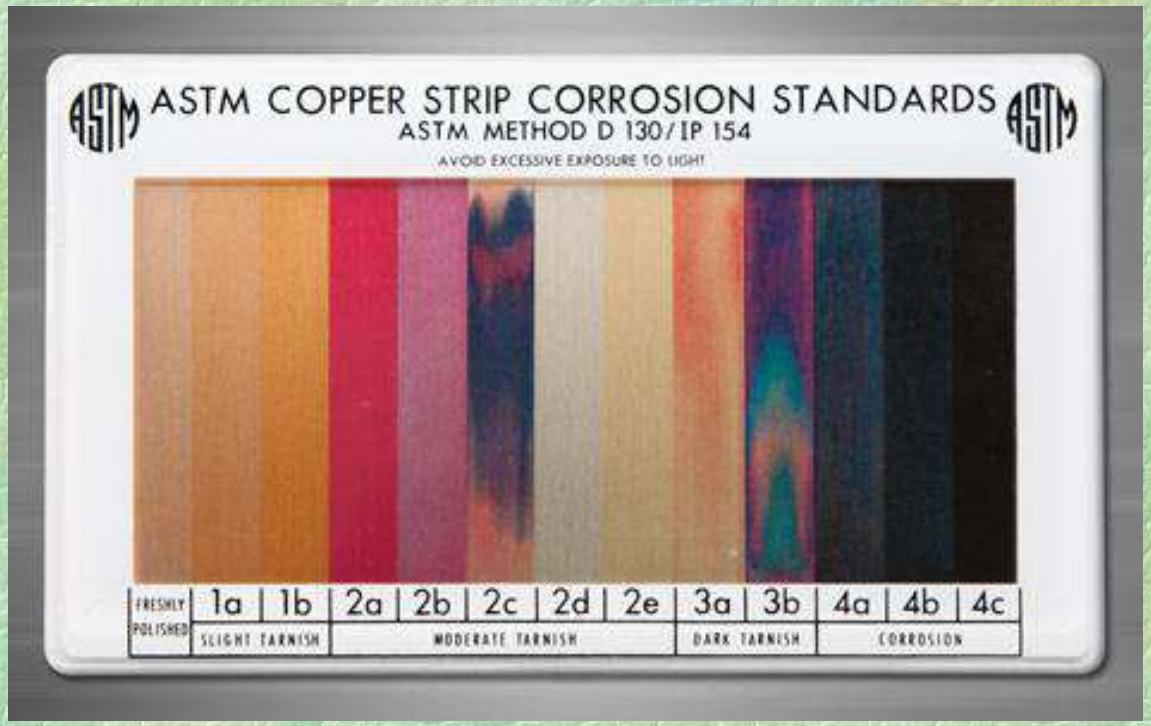
Bemerítéses vizsgálatok folyt

- Alacsony nyomású forgócellás vizsgálat („Wheel”)
  - CO_2/modellgáz telítés, modellvíz / gazolin / olaj
  - P: 1-2 bar
  - T: 20-120°C
  - t: 1-3 nap
    (1 nap)
  - r: 16/perc



Bemerítéses vizsgálatok folyt

- *Rézkorróziós vizsgálatok*





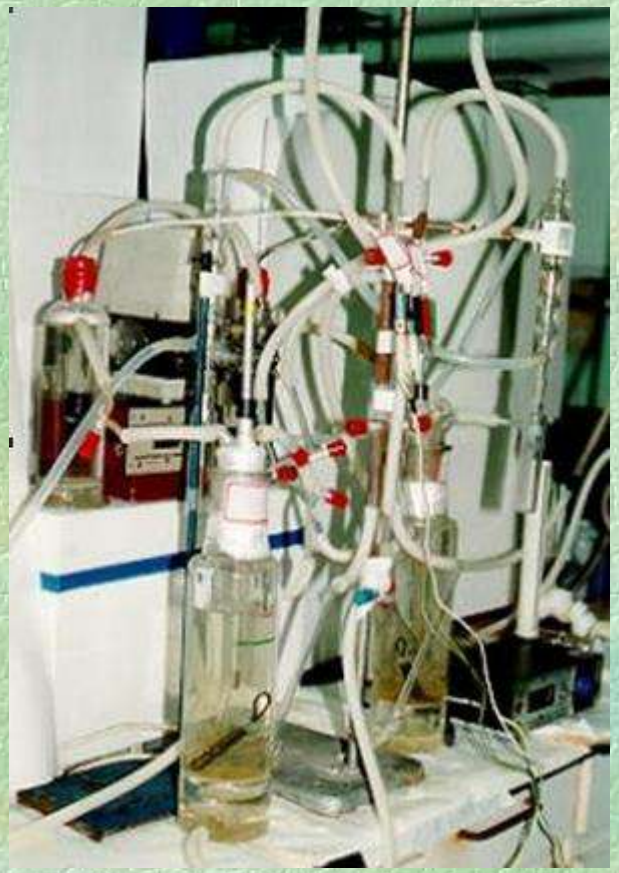


- *Benzinek, dízelolajok korróziós tulajdonságainak mérése*

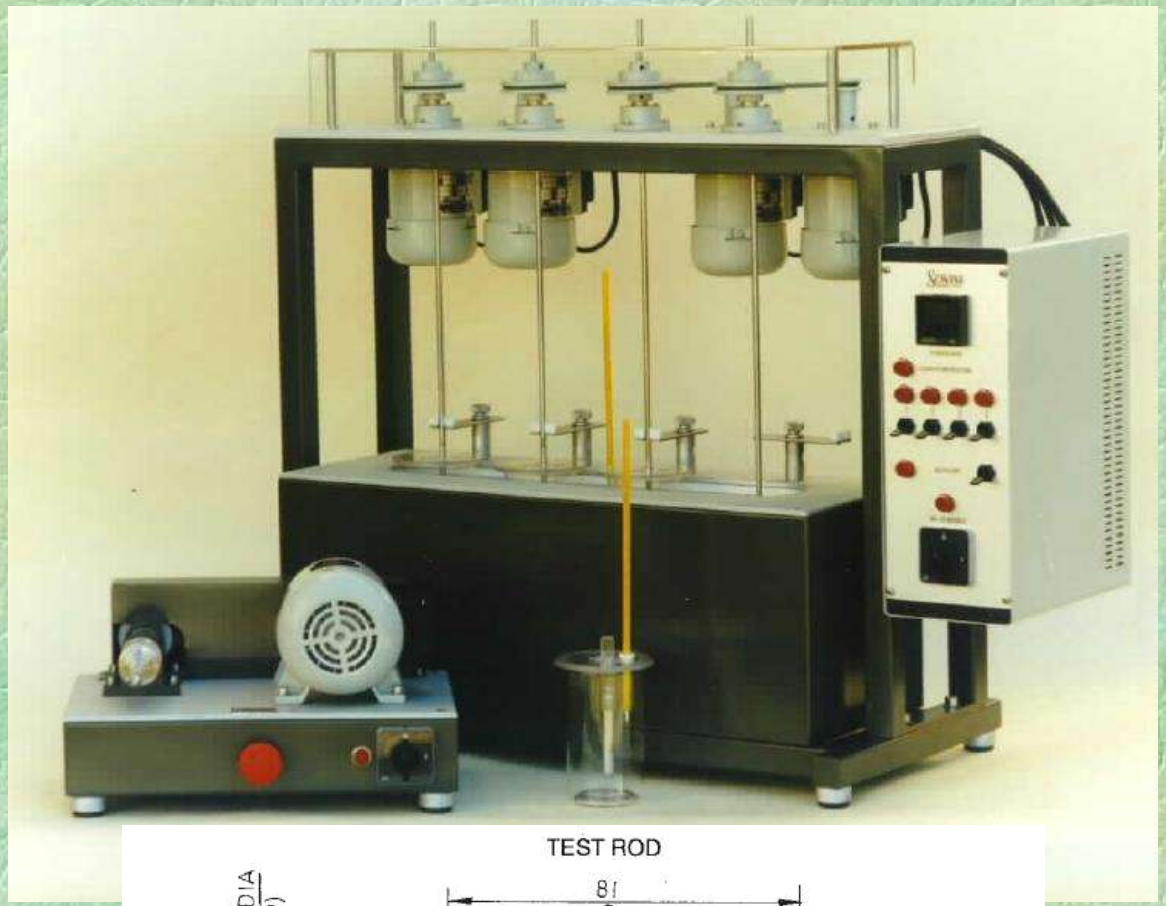
Bemerítéses vizsgálatok folyt

- Folyamatos gáz buborékoltatásos vizsgálat
  - P: 1-1,2 bar
  - T:30-90°C (50°C)
  - t: 8 óra

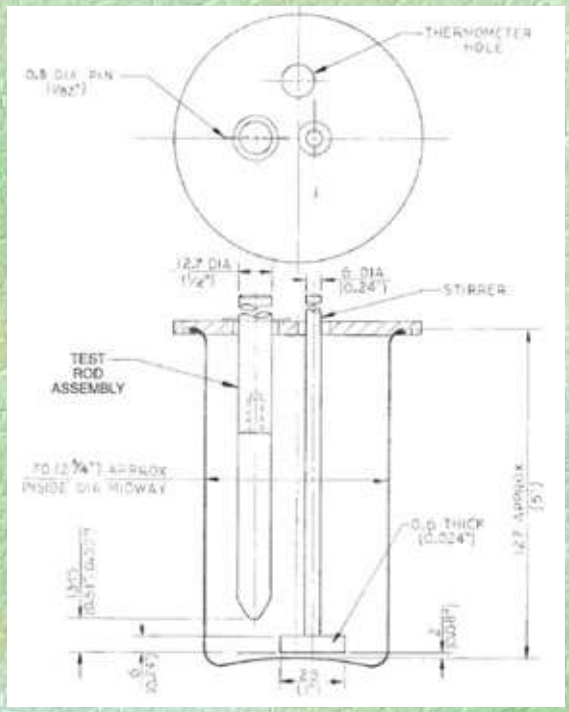


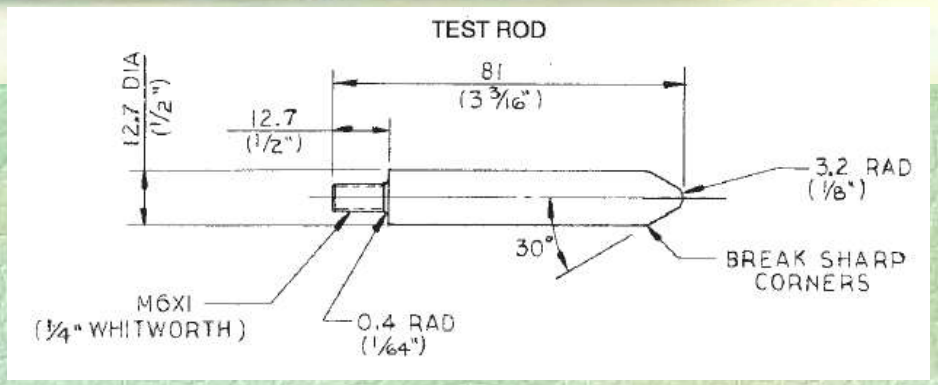


Bemerítéses vizsgálatok folyt



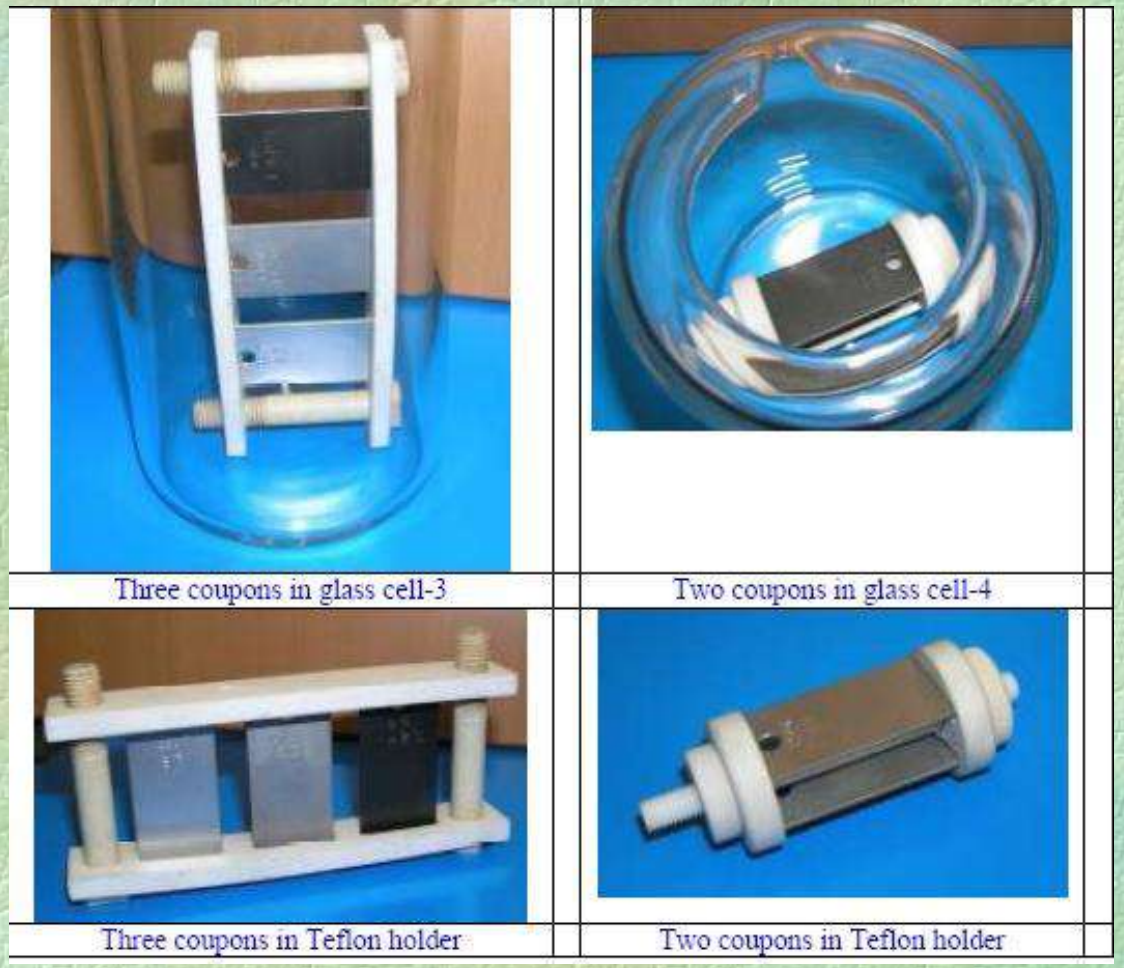




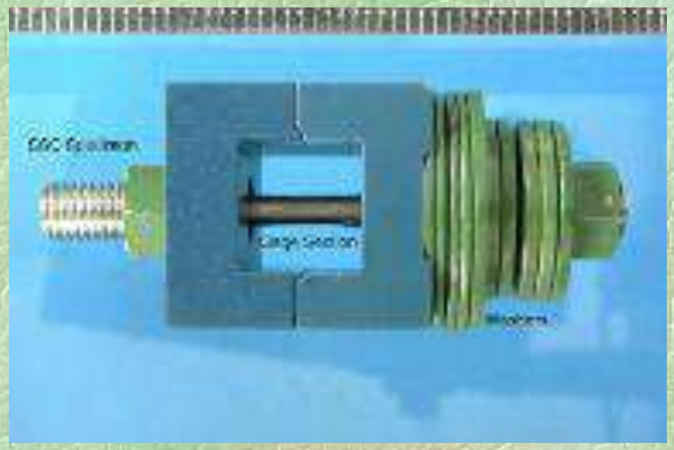


Korróziós tömegveszteséges kuponok

- Minimális felületű felfüggesztés
  - Réskorrózió!
- Nagy felület
- Folyadék fém térfogat arány
  - Korróziós ágens elfogy!



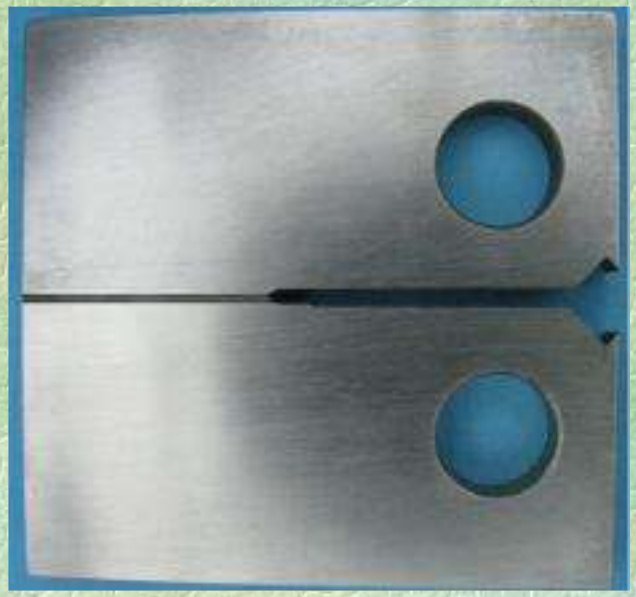
Laboratóriumi korróziós mérések







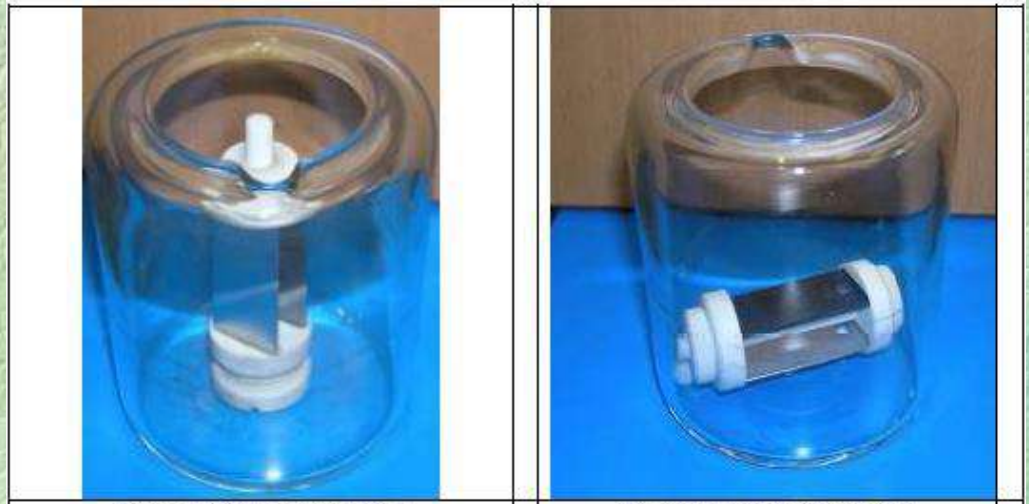






Korróziós kuponok orientáltsága

- *A kupon térbeli helyzete meghatározza a korróziót*
  - *Függőleges és vízszintes elhelyezésnél különbözik a korrózió*
    - *Mértéke*
    - *Jellege*
    - *Védőfilm*
    - *Inhibitor hatás*
    - *Lyukkorrózió*
    - *Korróziós termék*



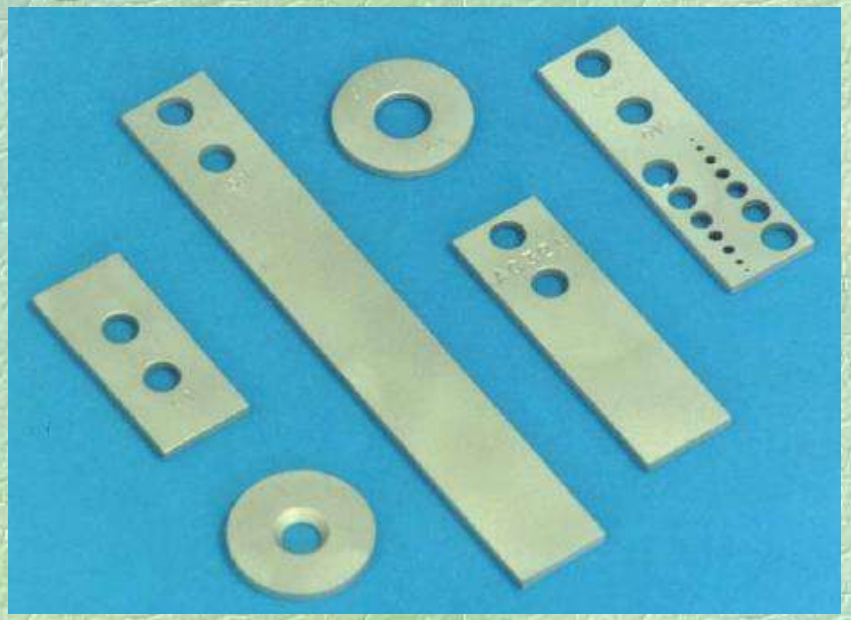
Two coupons in glass cell-1

Two coupons in glass cell-2

Korróziós próbatestek



- *Általánosan használt kuponok*
  - *Korróziós kuponok*
  - *Lerakódást gyűjtő kuponok*
  - *Bio - kuponok*
  - *Hegesztett kuponok*











Laboratóriumi és üzemi próbatestek, korróziós szondák



Laboratóriumi és üzemi próbatestek, korróziós szondák folyt

- *Feszített, lemez és „C-idom”*
- *Több típus felfűzve*
- *Tömegveszteséges*
- *Galván pár*
- *Különböző típusú korrózió vizsgálható, modellezhető*









Laboratóriumi és üzemi próbatestek, korróziós szondák folyt



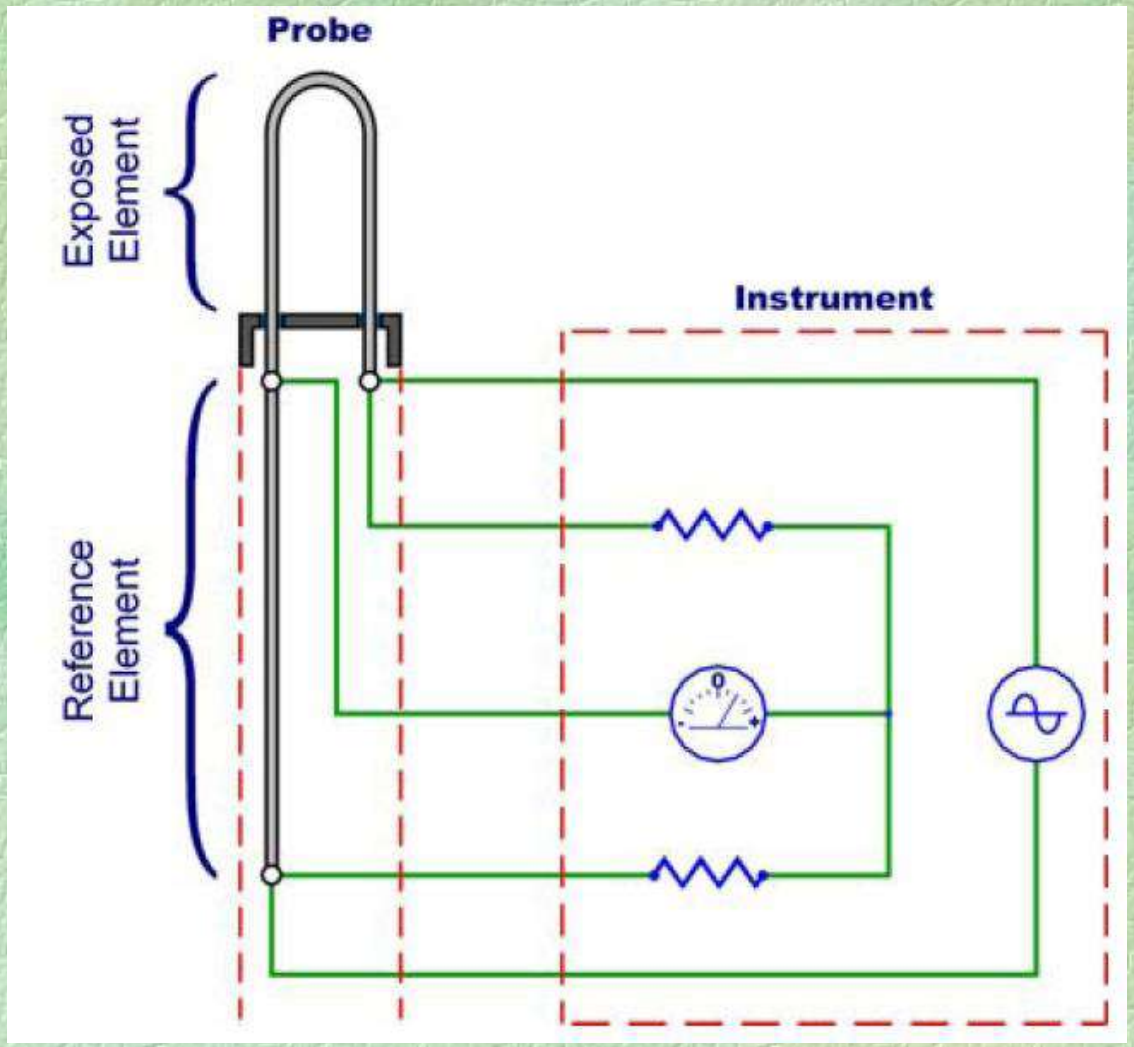


- ER módszer
  - Elektromos ellenállás változás elvén mér (átlag korrózió sebesség)
- LPR módszer
  - Lineáris polarizációs ellenállás változás elvén mér (pillanatnyi korrózió sebesség)



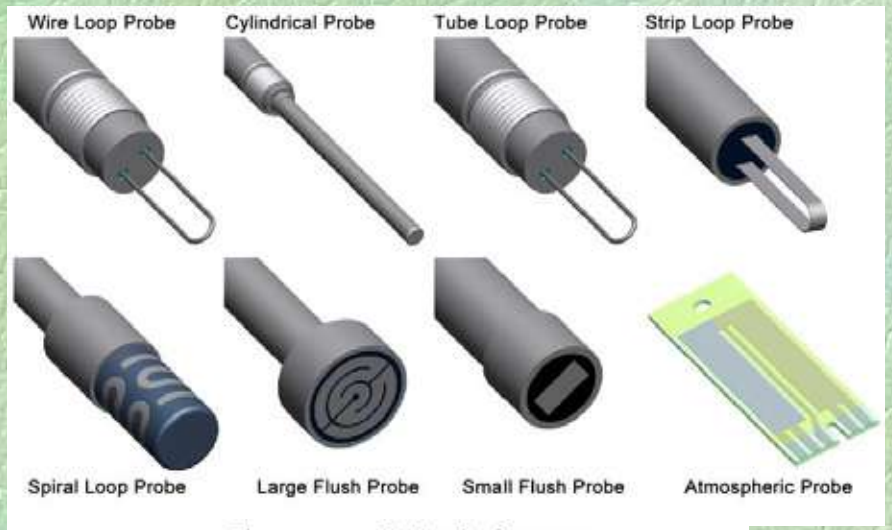


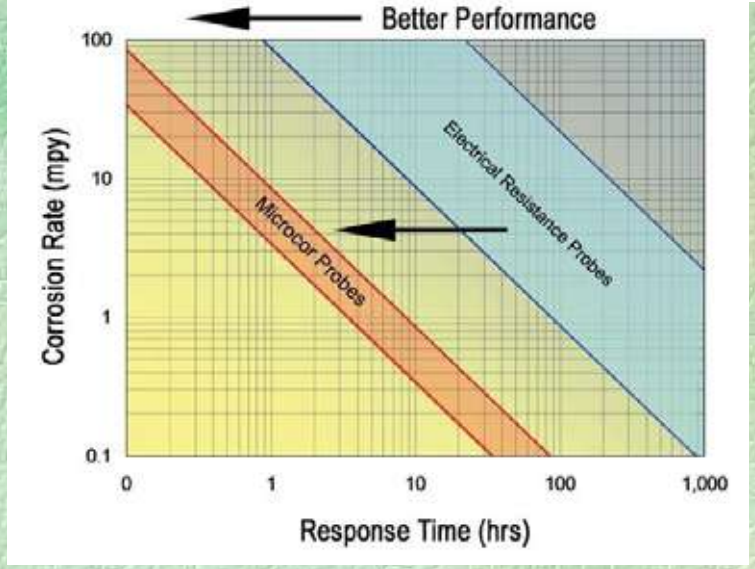
ER mérés elve



- *A korróziós keresztmetszet csökkenése megnöveli az érzékelő ellenállását.*
- *A referenciához viszonyított változás (Re/Rr) a korróziósebességgel arányos.*

ER szondák





Típusok

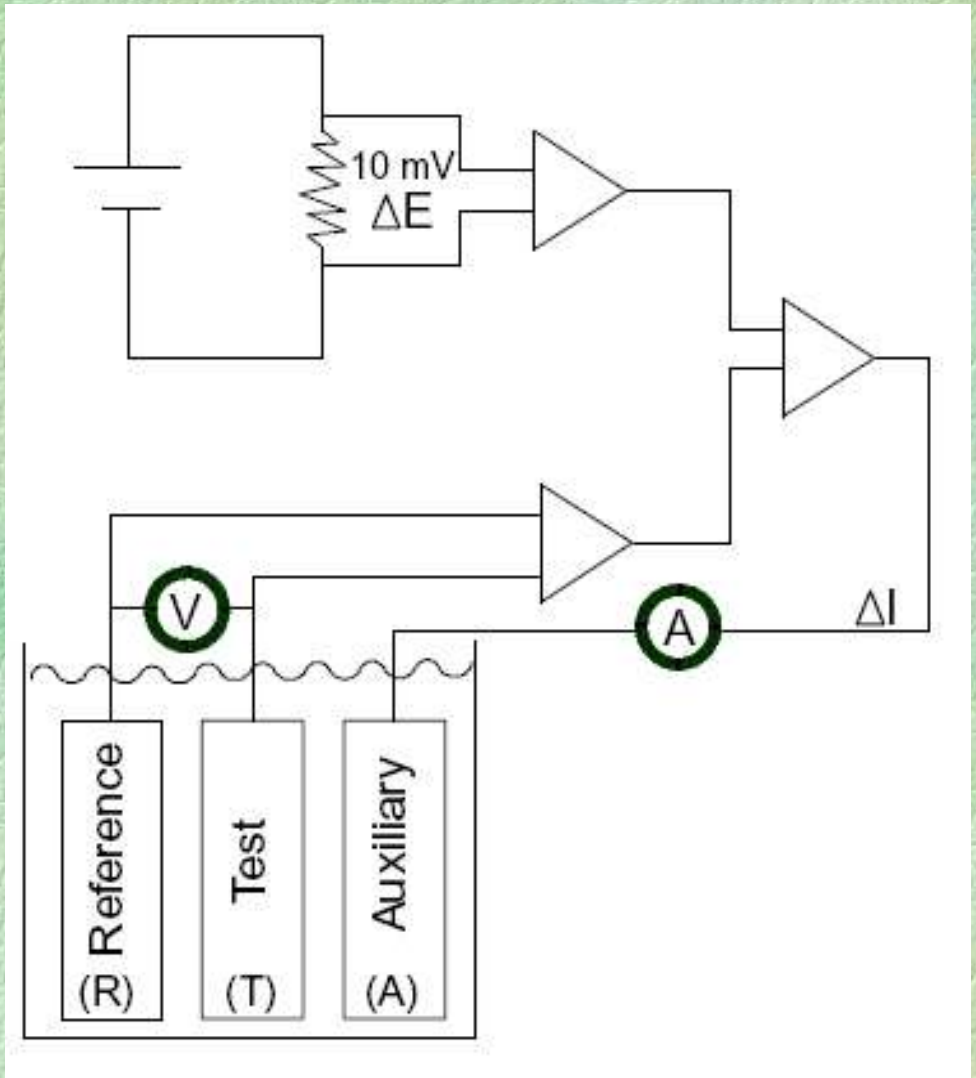
- Drót-hurok
- Hengeres
- Cső
- Szalag-hurok
- Spirál hurok
- Süllyesztett (nagy)
- Süllyesztett (kicsi)
- Atmoszférikus (beágyazott)
- Mikro próba

ER szondák választási kritériuma

Element Type	Thickness	Probe Life	Element ID
Wire loop	40 mil 80 mil	10 mil 20 mil	WR40 WR80
Tube loop	4 mil 8 mil	2 mil 4 mil	TU04 TU08
Strip loop	5 mil 10 mil	1.25 mil 2.5 mil	SL05 SL10
Cylindrical	10 mil 20 mil 50 mil	5 mil 10 mil 25 mil	CT10 CT20 CT50
Spiral loop	10 mil 20 mil	5 mil 10 mil	SP10 SP20
Flush (small)	4 mil 8 mil 20 mil	2 mil 4 mil 10 mil	FS04 FS08 FS20
Flush (large)	5 mil 10 mil 20 mil 40 mil	2.5 mil 5 mil 10 mil 20 mil	FL05 FL10 FL20 FL40
Surface Strip	10 mil 20 mil 40 mil	5 mil 10 mil 20 mil	SS10 SS20 SS40

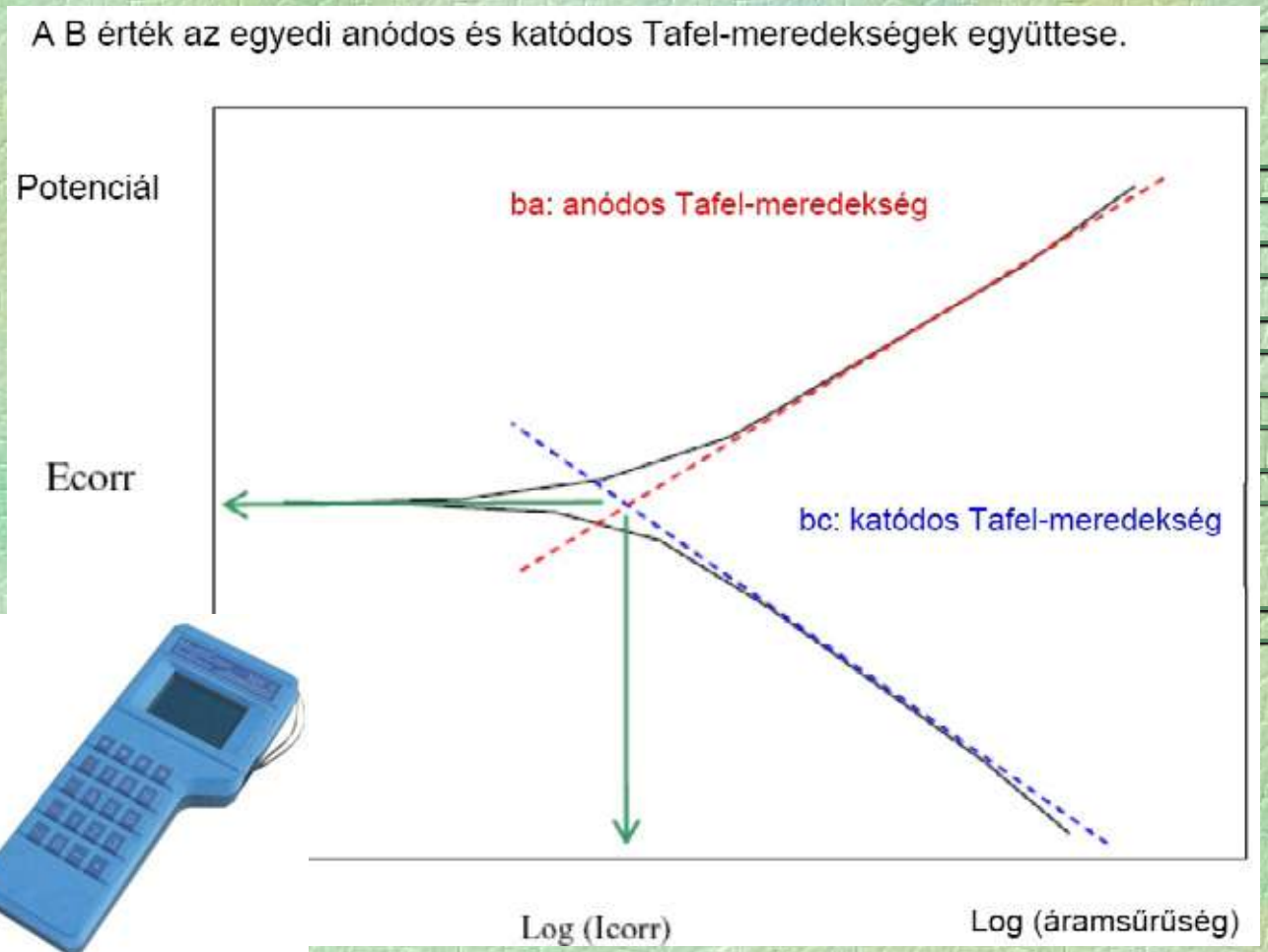
- ***Próbák élettartama***
  - ***Az átmérő/vastagság változás adja meg***
  - ***Általában felére csökkenhet a vastagság, negyedére az átmérő***
  - ***Lokális korrózió esetén az érzékelő előbb is tönkre mehet***

LPR mérés elve



- *A korróziós potenciál közelében általában ± 10mV-al anódosan és katódosan polarizáljuk a munka elektródot*
- *Mérjük az anódos áramot és a katódos áramot*
- *A polarizációs ellenállás arányos a korróziósebességgel*
- $\Delta E/\Delta I = R_p\ [\Omega*cm]$
- $J_c = B/R_p\ [\mu A/cm^2]$
- $V_{korr} = J_c*11,6/1000$

LPR mérés elve folyt



- $B = b_a * b_b / 2{,}303 * (b_a + b_b)$
- B érték 20-60-ig
- $\Delta E / \Delta I = R_p$ [Ω*cm]
- $J_c = B / R_p$ [$\mu A/cm^2$]
- $V_{korr} = J_c * 11{,}6/1000$
- A fejlett műszerek mm/évben jelzik ki
- CorrOcean MultiCorr MK II



LPR szondák



- *2 elektródos kivitel*
- *3 elektródos kivitel*
- *Labor alkalmazások*
- *Kis nyomású rendszerek*
- *Nagy nyomású rendszerek*
- ***Elektrolit nélkül nem működik!***

LPR szonda elektródok



LPR mérőműszerek



CorrOcean

Metal Samples

Cortec

Pepperl + Fuchs

Probe shown in photo not included with corrosion meter

További korróziós szondák

- *Galván szondák*
- *Bio próbatestes szondák*
- *Eróziós szondák*
- *Hidrogén behatolást érzékelő szondák*
- *Hidrogén bélyegek*
- *Homok érzékelő szondák*
- *Potenciosztát szondák*







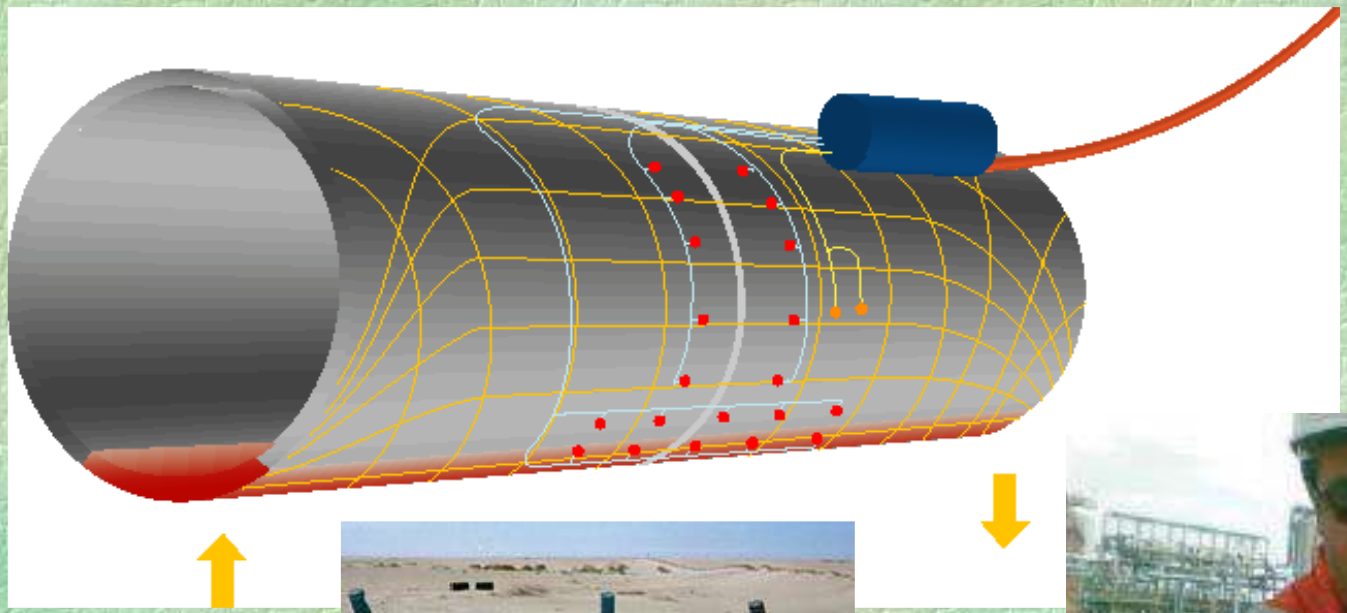






HS ER

FSM „Field Signature Method”



Online monitoring

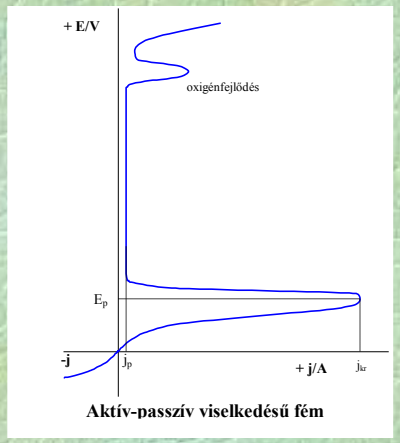
Falvastagság, pitting korrózió



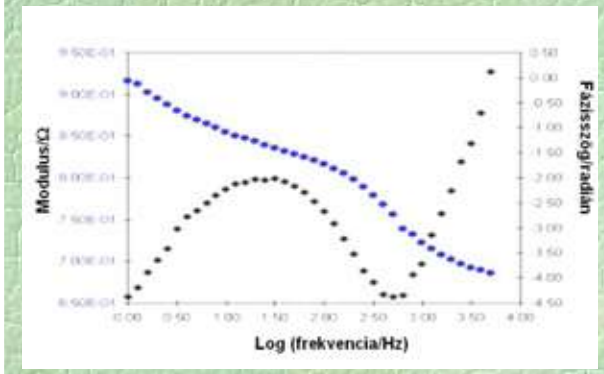


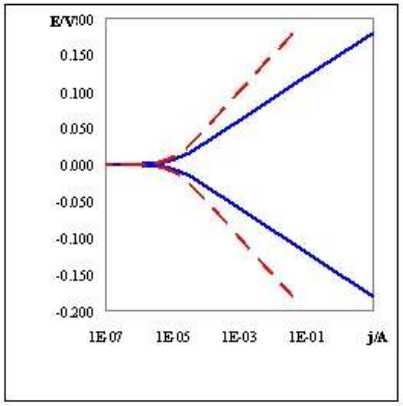
Egyéb vizsgálati módszerek

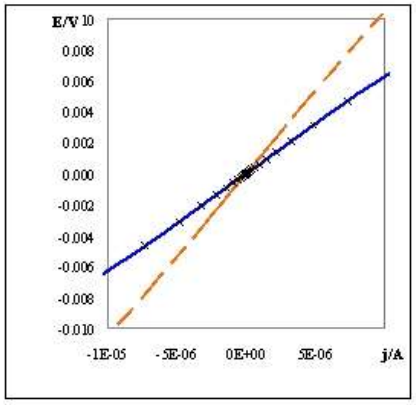
- Közeg analitika (vastartalom mérés)
- UH falvastagság mérés
- Elektronikus zaj mérés
- Váltóáramú impedancia
- Galvanosztatikus mérés
- Ciklikus voltametria
- Váltóáramú mérések



Aktív-passzív viselkedésű fém







Laboratóriumi korróziós mérések



„Wheel test” azaz hagyományos „kerék teszt”

Az üveg palackokban egy, két illetve három fázis tölthető. A forgó kerék a próbatest nedvesítését biztosítja különböző fázisokban

Laboratóriumi korróziós mérések folyt



Gázbuboré-koltatásos U-csöves váltott hőfokú teszt készülék

Laboratóriumi korróziós mérések folyt





Hengeres forgóelektródos korróziós cella

Nagy-, illetve kis nyomású kivitelben

Laboratóriumi korróziós mérések folyt

SSCC cella







NACE TM0177

H_2S álló acélok kiválasz-tása

Laboratóriumi korróziós mérések folyt

„Forgó keret” korróziós cella

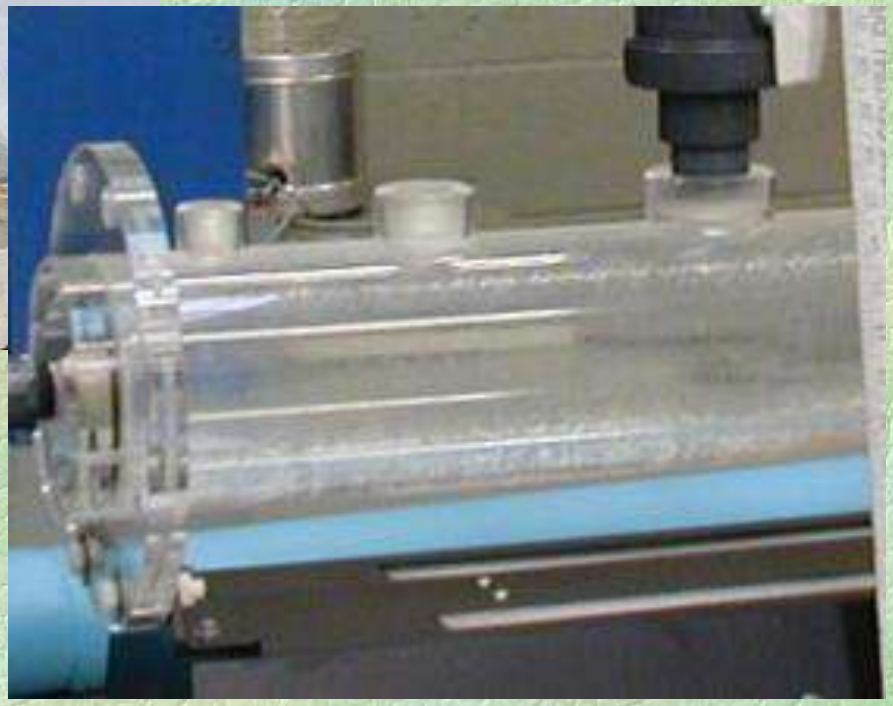




Laboratóriumi korróziós mérések folyt

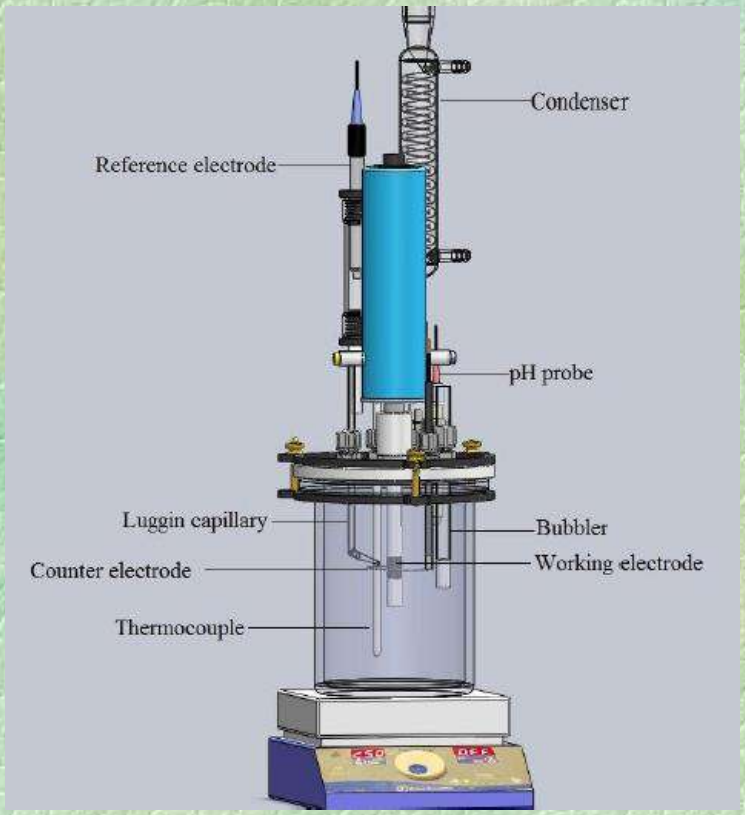


„Flow-loop” áramlási cella

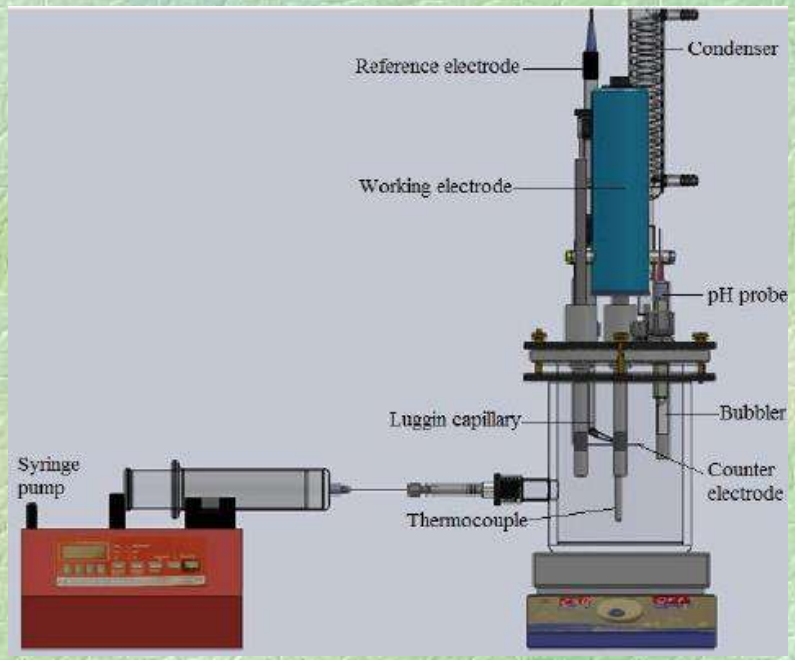


Cirkulációs „Flow-loop áramlási cella

Laboratóriumi korróziós mérések folyt

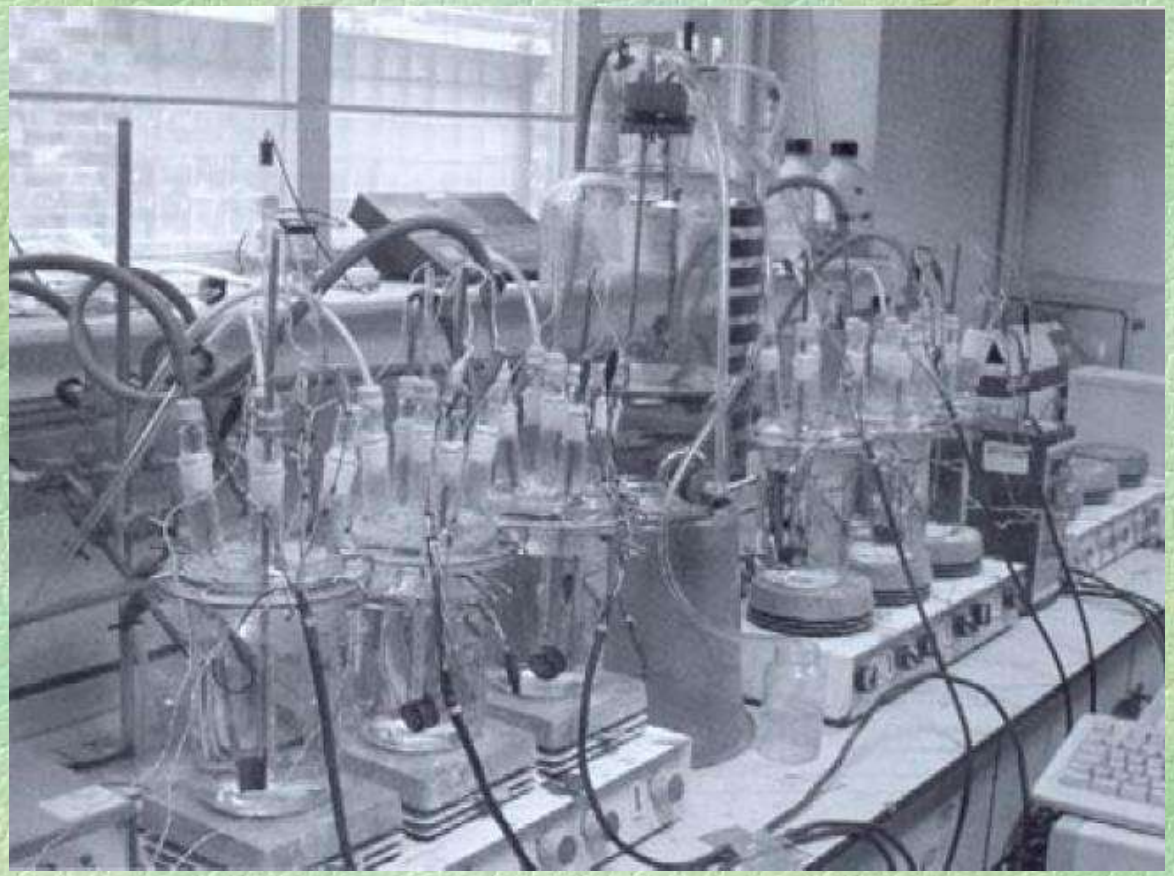


Gáztelítéses, gáz-buborékoltatásos teszt



Bubbling test

Laboratóriumi korróziós mérések folyt



6 cellás bubbling test készülék, inhibitorok összehasonlító vizsgálatához

Laborok vizsgálati eszközei

- *CorrOcean Multicorr MK II ER és LPR műszer*
- *Cortest ER adatgyűjtő*
- *Cortest LPR adatgyűjtő*
- *Orbisphere oldott oxigénmérő*
- *Panametrics 36 DL PLUS UH falvastagság mérő*
- *Panametrics EPOCH III „B-scan” hibahely kereső*
- *CYGNUS többszörös visszhangos UH mérő*

Laborok vizsgálati eszközei folyt

- *Hidrociklon*
- *Porleválasztó mérőcella*
- *Olympus SZX9 fémmikroszkóp*
- *Lampart autoklávok*
- *Kutesz forgópados termosztát*
- *HACH DR2000 hordozható spektrofotométer*
- *HACH DR3900 spektrofotométer*
- *Orion 4star ion-szelektív pH, Mg, Ca mérő*

Laborok vizsgálati eszközei folyt

- *Automata sósködkamra*
- *Kesternich-kamra*
- *Taber koptató berendezés*
- *Sheen bevonat ütésállóság vizsgáló ejtő-kalapács*
- *Elcometer bevonat rétegvastagság-mérő*
- *Sheen bevonat vizsgáló hajlító készülék*
- *Sheen bevonat tapadás mérő*

Vizsgálatai tevékenység

- *Korrózióvédelmi tevékenység:*
  - *Korróziós inhibitorok vizsgálata, (hatékonysági tesztek)*
  - *Korróziós termékek, szilárd lerakódások vizsgálata*
  - *Rétegvizek (korróziós célú) analitikai vizsgálata*
  - *Korróziósebesség mérése üzemi körülmények között*
  - *Bevonatok helyszíni és laboratóriumi vizsgálata*

Vizsgálatai tevékenység folyt

- *További vizsgálati, mérési tevékenység:*
  - *Scale inhibitorok vizsgálata*
  - *Gázok szilárd szennyezőanyagainak vizsgálata*
  - *Felszíni vizek minősítő vizsgálata*
  - *Vegyszer azonosító, megfelelőségi vizsgálatok*
  - *Szénhidrogén adalékok korróziós tulajdonságainak meghatározása*

Tervezési, fejlesztési tevékenység

- *Fejlesztési tevékenység:*
  - *Inhibitoros és passzív védelmi technológiák fejlesztése*
  - *Vegyszer tenderek előkészítése*
  - *Monitoring rendszerek fejlesztése*
  - *Döntés-előkészítő tanulmányok készítése*
  - *Új technológiák korrózióvédelmi terveinek készítése*

Szerviz és szolgáltatás

- *Szolgáltatói tevékenység:*
  Up-Stream, Down-Stream
  - *Inhibitoros technológiákon szerviz tevékenység*
  - *Monitoring rendszerek beüzemelése*
  - *Bevonat kiválasztó, és alkalmazástechnikai vizsgálatok, bevonat lista*
  - *Korróziós felülvizsgálatok korszerű eszközökkel*
  - *Korróziós káresetelemzések*
  - *Talajkorróziós vizsgálatok*

Szerviz és szolgáltatás folyt

- *Műszaki ellenőrzés:*
  - *Bevonat kivitelezésnél és időszakos felülvizsgálatnak ellenőrzése*
  - *Inhibitoros védelmi technológiák ellenőrzése, optimalizálása, módosítások utóellenőrzése*
  - *TMK során állapotellenőrzés (műszeres, és „videoendoszkópos”)*

Vizsgálati tervek készítése





Káresetvizsgálatok

- *Szemrevételezés (eredeti állapotban és savas tisztítás után)*
- *Mérőlupés vizsgálat (helyszíni vizsgálatoknál)*
- *Sztereómikroszkópos vizsgálat, repedéskeresés (tisztítás után, dokumentálás)*
- *Korróziós termék és lerakódás analízise (FTIR, XRD, klasszikus analitika)*
- *Penetráció (repedéskeresés, dokumentálás)*
- *Felületi érdesség vizsgálat (bevonat meghibásodások, feszültségkorrózió)*
- *Környezettanulmány (üzemi paraméterek)*
- *Közeg analitika (korróziós ágensek kimérése)*

Korróziós laboratórium - I



Autoklávok statikus korrózió-sebesség méréshez

Korróziós laboratórium - II



Áramoltatásos „bubbling test” berendezés gyors inhibitor védőhatás meghatározás-hoz

Korróziós laboratórium - III



Kesternich klima-kamra átmeneti védőanyagok VpCI, VCI inhibitorok, bevonatok védőhatásának meghatározásá-hoz

Korróziós laboratórium - IV



Sósköd-kamra bevonatok, átmeneti védőanyagok, VpCI, VCI inhibitorok védőhatásának, filmtartó képességének meghatározásá-hoz

Korróziós laboratórium - V



Hideg – meleg klímakamra bevonatok időjárás állóság vizsgálatához, ciklikus fűtés hűtés hatásainak kiméréséhez

Korróziós laboratórium - VI



Forgópados „KUTESZ” termosztát alacsony és emelt nyomású dinamikus inhibitor minősítő tesztekhez

Korróziós laboratórium - VII



Izzító kemence és égetőmű

Analitikai vizsgálatokhoz és a H_2S gáz elégetéséhez

Korróziós laboratórium - VIII



Autokláv szoba

Fűtésszabály-zókkal, vákuum szárítószek-rénnyel autoklávokkal

Laborvizsgálatok

A laboratóriumban az olajipari igénybevételeket modellezve az alábbi vizsgálatokat végezzük:

- *KLHL-002 statikus vizsgálat*
- *KLHL-003 dinamikus vizsgálat*
  - *- egyfázisú gáztelítéses*
  - *- többfázisú gáztelítéses*
  - *- egyfázisú nagynyomású*
  - *- többfázisú nagynyomású*
- *KLHL-004 áramoltatásos vizsgálat*



Statikus vizsgálati módszer KLHL-002

- ***Inhibitor hatékonyság vizsgálatok***
  - ***Oldatos módszer***
    - ***50 mg/dm³ 150 mg/dm³ 300 mg/dm³ inhibitor***
    - ***Víz – gáz illetve víz – olaj/gazolin –gáz rendszerben***
  - ***Mártásos módszer***
    - ***10 %-os oldatba merítés után***
    - ***Film-tartósság mérés szárítás bemerítés ciklus után***

Statikus vizsgálati módszer KLHL-002 folyt

- **Paraméterek:**
  - Nyomás: 1-250 bar (H_2S, CO_2, CH_4, N_2)
  - Hőmérséklet: 20-240°C
  - Idő: 3-7 nap (4 nap)
  - „A” modellvíz: 50 mg/dm^3 NaCl
    70 mg/dm3 $NaHCO_3$
  - „B modellvíz: 8000 mg/dm^3 NaCl
    2000 mg/dm^3 $NaHCO_3$
    500 mg/dm^3 Na_2SO_4

Dinamikus vizsgálati módszer KLHL-003

- ***Dinamikus vizsgálati módszer eljárásai:***
  - ***- egyfázisú gáztelítéses***
  - ***- többfázisú gáztelítéses***
  - ***- egyfázisú nagynyomású***
  - ***- többfázisú nagynyomású***
- ***Inhibitor kiválasztás az adott technológia modellezésével***
  - ***Mártásos eljárás (Inhibitor film tartósságának vizsgálata)***
  - ***Oldatos eljárás***

Dinamikus vizsgálati módszer KLHL-003 folyt

- ***Egyfázisú gáztelítéses***
  - ***Oldatos módszer***
    - ***100 mg/dm³ és 300 mg/dm³ inhibitor***
    - ***CO_2 gáztelítéssel 3 perc majd zárás***
    - ***80°C (20 – 120°C)***
    - ***1 nap***
    - ***Modellvíz „A”, vagy „B”***
  - ***Mártásos módszer***
    - ***10%-os inhibitor oldatba merítés után***
    - ***Film-tartósság mérés szárítás bemerítés ciklus után***
    - ***CO_2 gáztelítéssel 3 perc majd zárás***
    - ***80°C (20 – 120°C)***
    - ***1 nap***
    - ***Modellvíz „A”, vagy „B”***

Dinamikus vizsgálati módszer KLHL-003 folyt

- Többfázisú gáztelítéses
  - Oldatos módszer
    - 100 mg/dm^3 és 300 mg/dm^3 inhibitor
    - CO_2 gáztelítéssel 3 perc majd zárás
    - 80°C (20 – 120°C)
    - 1 nap
    - Modellvíz „A”, vagy „B” és gazolin vagy olaj
  - Mártásos módszer
    - 10%-os inhibitor oldatba merítés után
    - Film-tartósság mérés szárítás bemerítés ciklus után
    - CO_2 gáztelítéssel 3 perc majd zárás
    - 80°C (20 – 120°C)
    - 1 nap
    - Modellvíz „A”, vagy „B” és gazolin vagy olaj

Az olaj: víz térfogatarány
- 30 : 70
- 50 : 50
- 70 : 30

- 30 : 70
- 50 : 50
- 70 : 30

Dinamikus vizsgálati módszer KLHL-003 folyt

- *Egyfázisú nagynyomású eljárás*
  - *rétegvíz mennyisége: 120 cm^3*
  - *gáznyomás: üzemi nyomás*
  - *hőmérséklet: üzemi hőmérséklet (max. 120 °C)*
- *Inhibitor kiválasztás az adott technológia modellezésével*
  - *Mártásos eljárás (Inhibitor film tartósságának vizsgálata) 10%-os oldatba merítés után*
  - *Oldatos eljárás (100 mg/dm^3 és 300 mg/dm^3 inhibitor)*

Dinamikus vizsgálati módszer KLHL-003 folyt

- ***Többfázisú nagynyomású eljárás***
  - ***rétegvíz mennyisége: 50 cm^3***
  - ***olaj/gazolin mennyisége: 70 cm^3***
  - ***gáznyomás: üzemi nyomás***
  - ***hőmérséklet: üzemi hőmérséklet (max. 120 °C)***
- ***Inhibitor kiválasztás az adott technológia modellezésével***
  - ***Mártásos eljárás (Inhibitor film tartósságának vizsgálata) 10%-os oldatba merítés után***
  - ***Oldatos eljárás (100 mg/dm^3 és 300 mg/dm^3 inhibitor)***

Áramoltatásos vizsgálati módszer KLHL-004

- *A vizsgálathoz a 206545 lajstromszámú magyar szabadalom alapján gyártott berendezést használjuk*
- *A vizsgálatot nyolc, párhuzamosan kötött, duplafalú, fűthető cellában végezzük*
- *Egy G-4-es gázporlasztón keresztül áramlik a cellába a korrozív komponenseket tartalmazó kevert gáz, ezzel folyamatosan biztosítja a korrozív komponensek állandó koncentrációját a próbatest környezetében*

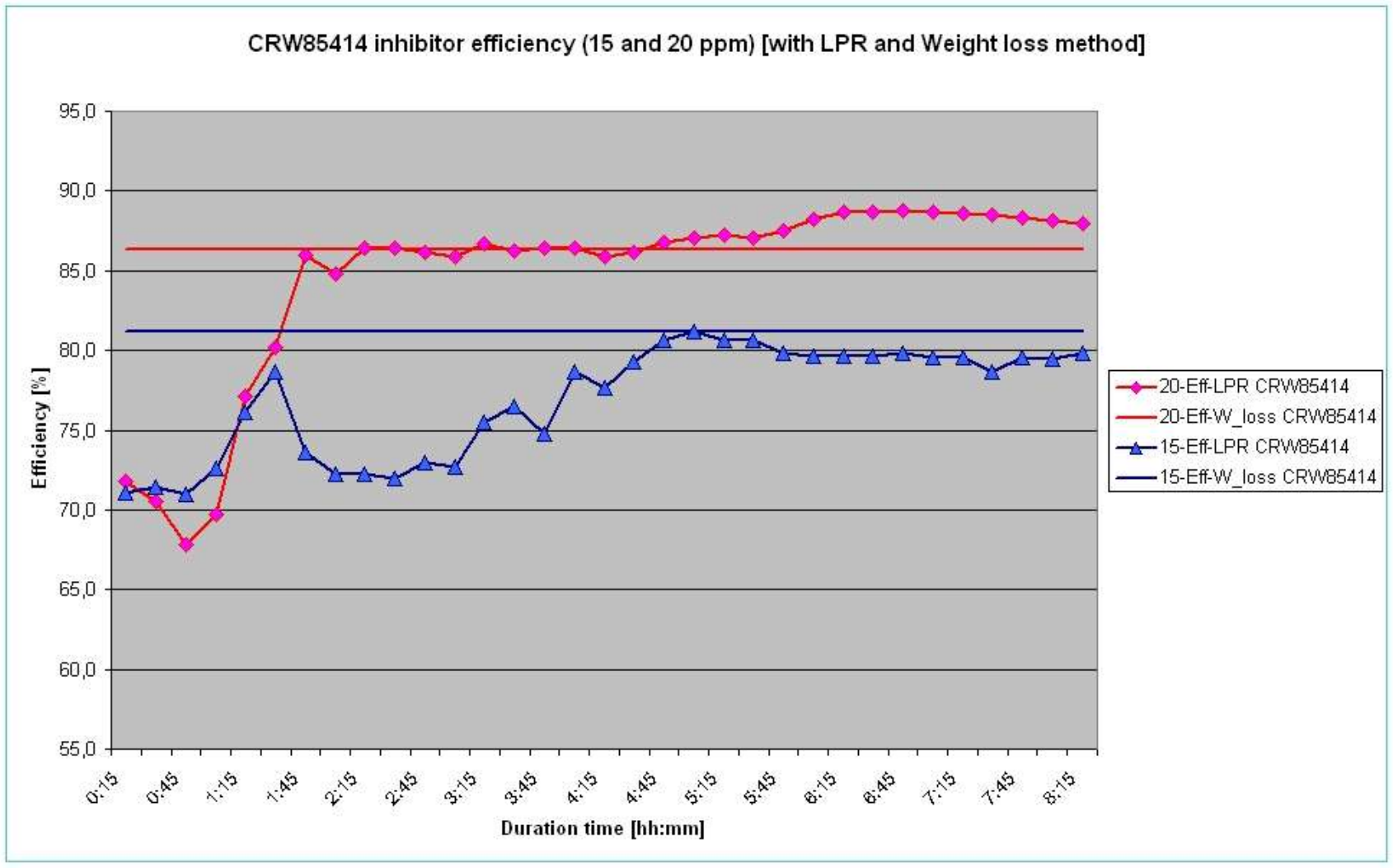
Áramoltatásos vizsgálati módszer KLHL-004

folytatás

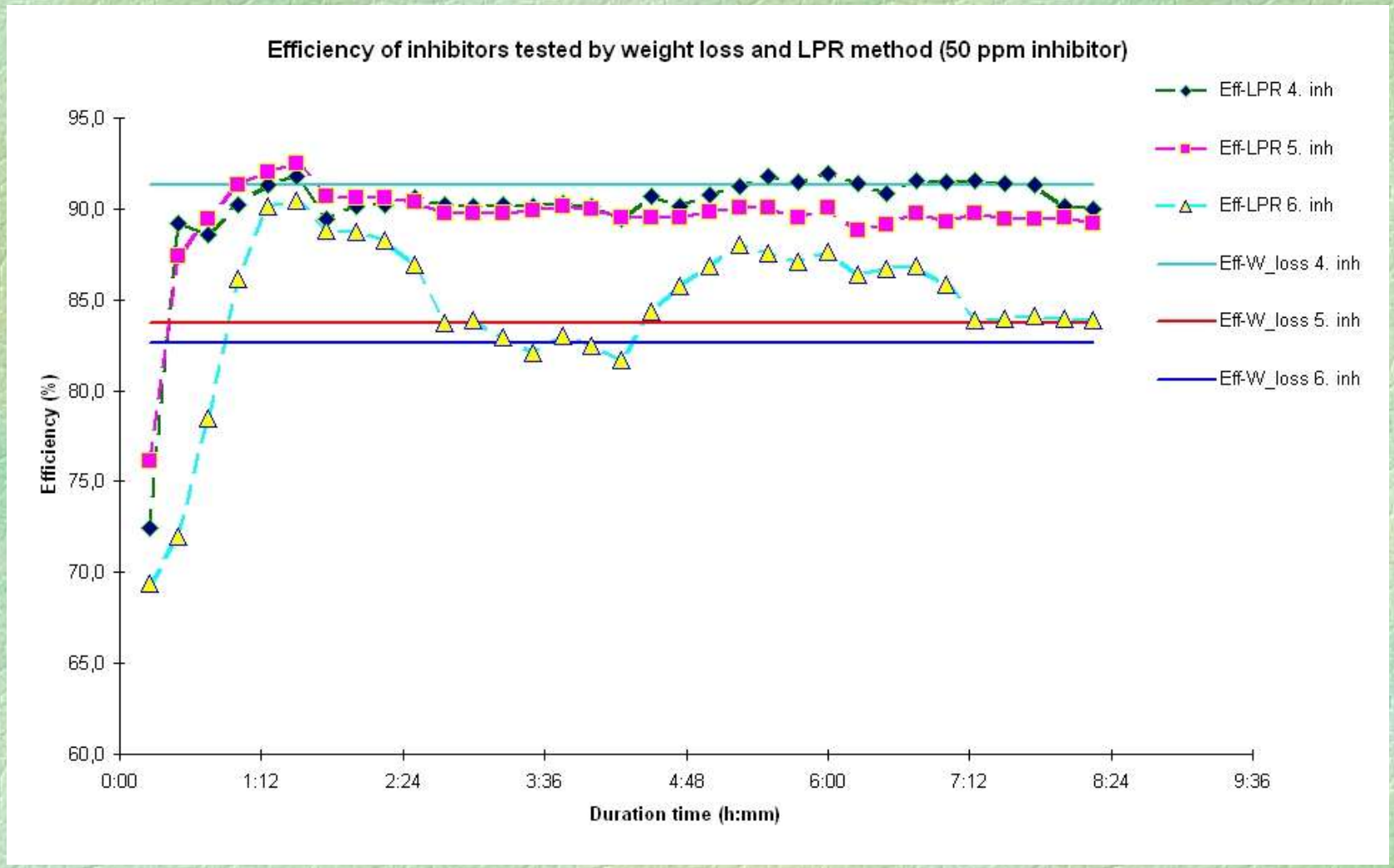
- Célszerűen három különböző típusú inhibitor, vagy egy inhibitor három koncentrációjának bevizsgálását végezzük egyidejűleg. A cella-párokat az alábbiak szerint töltjük fel

cella sorszáma	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8
azonos inhibitor	vak	50 mg/dm^3 inhibitor	80 mg/dm^3 inhibitor	100 mg/dm^3 inhibitor
különböző inhibitor	vak	I. típusú inhibitor	II. típusú inhibitor	III. típusú inhibitor

Áramoltatásos vizsgálati módszer eredményei



Áramoltatásos vizsgálati módszer eredményei



Áramoltatásos vizsgálati módszer KLHL-004

folytatás

- **A vizsgálati közeg:**
  - **modellvíz** — **8000 mg/dm³ NaCl**, **2000 mg/dm³ $NaHCO_3$**
  - **az áramoltatott gázok:**
    - **Budafa mező „B-III. számú kút gáza” (modellgáz)**
      0,3 %(v/v) H_2S , 83 %(v/v) CO_2 ,12 %(v/v) CH_4 — **80 dm³/h**
    - **CO_2** — **80 dm³/h**
    - **Levegő (O_2 %(v/v))** — **20 dm³/h**

Áramoltatásos vizsgálati módszer KLHL-004

folytatás

- *Az áramlási sebesség cellánként 15-20 dm^3/h, amit 10 percenként ellenőrzünk, és utánállítunk.*
- *A vizsgálat további paraméterei:*
  - *modellvíz térfogata : 500 cm^3*
  - *hőmérséklet : 50 °C*
  - *időtartam : 8 óra 15 perc*

Áramoltatásos vizsgálati módszer KLHL-004

folytatás

Kiegészítő vizsgálatok:

- *LPR szondás (lineáris polarizációs ellenállásmérésen alapuló pillanatnyi korróziósebességet meghatározó módszer) mérés CorrOcean MultiCorr MK II műszerrel az 1, 3, 5, és 7 cellákban*
- *Oldott oxigén mérés az eltávozó gázzal buborékoltatott külön cellában Orbisphere műszerrel vagy azonos érzékenységű és pontosságú műszerrel óránként (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 óra).*
- *Oldott vastartalom mérés cellánként Hach DR2000 spektrofotométerrel, a vizsgálat befejezése után komplexometriás titrálással az erős keveréssel homogenizált oldatból.*

Áramoltatásos vizsgálati módszer KLHL-004 folytatás

- Az LPR szonda leolvasása az alábbiak szerint:
- Az indulást követő 30. percben az 1. sz. cellában (vak), majd átkötés a következő cellára. Leolvasás 15 percenként.

cella	LPR szonda leolvasás az indulást követően (o:pp)							
1	0:30	1:30	2:30	3:30	4:30	5:30	6:30	7:30
3	0:45	1:45	2:45	3:45	4:45	5:45	6:45	7:45
5	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00
7	1:15	2:15	3:15	4:15	5:15	6:15	7:15	8:15

Inhibitor minősítés

- *Oldás próba (víz, gazolin, metanol, glikol)*
- *Emulziós vizsgálat (habzás, fázis szétválás)*
- *Statikus védőképesség vizsgálat (modellezett üzemi paraméterekkel)*
- *Dinamikus védőképesség vizsgálat (modellezett üzemi paraméterekkel)*
- *Áramoltatásos védőképesség meghatározása (gyors módszer a védőképesség vizsgálatára)*

Inhibitoros védelmi technológia tervezés

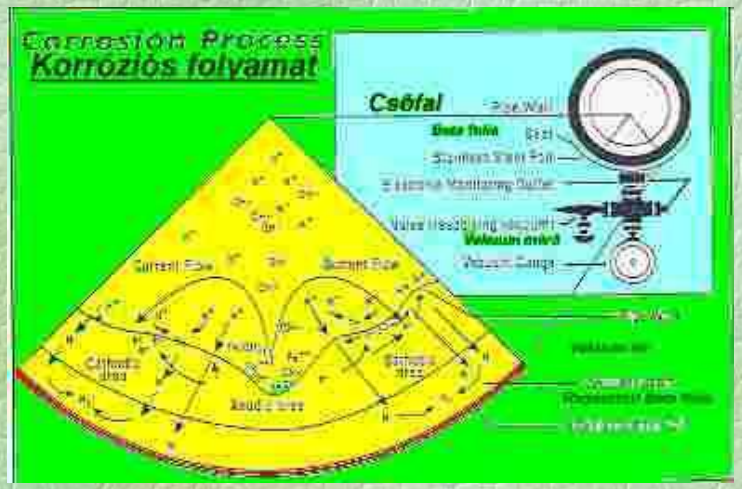
- *Üzemi paraméterek elemzése*
- *Korróziós alapállapot felmérése*
- *Technikai feltételek megállapítása, kialakítása*
- *Félüzemi kísérlet peremfeltételeinek megadása*
- *By-pass rendszer kiépítése*
- *Monitoring megtervezése*

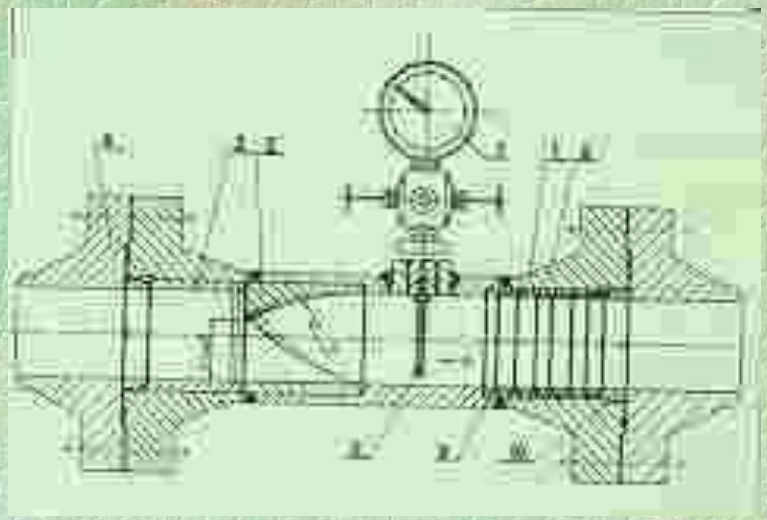
Inhibitoros védelmi technológia tervezés

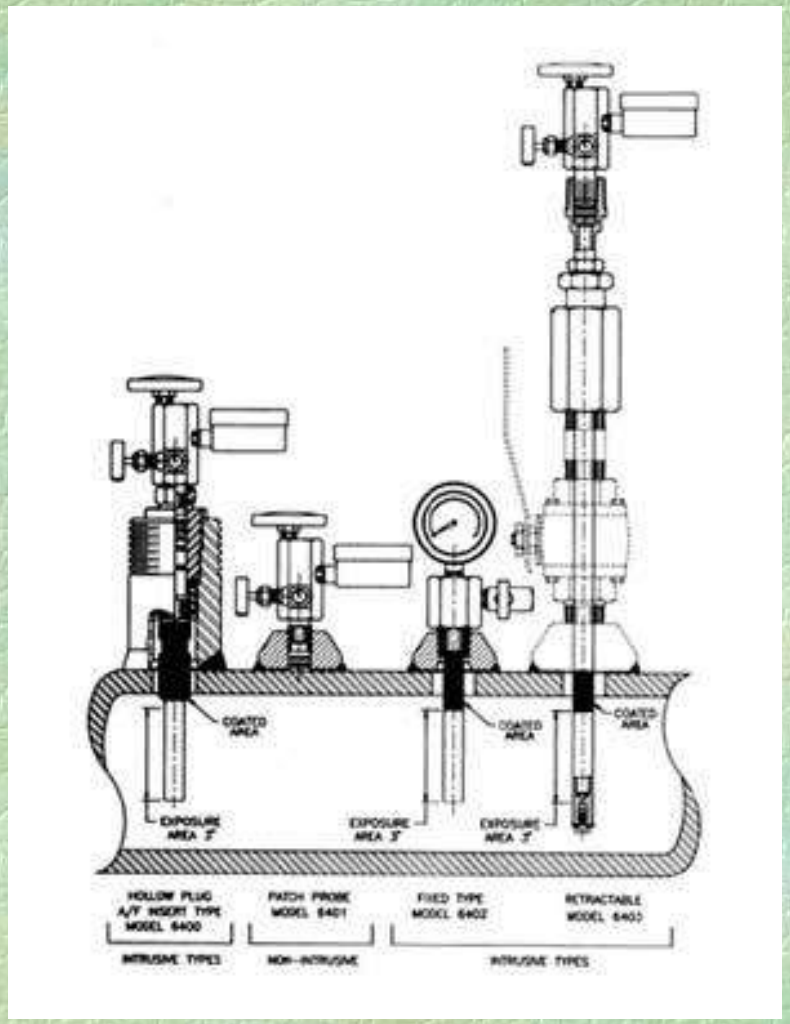
folytatás

- *Inhibitor kiválasztó laborkísérletek elvégzése*
- *Félüzemi kísérlet kivitelezése*
- *A kísérleti eredmények értékelése*
- *Üzemi technológia bevezetése*
- *Üzemelő védelmi technológia utóellenőrzése*

Védelmi technológia ellenőrzése







Védelmi technológia ellenőrzése folyt

- *Korróziósebesség mérése*
  - *Tömegveszteséges*
  - *Műszeres (ER, LPR, Galván, UH stb.)*
- *Korróziós közeg ellenőrzése*
  - *Oldott vastartalom*
  - *Maradó inhibitor tartalom*
- *Korrózió jellegének meghatározása*
  - *By-pass, beépített közdarab*

Áttekintés

- *Inhibitor adatlapok (MSDS, TDS)*
- *Mit vizsgáljunk miért vizsgáljuk?*
- *Laboratóriumi kísérleti módszerek*
- *Korrózióméréси technikák, műszerek, szondák, kuponok*
- *MOL korróziós laboratóriuma*
- *Inhibitoros védelmi technológiák tervezése, kivitelezése*

ANSI/API Spec 12J-1992 ajánlások

- *A következő irányelvek betartása nem kötelező, de a szénacélokra való tekintettel a korróziós környezet mértékének a megítélésére felhasználhatók.*
- ***Oxigén***
  - ***A.** 0,005 ppm alatt, természetes sósvízben - nem korrozív.*
  - ***B.** 0,005 és 0,025 ppm között: megfontolást igényel.*
  - ***C.** 0,025 ppm koncentráció felett, természetes sósvízben - korrozív.*

ANSI/API Spec 12J-1992 ajánlások (folyt.)

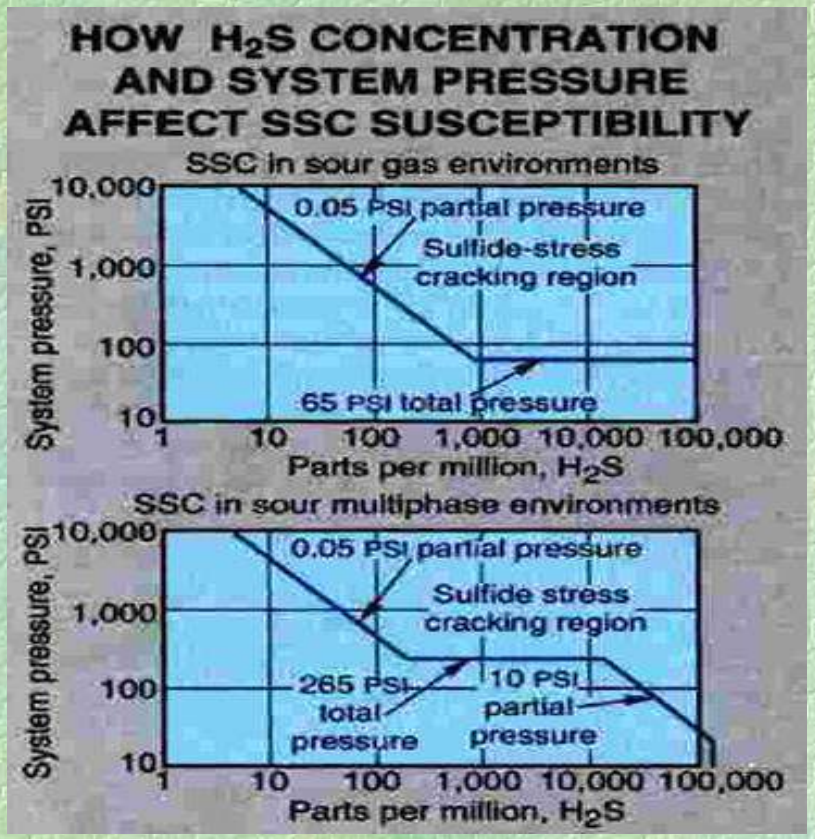
- ***Széndioxid***
  - ***A.*** *600 ppm alatt, természetes sósvízben - nem korrozív.*
  - ***B.*** *600 és 1200 ppm között: megfontolást igényel.*
  - ***C.*** *1200 ppm koncentráció felett, természetes sósvízben - korrozív.*

ANSI/API Spec 12J-1992 ajánlások (folyt.)

- ***Kénhidrogén***
  - ***A.*** *A kénhidrogén esetében még nem állapítottak meg olyan alsó határértéket, amely alatt az korrózióméntesnek minősíthető.*
  - ***B.*** *Kénhidrogén jelenlétében tehát a környezetet korrozívnak kell tekinteni.*
  - ***C.*** *A NACE MR-01-75 szabvány legújabb kiadását kell használni bármilyen kénhidrogén-tartalom esetében az általa okozott feszültség miatti törés bekövetkezése (SSC = Sulfide Stress Cracking) lehetőségének a megítélésére.*
    Ennek kivonata szerint: .

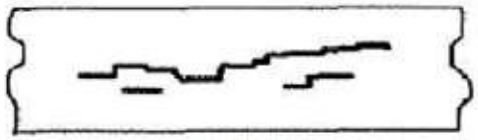
NACE MR-01-75

- *A 4,5 bar (65 psia) nyomás, vagy a 345 Pa (0,05 psi) H_2S parciális nyomás alatt működő rendszerek nem tartoznak a szabvány hatálya alá.”*



pH	H_2S ppm			
	$10 < H_2S < 50$	$50 < H_2S < 2000$	$2000 < H_2S < 10000$	$H_2S > 10000$
pH < 5	Low	**High**	**High**	**High**
5 < pH < 7,8	Low	***Moderate****	***Moderate****	**High**
pH > 7,8	Low*	***Moderate****	**High**	**High**

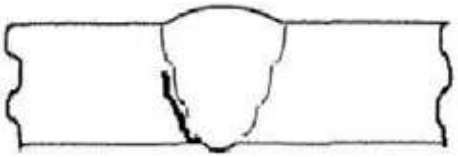
H_2S korrózió hatásai



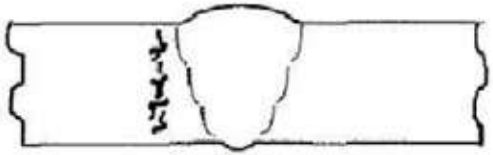
HIC / SWC



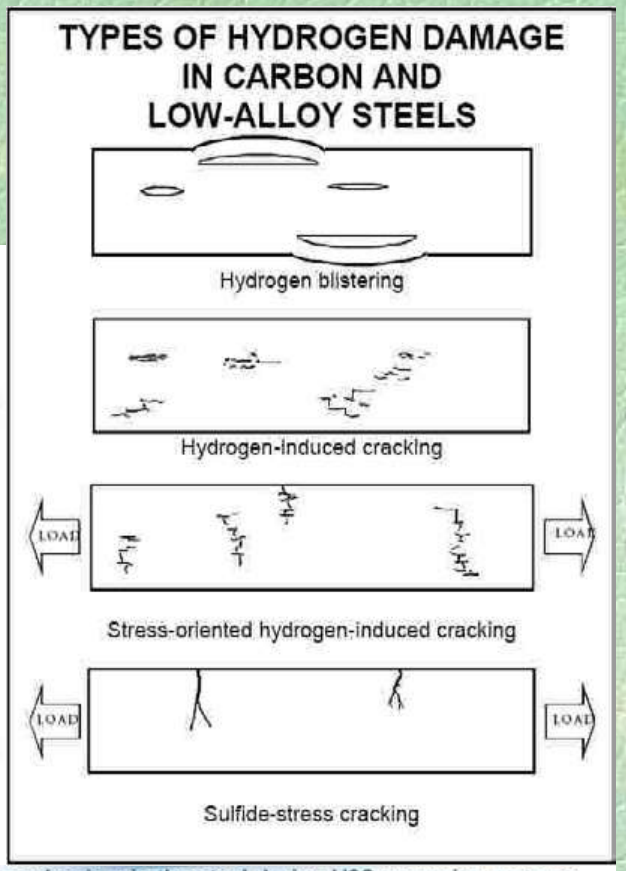
Blistering



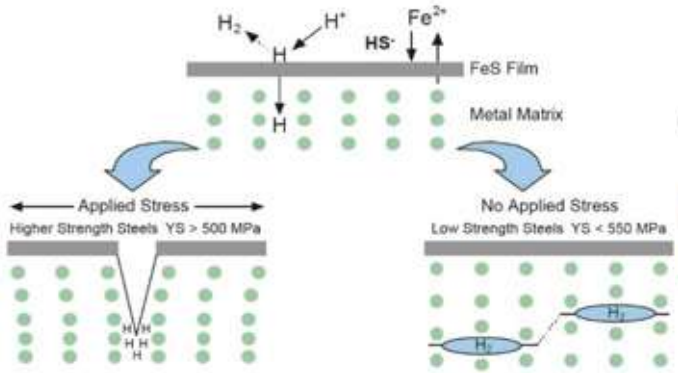
SSC

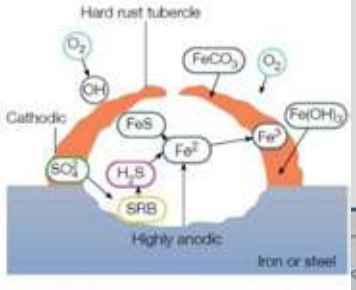


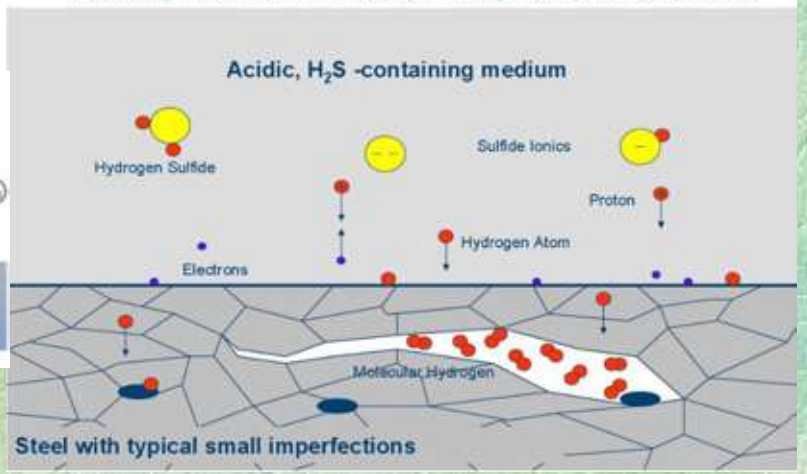
SOHIC



Cracking mechanism in the steel during H2S corrosion process







Inhibitoros védelmi technológia tervezés

- ***Korrózióvédelem szükségességének mérlegelése***
- ***Élettartam, várható védelmi költségek összevetése***
- ***Alkalmazható vegyszerek hatásmechanizmusa***
- ***Alkalmazható vegyszeres védelmi módszerek követelményei***

Alkalmazható inhibitoros védelmi eljárások

- ***Folyamatos inhibitor adagolás***
  - ***Kutak termelőcsövébe***
  - ***Kútfejre bekötővezeték védelmére***
- ***Bach és sokk kezelések***
  - ***Kutak termelő és bekötő vezetékeinek védelmére***
  - ***MIC korrózió megelőzésére (kombinálva folyamatos adagolással)***

Olajbányászatra specifikus technológiák

- *Termelő rétegbe sajtolt inhibitorok alkalmazása (Squeeze technológia)*
- *Szilárd inhibitorokkal kutak talpi kezelése*
- *Csőgörény, csőmalac közötti dugós kezelések bekötő és szállító vezetékek védelme*
- *Gél dugós inhibitor felhordás gerincvezetékekre, termelvény szállító vezetékekre*

Védelmi technológia tervezés

- *Laboratóriumi vegyszer kiválasztás*
- *Összeférhetőségi vizsgálatok*
  - *Habzás*
  - *Emulzió képzés*
  - *Oldat stabilitás*
- *Adagolási dózis meghatározása*
  - *Számítási eljárások*

Adagolási dózis kiszámítása

Adagolás vízrendszerre

1ppm = 1 g hatóanyag van 10000000 g összanyagban (tehát 1000 kg-ban), azaz 1 mg hatóanyag van 1kg összanyagban, (víz esetén ez lehet 1 mg hatóanyag 1 liter vízben).

Ha azemulzió bontó vagy inhibitor sűrűségével nem számolunk, és az emulziós olaj, gazolin sűrűségét is elhanyagoljuk, vagy a számolás könnyebbsége miatt (1kg/dm^3)-nek vesszük, akkor 1 ppm bontó 1 liter emulzióban 0,00 1ml, azaz 1µl illetve 1 ppm inhibitor 1 liter vízben, vagy vizes emulzióban 0,001 ml azaz 1 µl! Töltsd ki a világoskék mezőket. Ha a sűrűséget nem ismered, írj be 1,0 kg/dm^3-t. Ki kell tölteni a javasolt adagolási mennyiséget ppm-ben. (itt mg/l) a kezelendő napi víz, vagy emulzió mennyiségét m^3-ben, és az alkalmazott törzsoldat koncentrációját V/V %-ban.

Ha a vegyszer sűrűségét ismered és számolsz vele, itt megadható!

ρ 1 kg/l = 1 g/ ml = 1 mg/µl

Ide add meg a sűrűség értékét!

ρ (mg/µl) 1,1207

ppm(V)= µl/dm^3

Javasolt adagolási dózis: 7,0 mg/dm^3 ::: µl/dm^3 6,2 ppm

Add meg az adatokat!

Adagolandó inhibitor / emulzióbontó koncentráció:	Inhibitor / emulzió bontó	Inhibitor / emulzió bontó törzsoldat koncentrá-ciója	Napi kezelendő közeg (víz vagy emulzió)
	mg/dm^3	v/v%	Folyadék: m^3/nap
IDE :	7	10	35,6

Napi adagolás

Adagolandó tömény vegyszer l/nap	Adagolandó oldat ml/perc
[dm^3/nap]	[ml/perc]
0,222	1,54

Ha számít a sűrűség, használd a ρ értékét!

Napi oldat felhasználás: 2,2 l/nap

Becsült éves vegyszer mennyiség: 91 kg

Adagolási dózis kiszámítása *folyt*



Inhibitor adagolás gázkútra

Adagolási dózis kiszámítása folyt

mennyiség	1076040	m^3/nap	Ne írj ide!								Inhibitor neve:								
mennyiség	80,82	m^3/nap																	
mennyiség	300	m^3/nap																	
dózis	17,6	ppm	17,248	kg/MNm^3	17,248	g/eNm^3	17,6	dm^3/MNm^3			Angolszász átváltó:								
sűrűség	0,98			kg/dm^3	kg/l	g/ml	mg/µl												
Gáz											Add meg:								
D_k	(mm)	250		0,0430							380	bbl	60,4152	m^3	60415,174000	dm^3			
s_1	(mm)	8									1	scf	0,02832	m^3	28,316847	dm^3			
Q	(m^3/d)	1076040	$Q_{gáz}$ normál körülmények között								38	MMSCF	1076040	m^3					
p	(bar)	162,3		Ha angolszász mértékegységekben kaptad az adatokat számold át SI-re							38	MMSCF	1,07605	MNm^3					
t	(°C)	95		A számolások segítségével ki tudod számítani a várható inhibitor koncentrációkat															
$v_{gáz}$	(m/s)	2,405									20	bbl/MMSCF	112,291	m^3/NMm^3					
	(km/h)	8,659		Szénhidrogén oldható inhibitornál add meg az átoldóás mértékét %-ban.							5	USG	18,9271	dm^3	Tényleges inhibitor dózis				
Folyadék											5	USG/MMSCF	668,399	dm^3/NMm^3					
D_k	(mm)	250										inhibitor dózis	17,59	dm^3/NMm^3	dMMSC(Napi gáz)		38	MMSCF/d	
s_1	(mm)	8																	
Q	(m^3/d)	380,82									2350	Psi(g)	162,03	bar					
											203	°F	95,00	°C					
$v_{folyadék}$	(m/s)	0,102																	
	(km/h)	0,369																	
Inhibitor	kg/nap	18,56	l/nap	18,94	USG/d	5,00													
Maximális inhibitor mennyisége a gázban (kútfejen, nincs folyadék kivá							17,59	ppm	dm^3/MNm^3	Ide írj ide!									
Maximális inhibitor mennyisége a folyadékban teljes átoldódás esetén							48,71	ppm	mg/l										
Maximális inhibitor koncentráció a vízbe				60	%-os átoldódás esetı		38,63	ppm	mg/l										

Inhibitor adagolás gázkutakba

Adagolási dózis kiszámítása folyt

BATCH

Vezeték mérete	**114,3*14**		**Add meg a vezeték méreteit**			**Dk, s**		**mm**
			Add meg a tervezett film vastagságot				**≤ 50**	**µm**
			Add meg a kezelendőp vezeték hosszát				**L**	**m**
D_k	**114,3**	**mm**						
s	**14**	**mm**						
D_b	86,3	mm	dm^2	cm^2				
T	5846,43665	mm^2	0,584644	58,46437				
$V_{1\,m}$	5,84643665	dm^3	**dm**	cm	(L)			
K	270,982	mm	2,70982	27,0982				
Inhibitor film vastagsága	25	**µm**			0,025			
			dm^3	cm^3				
$V_{inh\,1\,m}$	6774,55	mm^3	0,006775	6,77455				
L Vezeték hossz	5000	m						
Szükséges tömény inhibitor	33,9	dm^3						
Higítás	10	%						
Szükséges inhibitor oldat	339	dm^3						
Besajtolandó oldat	406	dm^3						
Elhelyező folyadék, ha kell	440	dm^3						

Adagolási dózis kiszámítása folyt

SQUEEZE

Vezeték mérete	2 7/8		Add meg a vezeték méreteit	Dk, s		mm
			Add meg a tervezett film vastagságot		≤ 50	µm
			Add meg a kezelendőp vezeték hossz	L		m
			Add meg a besajtolandó inhibitor mennyiségé			dm³

D_k	73	mm				
s	5,51	mm				
D_b	61,98	mm	dm²	cm²		
T	3015,5935	mm²	0,30156	30,1559		
V_{1m}	3,0	dm³	dm	cm	(L)	
K	194,6172	mm	1,94617	19,4617		
					mm	
Inhibitor film vastagsága	30	µm			0,03	
			dm³	cm³		
$V_{inh\ 1m}$	5838,516	mm³	0,00584	5,83852		
L Vezeték hossz	3600	m				
			m³			
V vezeték	10856,1	dm3	10,86			
Szükséges tömény inhibitor	21,0	dm³				
Higítás	10	%				
Szükséges inhibitor oldat	210	dm³				
Besajtolandó oldat	252	dm³				
			m³			
Squeeze adag	800	dm³	0,8			
			m³			
Inhibitor oldat	8000	dm³	8			
			m³			
Besajtolandó inhibitor oldat	8252	dm³	8,3			
			m³			
Elhejező folyadék	13027	dm³	13,0			
Nedvesített rétegtérfogat	85	m³				
Gázzal történő elhelyezéskor						
Besajtoló gáz minimális térfogata	946	m³				
Besajtoló gáz optimális térfogata	34064	m³				

Termelő rétegbe történő inhibitor besajtolással a védelem több évre biztosítható

A termelő rétegből deszorpció útján felszabaduló inhibitor folyamatos védelmet eredményez

Káresetek

1#



Széndioxid okozta korrózió kénhidrogén jelenlétében.



Foltokban kialakult lerakódás alatti korrózió.

Káresetek

2a#

A rugó-acélon kialakult kráteres korrózió korróziós kifáradást okozott.



Rugótörés korróziós kifáradás miatt egy iszapszivattyúban.

Káresetek

2b#

Szakirodalmi adatok, és a tapasztalatok szerint a kifáradás okozta rugótörések mindig a rugó belső (rugó tengelye felé eső) oldaláról indulnak ki.



Káresetek

3#



Eróziós korrózió.



Elvékonyodott kút bekötővezeték ívének felhasadása.

A cső felületi képe CO_2-os korróziót mutat

Káresetek

4#


Béléscső
ridegtörése.
H_2S okozta ridegedés
Kagylós
töretkép

Káresetek

5#



A cső mindkét oldalán intenzív korrózió.

Termelőkúton a CO_2 hatása.



CO_2 korrózió a kondenzációs zónában.

Elégtelen inhibitorozás miatt kialakult helyi intenzív korróziós anyagfogyás.

Káresetek

6#


Rétegvíz szállító vezeték, lerakódás alatti korróziója.
Rétegvízvezeték „6 óra” irányában.
Klorid és oxigén korrózió.
Rétegvízvezeték „12 óra” irányában.
Gázvezeték, CO_2 korrózió.

Káresetek

7#


Technológiai tévedés : a megengedett
nyomásnál nagyobb terhelésnél
a vezeték felhasadt.

Káresetek

8#





A széndioxid eltérő „korróziós képe" a termelő technológiákon.

Káresetek

9#

Termelőcső meghibásodás
helytelen méretű karmantyúk és csövek csatlakoztatása miatt.





Az anyagkifáradásában a korrózionak „csak” másodlagos szerepe volt.

Káresetek

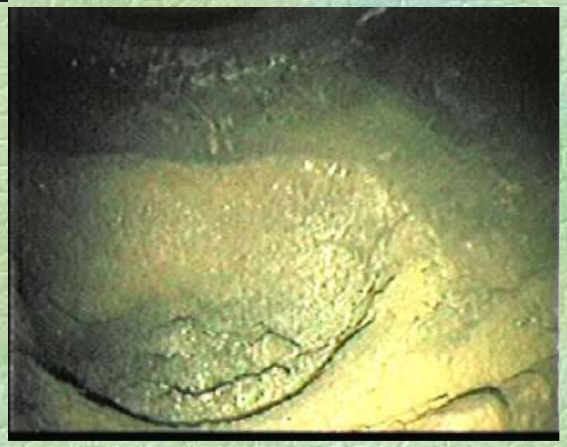
10#



Szigetelő karima meghibásodása konstrukciós hiba következtében.



A magas víztartalmú termelvény jó elektromos vezetőnek bizonyult.



A közdarab átlyukadásához az eróziós korrózió vezetett.

Káresetek

11#

Kóbor-áram korrózió, a szigetelt vezetéken.

A gázvezeték átlyukadt, és az erózió elhordta a cső anyagát.

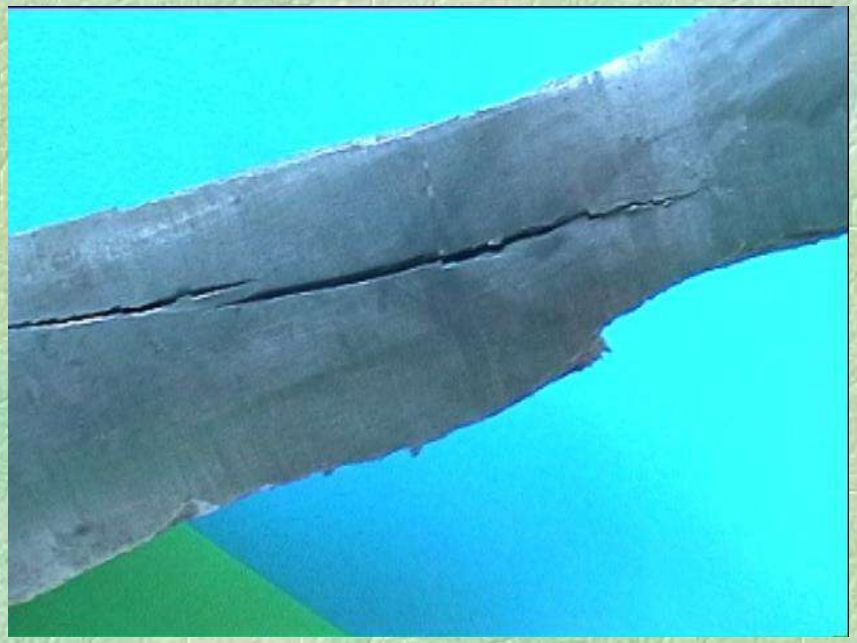


A tartós magas talajvízszint megnövelte a talaj áramvezetését.

Káresetek

12a#

A korróziós kifáradás ridegtörést okozott:



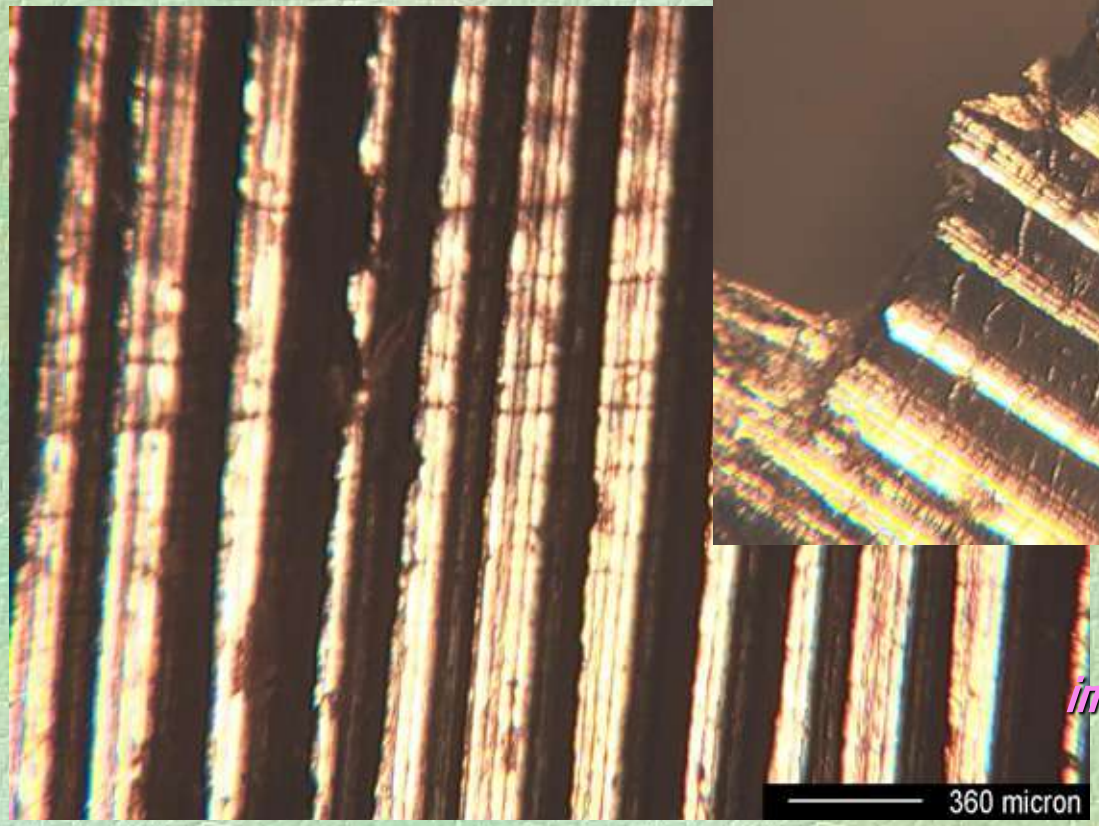


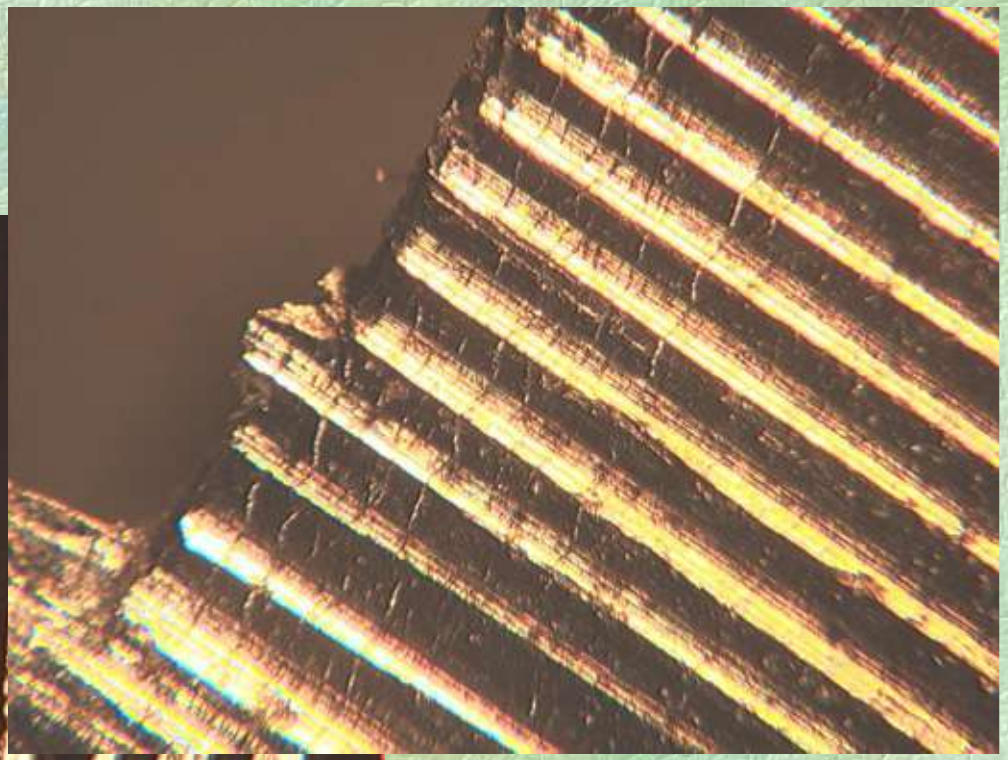
Helytelen anyagkiválasztás, tervezési és kivitelezési valamint üzemeltetési hiba!

Káresetek

12b#

Mikrorepedezett durván megmunkált felület.





A repedések a csúcsokon indulnak és mélyen az anyagba hatolnak.

Káresetek

13#



Erózió a kitörésgátlón





Káresetek

14#



Káresetek

15#



MAGYAR MÉRNÖK KAMARA

VEGYÉSZMÉRNÖK TAGOZAT

ÁLTALÁNOS VEGYÉSZMÉRNÖKI ISMERETEK

VEGYIPARI MŰVELETEK ÉS TRANSZPORT FOLYAMATOK

Felkészülő Vizsgaanyag Tervezői Jogosultság Megszerzéséhez

Készítette:

Dr. Pethő Dóra

Dr. Kristóf Tamás

Ellenőrizte:

Dr. Chován Tibor

Veszprém, 2022

Tartalom

1. Általános és fizikai kémiai ismeretek 3

1.1. Fizikai kémiai (termodinamikai) alapok 6

1.2. Fázisegyensúlyok 8

1.3. Kémiai és elektrokémiai egyensúlyok, reakciósebesség 11

2. Vegyipari műveletek 14

2.1. Abszorpció 14

2.2. Desztilláció, rektifikálás 17

2.3. Adszorpció 21

2.4. Kristályosítás 24

2.5. Extrakció 27

2.6. Membránszeparáció 29

2.7. Szárítás 32

3. Transzportfolyamatok 36

3.1. Transzportfolyamatok alapjai 36

3.1.1. Extenzív és intenzív állapotjelzők 36

3.1.2. Extenzív mennyiség sűrűsége 37

3.1.3. Áram, áramsűrűség 37

3.1.4. Extenzív mennyiség mozgásának okai 38

3.2. Lamináris és turbulens áramlás 39

3.3. Tartózkodási idő 40

Irodalomjegyzék és ajánlott irodalom 41

1. Általános és fizikai kémiai ismeretek

Jól ismert, hogy az anyagok lehetnek gőz, folyadék és szilárd halmazállapotban is. Amikor egy anyagi rendszer egyszerre, egymás mellett több halmazállapotban is előfordul, a gőz halmazállapotú anyagi rendszert gyakran röviden gőzfázisnak, a folyadék halmazállapotút folyadékfázisnak, a szilárd halmazállapotút pedig szilárd fázisnak nevezzük. A fázis egyik fontos jellemzője a sűrűsége, amely a fázis anyagának tömegét a fázis térfogatára vonatkoztatja. Ez a kémikus szemszögéből a koncentrációval rokon tulajdonság. A koncentráció a rendszer anyagi összetételének kifejezése: szűkebb értelemben megadja egy kémiailag különböző anyagokból álló anyagi rendszer (elegy, keverék, oldat) egyik kémiai összetevőjének, vagy komponensének a rendszer térfogatára vonatkoztatott anyagmennyiségét (mértékegysége lehet pl. mol/dm^3, $kmol/m^3$). Az anyagmennyiséget tömegegységben (kg, g), mólszámban (mol), vagy molekulák számában, stb. adjuk meg. A koncentrációt általánosabb értelemben tekintve, a térfogatosztót helyettesíthetjük egy vele arányos mennyiséggel is. Például, definíció szerint, a komponensmólszámot az összes mólszámmal osztva megkapjuk a móltörtet, amelynek az i komponensre megadható leggyakoribb jelölése x_i.

Vizes oldatok kémhatását (savasságát vagy lúgosságát) jellemző dimenzió nélküli mennyiség a pH, amelynek definíciója szintén egyfajta speciális anyagi összetételt fejez ki, kiindulva egy moláris koncentrációadatból (mol oldott anyag per oldattérfogat, jele gyakran c). Híg vizes oldatban a pH közelítőleg a moláris hidrogénion- vagy hidroxóniumion-koncentráció számértéke tízes alapú logaritmusának mínusz egyszerese ($-\lg c_{H^+}$). A pH jelenlegi egzakt definíciója a moláris koncentráció helyett az oldat hidrogénion- vagy hidroxóniumion-aktivitását veszi alapul (az aktivitás a moláris koncentráció számértékéből az oldatok nemideális viselkedését figyelembe vevő korrekciós tényező, az aktivitási tényező felhasználásával képezhető, jele a).

A tiszta fázisokat alkotó anyagok fizikai sajátságait hőtechnikai és volumetrikus tulajdonságokkal jellemezzük. A moláris hőkapacitás pl. általánosan az a hőmennyiség, amely hőközléskor 1 mol anyag hőmérsékletét 1°C-kal növeli meg. A fajlagos hőkapacitás hasonló, csak a moláris anyagmennyiség helyett tömegegységre vonatkoztat. A hőtágulási tényező állandó nyomású anyag térfogatváltozási képességét adja meg egységnyi hőmérséklet-változtatás hatására. A kompresszibilitási tényező az anyag összenyomhatóságára szolgáltat adatot: állandó hőmérsékleten meghatározva megmondja, hogy egységnyi nyomásváltoztatás az anyag milyen mértékű térfogatváltozásával jár.

A gázok tulajdonságainak leírásához egyértelmű referenciapontként az ideális vagy tökéletes gáz fogalmát definiálták. Ideális gázként viselkednek azok a gázhalmazállapotú anyagok, amelyek nyomása elegendően kicsi és hőmérséklete elegendően nagy. Ezt a bizonytalan gyakorlati meghatározást persze pontosíthatjuk: olyan gázról van szó, amelyből ha rögzített n mol anyagmennyiséget veszünk állandó T hőmérsékleten, akkor p nyomásának és V térfogatának szorzata a $p \to 0$ határesetben állandóhoz tart. Az atomok/molekulák szintjén ez egyrészt azt jelenti, hogy az ideális gáz molekuláinak saját térfogata elhanyagolhatóan kicsi magának a gáznak a térfogatához képest, másképpen fogalmazva, ezek a molekulák anyagi tömegpontoknak tekinthetők. Másrészt az ideális gázban a molekulák között nincsenek vonzó vagy taszító kölcsönhatások, amelyek a gáz anyagi minőségétől függő mértékben befolyásolhatnák a gáz viselkedését. A tiszta ideális gázra vonatkozó klasszikus gáztörvény a fenti jelölésekkel a következő: $pV=nRT$, ahol R az univerzális (egyetemes) gázállandó, amelynek értéke 8,314 J/(mol·K), ha a változók SI mértékegységben vannak. A gáztörvény értelmében többkomponensű ideális gázelegyek komponenseinek hozzájárulása a gáz nyomásához (p_i parciális nyomás) vagy térfogatához (V_i parciális térfogat) kizárólag a mólarányok figyelembevételével egyszerűen kiszámolható: $p_i=p \cdot x_i$ (Dalton-törvény) és $V_i=V \cdot x_i$ (Amagat-törvény). Mivel a többkomponensű elegy móltörtjeinek összege 1, ezért a parciális nyomások vagy a parciális térfogatok ki kell, hogy adják az elegy teljes p nyomását vagy teljes V térfogatát. A valós gázhalmazállapotú anyagok viselkedése bizonyos mértékig mindig eltér a tökéletes gáz viselkedésétől, mivel molekuláik vonzó és taszító erőkkel hatnak egymásra (ide értve a molekulák saját méretéhez kapcsolódó taszításokat, térfogatkizárási effektusokat is). Ezt a nemideális viselkedést az ideális gáztörvény különböző módosításaival létrehozott, a p-V-T tulajdonságok pontosabb kapcsolatát kifejező állapotegyenletek veszik figyelembe (pl. van der Waals-egyenlet, viriál-egyenlet, Peng-Robinson-egyenlet). A reális gáz állapotegyenletei persze az ideális gáztörvény egyszerű korrekcióinál bonyolultabb alakúak is lehetnek; igen nagy pontosságú, sokparaméteres, igényes technológiai tervezésre alkalmas állapotegyenletek is léteznek, amelyek akár az adott anyag folyadékfázisának p-V-T tulajdonságait is bizonyos mértékig jól leírják. Megjegyzendő azonban, hogy a nemideális viselkedés folyadékokra és szilárd anyagokra sokszor az ideális gáztörvénytől való eltérésnél tágabb értelemben értendő, és ezekre az ideális referenciaállapot gyakran mást jelent (pl. tiszta folyadék, ideális oldat, ideális kristály).

Ideális gázzal pl. az ún. Joule-Thomson-effektus (amelyen pl. a levegőcseppfolyósítás technológiája alapul) nem játszódik le. A Joule-Thomson-effektus lényege, hogy ha egy környezetétől elszigetelt rendszerben egy fluidumot porózus hőszigetelő anyagból készült

fojtáson keresztül engedünk kiterjedni, a tapasztalat szerint a fluidum hőmérséklete megváltozik (az anyag többnyire lehűl). A jelenség éppen annak a ténynek a következménye, hogy az adott anyag nem tökéletes gáz. A fluidum kiterjedése során ugyanis a nyomás- és térfogatváltozás a fluidummolekulák közötti átlagos távolság és ezáltal a köztük levő kölcsönhatás átlagos erősségének megváltozását, így az anyag belső energiájának megváltozását eredményezi. Ez a kialakított (elméletileg tökéletesen, a gyakorlatban közelítőleg) hőszigetelt rendszerben hőmérsékletváltozást okoz. Ideális gázban azonban a molekulák között definíció szerint nincs kölcsönhatás, tehát ezek változni sem tudnak, így az ideális gáz hőmérséklete eredeti értékén marad.

A különböző anyagok kémia átalakulása a kémiai reakció, amelyben kémiai elemekből vegyületek képződnek, vegyületek alkotóikra bomlanak, vagy többféle vegyületből újfajta vegyületek képződnek. A kémiai reakciók során lezajló kémiai összetételváltozásokat reakcióegyenletekkel, az átalakulás során a kémiai elemek megmaradását feltételező, ún. sztöchiometriai egyenletekkel írjuk le. A kémiai reakciókban töltött részecskék, ionok is részt vehetnek. Pozitív ion a megfelelő semleges részecskéből oxidációval, semleges részecske a megfelelő pozitív ionból redukcióval keletkezik. Általánosabban, atomok, molekulák, ionok töltésének pozitív irányba való változása oxidáció, ami elektronleadást jelent, negatív irányba való változása redukció, ami elektronfelvételt jelent. Ionos reakciók rendezésekor a kémiai elemek megmaradásának feltétele a töltésmegmaradás általános alapelvével is kiegészül.

A kémiai reakció egyik legfontosabb termodinamikai jellemzője a reakciót kísérő hőforgalom, vagy reakcióhő. Exoterm az a reakció, amelyben hő szabadul fel, endoterm pedig az, amelyben hő nyelődik el. Egy vegyület képződéshője annak a kémiai reakciónak a reakcióhője, amellyel az adott vegyületet standard állapotú kémiai elemeiből állítjuk elő. Az elemek képződéshője megállapodás szerint zérus. A reakcióhők kapcsolatára vonatkozó Hess-tétel kimondja, hogy ha valamely reakció sztöchiometriai egyenlete előállítható több részreakció sztöchiometriai egyenletének lineáris algebrai kombinációjával (egyenletek vagy azok többszöröseinek összeadása egymással, egymásból kivonása), akkor az eredő reakcióhő is előállítható a részreakciók reakcióhőiből, mégpedig ugyanazokkal a lineáris algebrai lépésekkel, amelyeket a sztöchiometriai egyenletekkel tettünk. A reakcióhő és a képződéshő szokásos mértékegysége pl. kJ/mol, MJ/kmol.

1.1. Fizikai kémiai (termodinamikai) alapok

A klasszikus termodinamika az anyag makroszkópos sajátságaival foglalkozik. Összefüggéseit két tapasztalati tételből (főtételből) vezeti le. Ezek olyan nem bizonyítható állítások, amelyekkel szembemenő megalapozott tapasztalattal nem rendelkezünk. A klasszikus termodinamika I. főtétele szűkebb értelemben az energia megmaradását, általános értelemben az energia, az anyag és az impulzus (ezzel áttételesen a térfogat) megmaradását mondja ki. A kémiai termodinamika I. főtétele közkeletű megfogalmazásaiban az energiamegmaradás elvét fejezi ki, amely szerint a természetben lejátszódó folyamatokban a legfeljebb a kémiai energiák nagyságrendjében forgalomba kerülő energiák adott esetben átalakulnak más energiafajtákká, de összértékük nem változik. A termodinamika egyik kulcsmennyisége a vizsgált termodinamikai rendszer belső energiája, amely állapotfüggvény, és a teljes rendszer mozgási és helyzeti energiáján kívül minden, az alkotó részecskéktől származó energiaösszetevőt tartalmaz. Az I. főtétel legismertebb kijelentései a belső energiával a következők: (1) Egy rendszer belső energiája növelhető a rendszeren végzett munka és a rendszernek átadott hő útján. (2) Izolált (környezetétől elszigetelt) rendszer belső energiája állandó. (3) Körfolyamatban a belső energia teljes megváltozása zérus.

A termodinamikában a vizsgált rendszert legtöbbször olyan makroszkópos tulajdonságokkal, ún. termodinamikai állapotfüggvényekkel jellemezzük, amelyek egyértelmű függvényei a rendszer állapotának. Tehát ha a rendszer az egyik állapotából egy másikba jut, akkor az állapotfüggvények megváltozása csak a kiindulási és a végső állapottól függ, és nem függ attól, hogy a változás milyen úton ment végbe. A termodinamikai állapotfüggvény tipikus példája a belső energia. Ezzel szemben az I. főtétel kijelentéseiben emlegetett munkavégzés és a hőforgalom általános esetben útfüggvény, tehát értékük függ attól a számtalan lehetséges termodinamikai úttól, melyeken keresztül a rendszer az adott állapotba jutott. Fontos kitétel vonatkozik az állapotváltozásokhoz tartozó állapotfüggvény jellegű energiaváltozások értékének megállapítására (de egyéb állapotfüggvények változásának megállapítására is): a megállapodás szerint mindig az állapotváltozás végállapotának jellemző értékéből vonjuk ki az állapotváltozás kezdeti állapotának jellemző értékét, és nem fordítva. Ezt a szabályt időnként nevezik delta-konvenciónak is. Az energiaváltozások előjelét mindig a vizsgált termodinamikai rendszer szempontjából állapítjuk meg, így pozitív az a változás, amely a rendszer energiáját növeli és negatív az, amely csökkenti.

Az állapotokat jellemző (röviden állapotjelző) tulajdonságok két gyökeresen eltérő csoportra bonthatók. Azokat az állapotjelző tulajdonságokat, amelyek függenek a rendszer tömegétől,

extenzív állapotjelzőknek nevezzük. Ha pl. egy rendszerből kétszer, háromszor akkorát veszünk, ahhoz pl. a belső energiának, a térfogatnak vagy a természetesen tömegben is megadható anyagmennyiségnek kétszer, háromszor akkora értéke tartozik. Ez egyúttal additivitásukat is jelenti. Azokat az állapotjelző tulajdonságokat, amelyek függetlenek a rendszer tömegétől, intenzív állapotjelzőknek nevezzük. Ilyenek a nyomás, a hőmérséklet, a kémiai potenciál, a felületi feszültség vagy az elektromos potenciál.

A termodinamikai rendszer lehetséges állapotai közül kitüntetett szerepe van az egyensúlyi állapotnak. Egy rendszer termodinamikai egyensúlyban van, ha intenzív állapotjelzői függetlenek az időtől, és környezetével nem cserél sem anyagot, sem energiát. Az egyensúlynak függetlennek kell lennie a rendszer pozíciójától is a térben, és az olyan tulajdonságok, mint a hőmérséklet vagy a kémiai potenciál az egyensúlyi rendszer belsejében mindenütt ugyanolyan értékűek. Ha csak az időfüggetlenség feltétele teljesül, akkor a rendszert stacionárius állapotban lévőnek nevezzük.

A klasszikus kémiai termodinamika II. főtétele az energiaelértéktelenedés vagy energiaszétszóródás elvét fejezi ki. Eszerint minden energiafajta teljes egészében termikus energiává alakítható, de a termikus energia nem alakítható teljes egészében pl. munkává. A valóságos folyamatok mindig a termikus energia javára játszódnak le. Tehát ha egy energiafajtát átalakítunk egy másik energiafajtává, akkor az átalakítást termikus energia keletkezése is kíséri, más szóval az átalakítás veszteséggel jár. Ez a veszteség, akkor a legkisebb, ha az átalakítás reverzibilis úton történik. A reverzibilitás itt azt jelenti, hogy a folyamat során bármely pillanatban bármilyen kis ellenhatással (ellenerővel) a folyamatot ellenkező irányba tudnánk fordítani. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a folyamat során a rendszer végig egyensúlyi állapotban van. A természetben önként (spontán módon) lejátszódó valóságos folyamatok azonban mindig irreverzibilisek (mechanikai munkavégzés során súrlódási veszteség lép fel, környezeténél melegebb test lehűl, eltérő koncentrációk kiegyenlítődnek, elektromos vezetőben az elektromos áram egy része hővé alakul). Ezekre a folyamatokra legfeljebb azt jelenthetjük ki, hogy a spontán változás a rendszert az egyensúlyi állapota felé hajtja.

A termodinamika II. főtétele szerint továbbá minden homogén fázisra létezik egy extenzív tulajdonság, amelynek változása mutatja a spontán folyamatok irányát, és ezt a tulajdonságot entrópiának nevezzük. A rendszer entrópiája definíciójából következően függvénye a belső energiának, a térfogatnak, az anyagmennyiségeknek, stb. A II. főtételből és a természetben lejátszódó spontán folyamatok jellegéből következik, hogy minden ilyen folyamatban a rendszer és környezetének együttes entrópiája növekszik, és amikor a folyamat az egyensúly

elérésével befejeződik, a rendszer entrópiája az elérhető legnagyobb értékű lesz (az entrópiamaximum elve). Az entrópia definíciójából a jól ismert energiaminimum-elv is következik: környezetétől elszigetelt (izolált) rendszer belső energiája a rendszer egyensúlyi állapotában minimumot vesz fel. Az energiaminimum elve a környezetének hatásaitól nem teljesen elszigetelt rendszerekre is megfogalmazható, csak más-más állapotfüggvény jellegű energiafüggvényekkel (pl. entalpia, szabadenergia, szabadentalpia).

Ha két, hőáteresztő (diaterm) falon keresztül érintkező, de egyéb módon környezetétől elszigetelt anyagi rendszer eltérő hőmérsékletű, akkor közöttük a tapasztalat szerint hőcsere játszódik le: a nagyobb hőmérsékletű (al)rendszer spontán módon hőt ad át a kisebb hőmérsékletű (al)rendszernek. Ez a folyamat a II. főtétel értelmében addig tart, amíg a két rendszer egymással termikus egyensúlyba nem kerül. Ilyenkor a hőmérsékleteik azonossá válnak, és az előzőekből következően a két rendszer között makroszkópos szinten megszűnik a hőátadás. Hasonló folyamat következik be két, hőáteresztő és elmozdítható (flexibilis) falon keresztül érintkező, de egyéb módon környezetétől elszigetelt anyagi rendszer esetén. Ha kezdetben nyomásaik eltérőek, akkor térfogataik egymás rovására addig változnak, amíg nyomásaik azonossá nem válnak. Ha az előző, elmozdítható fal helyet anyagáteresztő falunk van, az alrendszerek között anyagcsere zajlik, egészen addig, amíg a rendszerhatáron átlépő anyagokra azonos nem lesz a kémiai potenciál a két rendszerben. Amennyiben ezen egyensúlyi fogalmakat együtt kezeljük, el is jutunk a fázisegyensúlyok kérdéséhez. Két, ugyanazon kémiai komponens(ek)ből álló, de különböző halmazállapotú, egymással szabadon érintkező makroszkopikus fázis egymással termodinamikai egyensúlyban van, ha a két fázis hőmérséklete, nyomása és a(z) (egyes) kémiai potenciál(ok) a két fázisban rendre azonos(ak). Ez a fázisegyensúly általános feltételrendszere.

1.2. Fázisegyensúlyok

Tiszta, egykomponensű anyagi rendszer fázisainak egymásba való átalakulásakor a fenti intenzív tulajdonságok (hőmérséklet, nyomás, kémia potenciál) a teljes átalakulás alatt állandó értéken maradnak, miközben az anyag olyan extenzív tulajdonságainak, mint a térfogat, az entalpia, az entrópia, vagy a belső energia, ugrásszerű változása következik be (ez a megállapítás szigorúan csak az ún. elsőrendű fázisátalakulásra igaz, de a továbbiakban csak ezzel a leggyakoribb esettel foglalkozunk). Az entrópia és az entalpia növekszik az olyan fázisátalakulások során, ahol rendezettebb fázisból rendezetlenebb fázis jön létre (szilárdból folyadék vagy gőz, folyadékból gőz), mivel a rendezetlenebb fázisok nagyobb entrópiájúak,

illetve az ezekbe való átalakítás hőenergia befektetését igényli. Egykomponensű anyagi rendszer fázisátalakulásakor az egyik jellemző fázisegyensúlyi mennyiség a fázisátalakulási hő. Ez az adott tiszta anyag egységnyi mennyiségének (pl. 1 mol vagy 1 kg) fázisátalakulása során felszabaduló vagy befektetett hőmennyiség. Mivel az elsőrendű fázisátalakulás állandó hőmérséklet mellett állandó nyomáson játszódik le, a fázisátalakulási hő a fázisátalakulás entalpiaváltozásával egyenlő. Belátható ugyanis, hogy állandó nyomáson a hőforgalom entalpiaváltozással helyettesíthető, és mivel az entalpia termodinamikai állapotfüggvény, ennek a helyettesítésnek esetenként előnye, hogy így a hőforgalom értéke megadható kizárólag a folyamat végállapotának és kezdeti állapotának entalpiakülönbségével. Az egykomponensű folyadék→gőz és szilárd→gőz fázisátalakulások az anyag nagy térfogatnövekedésével járnak együtt, míg a szilárd→folyadék fázisátalakulások jóval kisebbel, de a térfogatváltozás általában itt is pozitív. Az elenyésző kivételek közé tartozik a víz viselkedése olvadáskor, amikor a moláris vagy fajlagos térfogat csökken. Állandó hőmérséklet és nyomás mellett adott mennyiségű (víz)jég elolvadásakor az anyagban hő nyelődik el, de csökken az anyag térfogata, mivel a víz sűrűsége speciális hőmérsékletfüggést mutat: légköri nyomáson a 4°C hőmérsékletű víznek van a legnagyobb sűrűsége. Az egykomponensű fázisátalakulások extenzív mennyiségeinek jellemzése mellett érdemes megemlíteni, hogy e fázisátalakulások intenzív tulajdonságai egymás függvényében jellegzetesen változnak. Ezekből a legismertebb és legfontosabb a fázisegyensúly nyomásának hőmérsékletfüggése: szilárd anyag vagy folyadék p^* egyensúlyi gőznyomása (gőztenziója) exponenciálisan nő a hőmérséklet növekedésével, és ugyanúgy exponenciális jellegű a szilárd-folyadék fázisátalakulási nyomás hőmérsékletfüggése is. Az egykomponensű gőz-folyadék egyensúly sajátossága, hogy létezik ún. kritikus pontja: az e pont hőmérsékleténél nagyobb hőmérsékleten vagy nyomásánál nagyobb nyomáson az adott anyagnak csak gázfázisa létezik, vagyis az anyag nem tud kialakítani gőz és folyadék halmazállapotú fázisokból álló fázisegyensúlyt.

Többkomponensű anyagi rendszerek rendkívül gazdag fázisegyensúlyi viselkedést mutatnak. A fázisegyensúlyi feltételrendszer mellett leírásuknak tekintetbe kell vennie az elegyedési folyamatok sajátosságait is. Két vagy több komponens elegyedése során a kiindulási anyagok térfogata, entrópiája vagy entalpiája összegéhez képest változás állhat be az elegytérfogatban, -entrópiában, vagy -entalpiában. Állandó hőmérsékleten és nyomáson az elegyedés, mint spontán folyamat entrópiaváltozása kötelezően pozitív (ld. II. főtétel). Ugyanilyen körülmények között az elegyedési térfogatváltozás és az elegyedési entalpiaváltozás (ld. elegyedési hő) lehet pozitív és negatív, illetve zérus is. Ez utóbbi eset ún. ideális elegyedéskor következik be. Ilyenkor az eltérő típusú molekulák mérete azonos, és a közöttük kialakuló

vegyes kölcsönhatások nem lesznek sem erősebbek sem gyengébbek, mint az azonos típusú molekulák közötti kölcsönhatások. Ideális elegyedés a valóságban csak közelítőleg valósul meg, de ezt az egyszerűsítő feltevést több jelenség leírásakor használják.

A többkomponensű fázisegyensúlyok közül a gőz-folyadék egyensúlyoknak kiemelt elméleti és gyakorlati jelentősége van. Adott hőmérsékleten egy ideálisnak tekinthető illékony folyadékelegy fölötti ideális gőztérben egy i komponens p_i parciális nyomása egyenlő a komponens folyadékbeli x_i móltörtjének és p_i^* egyensúlyi gőznyomásának szorzatával (Raoult-Dalton törvény: $p_i=p_i^* \cdot x_i$). Ez egyúttal azt jelenti, hogy a folyadékelegy fölött a teljes egyensúlyi gőznyomás (röviden a p teljes nyomás) az alkotó tiszta folyadékkomponensekre vett ezen szorzatok összege lesz. Tehát a folyadékelegyet alkotó komponensek gőztenziói a p teljes nyomástól szükségszerűen eltérőek, amiből az is következik, hogy a folyadékelegy és a vele egyensúlyt tartó gőzelegy összetétele eltér egymástól. Ez a folyadékelegyek komponenseinek desztillációs elválasztásának az alapja. A Raoult-Dalton-törvény egymással nem elegyedő folyadékkomponensek esetén is formálisan használható (minden folyadékmóltört értékét 1-nek véve): a folyadékok feletti gőztér nyomása ekkor az egyedi tiszta komponensek gőztenzióinak összege lesz.

Az azeotrópia jelensége nemideális gőz-folyadék egyensúlyi rendszerekben fordul elő, amikor egy folyadékeleggyel egy vele azonos összetételű gőzelegy tart termodinamikai egyensúlyt (ez csak akkor lehetséges, ha a nemideális korrekciók, vagyis az aktivitási tényezők értékei éppen megfelelően alakulnak). Ez az elválasztási szempontból kedvezőtlen állapot a rendszer nyomásának vagy hőmérsékletének megváltoztatásával, illetve további komponensnek (só, oldószer) a rendszerbe adagolásával bontható meg. Az állapot megfelelő szilárd adszorbens hozzáadásával is megbontható. Ilyenkor az adszorpció jelenségét használják ki. Az adszorpció anyagmegkötést jelent szilárd anyag vagy folyadék felületén, de a felületet pórusos szilárd adszorbensek esetén tágan értelmezik. Az adszorpció folyamatával szemben megkülönböztetjük az abszorpció folyamatát, ahol gázok vagy gőzök molekulái folyadékban vagy szilárd anyagban nyelődnek el, tehát az anyagmegkötés a fázis belsejében valósul meg.

Folyadékban az egyensúlyi gázoldódás vagy abszorpció más megfogalmazásban többkomponensű gáz-folyadék egyensúlyt eredményez. Ekkor a gáztér komponensei kritikus pontjuknál nagyobb hőmérsékletűek, így elvileg nem tudnak folyadékfázist alkotni. Ilyenkor azt mondjuk, hogy a gáztér komponensei az alatta levő folyadékban oldhatók, e komponensek két fázisbeli előfordulásaik között áll fenn az egyensúly, és a folyadék eredeti komponensei nem lesznek feltétlenül jelen a gáztérben. A gáz komponensei a parciális nyomásaiknak megfelelő mértékben oldhatók a folyadékban, és az arányossági tényező a Henry-állandó. A

különböző gázok oldószerre megadott Henry-állandói jelentős hőmérsékletfüggést mutatnak. Megjegyzendő, hogy egykomponensű gáztérre is érvényesek ezek a megfontolások, illetve szubkritikus komponensekre is hasonlóan értelmezhető ez a fázisegyensúly.

Amikor többkomponensű, egymással nem elegyedő két folyadékunk van, és a folyadékfázisok azonos komponensekből állnak, többkomponensű folyadék-folyadék egyensúlyról beszélünk. Az egyensúlyi fázisszétválás itt azért valósulhat meg, mert a komponensek csak korlátozottan tudnak elegyedni egymással, vagyis az adott folyadékelegynek van olyan összetétel-tartománya, ahol nincs elegyedés. A gőz-folyadék egyensúly analógiájára gondolva, ez a fázisegyensúly is kihasználható komponensek elválasztására. Egymással nem elegyedő kétféle folyadékban rendre oldható lehet egy harmadik komponens is (harmadik komponens akkor, ha a két folyadék tiszta anyag). A fázisegyensúly olyan módon áll be, hogy a fázishatárt csak ez a harmadik komponens lépi át, és a komponenegyensúly feltétele csak erre teljesül. A fázisegyensúlyi feltételből következik, hogy állandó hőmérsékleten a rendszerre definiálható az ún. Nernst-féle megoszlási állandó. Az adott komponens ennek az állandónak megfelelően oszlik meg a két folyadék között. Ez azt jelenti, hogy – a két folyadékfázis intenzív érintkeztetése után – kialakuló egyensúlyban az adott komponensnek a két fázisban érvényes aktivitásai hányadosát (közelítőleg koncentrációi hányadosát) a Nernst-állandó rögzíti, függetlenül a komponens bemérési mennyiségétől. Amennyiben az oldatok nemideális viselkedését figyelembe vevő, a koncentrációkat szorzó aktivitási tényezők nem ismertek, a megfelelő koncentrációk hányadosa, a Nernst-féle megoszlási hányados is felhasználható ezen megoszlási egyensúlyon alapuló extrakciós elválasztási feladatok tervezésére.

Az előző többkomponensű fázisegyensúlyok közül azok voltak egyfajta korlátozott fázisegyensúlyok, amelyekben a fázishatárt az anyagmennyiségére nézve többnyire domináns folyadékfázis molekulái nem lépik át. Ennek fordítottja az, amikor nemillékony anyagot tartalmazó oldataink vannak. Ezek termodinamikai jellemzői elsősorban az oldószer minőségétől és az oldott anyag mennyiségétől függenek. Egy ilyen oldat dermedéspontjának hőmérséklete mindig kisebb az eredeti oldószer dermedésponti hőmérsékleténél (azonos külső nyomás mellett), vagy forráspontjának hőmérséklete mindig nagyobb az eredeti oldószer forrásponti hőmérsékleténél (azonos külső nyomás mellett).

1.3. Kémiai és elektrokémiai egyensúlyok, reakciósebesség

A kémiai egyensúly a reaktív elegyekben kialakuló egyensúlyi állapot. Egy kémiai reakció legfontosabb egyensúlyi jellemzője a kémiai egyensúlyi állandó. Adott hőmérsékleten vezetett

reakció kémiai egyensúlyi állandója egész pontosan az egyensúlyi reakcióelegy komponenseinek aktivitásaiból határozható meg. Újra megállapíthatjuk, hogy az aktivitás olyan mérhető adatokkal arányos, mint a komponensek koncentrációi, parciális nyomásai, stb., és sok esetben elegendő közelítőleg ezeket az adatokat használni az állandó kiszámításához. A kémiai egyensúlyi állandót, ún. tömeghatástört-függvényt képezve, ezen adatok megfelelő hatványainak szorzataként kapjuk, ahol a hatványkitevők a kérdéses reakcióegyenlet előjelesen értelmezett sztöchiometriai tényezői (a reakcióegyenletben szereplő vegyületképletek előtti szorzótényezők). Az előjelkonvenció a delta-konvenció logikája szerint a keletkező anyagok sztöchiometriai tényezőit veszi pozitív értékkel, és a kiindulási anyagokét negatívval.

Egy egyensúlyi reakcióelegy komponensösszetételét tervezetten eltolhatjuk a hőmérséklet vagy a nyomás megváltoztatásával, de pl. a termékkomponensek eltávolításával is. Ezek a változtatások a Le Chatelier-Braun-elv alapján működnek, amelynek lényege az, hogy a kémiai egyensúlyi rendszer a külső hatásra a hatás csökkentésével reagál. Az elv tételesen megfogalmazva pl. az jelenti, hogy egy hőelnyelő reakció egyensúlya nagyobb hőmérsékleten, vagy egy nagy mólszámcsökkenéssel járó gázfázisú reakció egyensúlya nagyobb nyomáson a termékképződés irányába tolódik el, illetve egy termékkomponens reakcióelegyből való elvétele a reakció egyensúlyát a termékképződés irányába tolja el. A reakcióelegyhez adagolt olyan anyagot, amely végeredményben nem vesz részt a kémiai reakcióban (inert anyag), de a reakció sebességét adszorpciós vagy egyéb hatások révén meg tudja változtatni, katalizátornak vagy inhibitornak nevezzük. Fontos, hogy ezek az anyagok a kémiai reakciók egyensúlyát nem befolyásolják. A katalizátor a reakció sebességét növeli, az inhibitor pedig csökkenti.

Ha egy kémiai reakciót állandó hőmérsékleten és állandó nyomáson vezetünk, a reakcióhő a reakció standard reakcióentalpia-változásával lesz egyenlő (ld. fent: állandó nyomáson a hőforgalom entalpiaváltozással helyettesíthető). A nevezetes Hess-tétel az entalpiával automatikusan teljesül, hiszen egy termodinamikai állapotfüggvény esetében lényegtelen, hogy adott kiindulási anyagokból milyen köztes lépéseken keresztül jutunk az adott végtermékekig.

A kémiai reakciók egyensúlyi állapotának jellemzői mellett igen fontos a reakció sebessége. Ezt úgy definiáljuk, hogy egy adott reakció minden résztvevő komponensével célszerűen ugyanazt az értéket kapjuk, figyelembe véve az átalakulások mólarányait: a reakciósebesség a reakcióban átalakuló bármely komponensnek az előjelesen értelmezett sztöchiometriai tényezőjével osztott koncentrációja idő szerinti deriváltja. Mértékegysége pl. mol/(dm^{3}s), kmol/(m^{3}h). A tapasztalat szerint ez a sebesség megadható egy koncentrációfüggő és egy hőmérsékletfüggő tényező szorzataként. A fenomenologikus reakciókinetika az egyes reakciók sebességének koncentrációfüggésére szigorúan tapasztalati összefüggést ír elő, amely a

részvevő komponensek valamilyen, adott reakcióra jellemző empirikus hatványértéken vett koncentrációinak szorzataként áll elő (a hatványkitevő egyes komponensekre lehet zérus is, ami azt jelenti, hogy az adott komponens a reakció sebességét nem befolyásolja). A hőmérsékletfüggő tényező nagysága a hőmérséklet növelésével általában nő, ezért adott reakció nagyobb hőmérsékleten általában gyorsul.

Speciális kémiai egyensúlyok az oldatokban létrejövő elektrokémiai egyensúlyok. Az e rendszerekben felírható reakciók a részecskék között elektronátlépéssel (oxidációval és redukcióval) járnak, a résztvevők egy része töltéshordozó részecske. Az elektromos áramot ezekben az oldatokban elsősorban az ionok vezetik. Ha egy ilyen oldatot elektronvezető szilárd fázissal (legtöbbször fémmel) hozunk érintkezésbe, elektródot tudunk kialakítani. Szűkebb értelemben magát az elektrolitoldatba merülő fémet is hívják elektródnak. Az fémelektródon oxidáció és redukció is lejátszódhat, és a forgalomba kerülő elektron a fémes fázisba kiléphet vagy onnan az oldatba léphet. Ha két különböző elektródtér oldatának fizikai keveredését egy elektromos átvezetést biztosító „fal" (általában diafragma) segítségével megakadályozzuk, akkor a két fémet elektromosan vezető huzallal összekötve a fémbe kilépő vagy onnan az oldatba lépő elektronokkal irányított elektronáramlást tudunk előidézni. Ezzel galváncellát hoztunk létre. A galváncellában tehát önként végbemenő kémiai reakció energiáját megfelelő módszerrel elektromos energiává alakítunk (elektromos áramot termelünk). Ezzel szemben elektrolizáló celláról akkor beszélünk, ha külső elektromos energiával a cellában (elektro)kémiai reakció(ka)t idézünk elő. Tisztán galváncella pl. egy nem újratölthető ceruzaelem, elektrolizáló cella pl. egy autóakkumulátor a feltöltésekor.

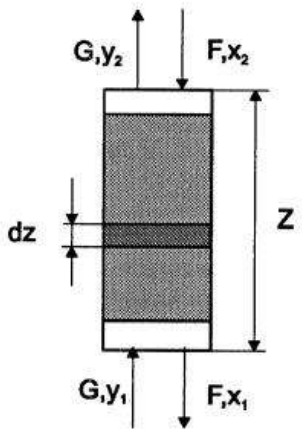
Az elektródok legfontosabb jellemzője az elektródpotenciál. A hagyományos definíció szerint ez egy olyan galváncella cellapotenciáljának nulla áramra extrapolált határértéke (elektromotoros ereje), amelynek egyik elektródja az adott elektród, a másik elektródja egy standard hidrogénelektród, és ez utóbbi potenciálja a definíció szerint zérus. A standard hidrogénelektród referenciaként való használata egyúttal vizes oldatokat feltételez. Az elektródpotenciál két tagból áll: egy adott hőmérsékleten vett állandó standardpotenciálból és egy, az adott félcella-reakció oxidált állapotú résztvevője és redukált állapotú résztvevője aktivitásainak hányadosával kifejezett tagból ($(RT/zF)\cdot\ln(a_{ox}/a_{red})$, ahol z a félcella-reakció töltésszám-változása, F pedig a Faraday-állandó). A résztvevő ionok aktivitása koncentrációjukkal, az esetleg oldott gázok aktivitása a parciális nyomásukkal arányos (sokszor elegendő ezekkel közelíteni), de ha pl. a redukált forma a kivált fémre vonatkozik, annak aktivitása az összefüggésben automatikusan egységnyi lesz. Mivel az elektródpotenciál az elektronhoz való vonzódás erősségével kapcsolatos, a definícióból az is következik, hogy

mindig egy pozitívabb standard elektródpotenciálú elektrokémiai rendszer bír oxidáló hatással a negatívabb elektródpotenciálú rendszerre, és nem fordítva (az előbbi megfelelő speciesze redukálódik, az utóbbié oxidálódik).

2. Vegyipari műveletek

2.1. Abszorpció

Az abszorpció az a folyamat, amelynek során a gáz a határfelületen keresztül a folyadékba hatol, és ebben a folyadékban oldódik. Az **2.1. ábrán** egy ellenáramú abszorber vázlatos rajza látható. G térfogatáramú gázt vezetünk időegység alatt az oszlopon keresztül alulról felfelé. A gázban y_1 az abszorbeálandó komponens koncentrációja a belépésnél és ez y_2 értékre csökken az abszorpció során. A folyadékfázis mennyisége F és a benne az abszorbeált komponens koncentrációja x_2 értékről x_1 értékre nő. Az oszlop hossza Z, az oszlop hossza irányába mutató helykoordináta z.



2.1. ábra: Ellenáramú abszorber

Tekintsük azt az esetet, amikor a gáz az abszorbeált komponenst kis mennyiségben tartalmazza, így feltételezhetjük, hogy a G és az F térfogatáram a z koordináta mentén állandó. Jelöljük dM-mel a komponensnek azt a mennyiségét, amely az oszlop dz hosszúságú szakaszában a gázfázisból a folyadékfázisba oldódik. Ez a mennyiség kifejezhető a dz hosszúságú oszlopban bekövetkező koncentráció változással (1-1.).

$$dM = G\,dy \qquad 1\text{-}1.$$

A komponensmegmaradás elvének érvényesülése miatt:

1-2.

$$dM = G\,dy = F\,dx$$

A 1-2. egyenletből a munkavonal egyenlete (1-2.-1-3.) megállapítható, ha integráljuk az egyenlet mindkét oldalát az oszlop tetején uralkodó (x_2, y_2) és az adott z helyen lévő (x, y) koncentrációk között:

$$G\int_{y_2}^{y} dy = F\int_{x_2}^{x} dx \qquad 1\text{-}3.$$

$$G\,(y - y_2) = F\,(x - x_2) \qquad 1\text{-}4.$$

A szokásos alakban írva (1-5.):

$$y = \frac{F}{G}(x - x_2) + y_2 \qquad 1\text{-}5.$$

A munkavonal kifejezi az oszlop adott helyén (z) a folyadék- és gázfázisban uralkodó koncentrációk (x, y) közötti kapcsolatot. Az 1-5. egyenlet megmutatja, hogy egy olyan koordinátarendszerben ahol x tengely a folyadékfázisbeli koncentráció, míg az y tengely a gázfázisbeli koncentráció a munkavonal egyenes (ha F és G állandó) és meredekségét az F/G arány határozza meg.

A gázfázisból a folyadékfázisba átadott komponens mennyisége az átadás kinetikai egyenletével is kifejezhető. Az átadott komponens mennyisége arányos az átadási tényezővel (β_G és β_F), az oszloprészben rendelkezésre álló érintkezési felülettel és a hajtóerővel (Δx vagy Δy). A dz hosszúságú oszlopban az érintkezési felület (1-6.):

$$A = \omega\frac{D^2\,\pi}{4}dz \qquad 1\text{-}6.$$

Ahol:

ω: fajlagos felület [m^2/m^3]

$\frac{D^2\,\pi}{4}dz$: az oszloprész térfogata [m^3]

A hajtóerő és az átadási tényező folyadék-és gázkoncentrációval egyaránt kifejezhető. Írjuk fel gázkoncentrációval kifejezve a komponensmérleget (1-7.):

$$G\,dy = \beta_G\omega\frac{D^2\,\pi}{4}\Delta y dz \qquad 1\text{-}7.$$

Rendezzük át a 1-7. egyenletet és integráljuk (0, z) intervallumban, ha z helyen a koncentráció y:

$$\int_{y_2}^{y} \frac{dy}{\Delta y} = \frac{\beta_G \omega D^2 \pi}{4\,G} \int_{0}^{z} dz = \frac{\beta_G \omega D^2 \pi}{4\,G} z \qquad 1\text{-}8.$$

Ha az 1-7. egyenletet teljes Z oszlop hosszúságúra integráljuk, akkor:

$$\int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{\Delta y} = \frac{\beta_G \omega D^2 \pi}{4\,G} Z \qquad 1\text{-}9.$$

1-9. egyenletet átrendezve kapjuk, az oszlop teljes magasságát (Z):

$$Z = \frac{4\,G}{\beta_G \omega D^2 \pi} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{\Delta y} = \frac{v_G^0}{\beta_G\,\omega} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{\Delta y} \qquad 1\text{-}10.$$

Ahol:

$\frac{v_0}{\beta_G\,\omega}$= H_G: az átviteli egység magasság [m]

$\int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{\Delta y}$ =N_G: átviteli egységszám [db]

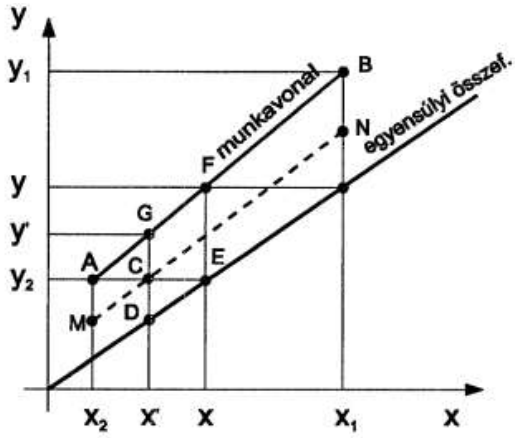
v_G^0: üreskeresztmetszeti gázsebeség [m/s]

Az átviteli egység (N_G) a készülék azon része, ahol valamely fázis koncentrációváltozása éppen az átlagos hajtóerővel egyezik meg.

Az átviteli egységszám meghatározható grafikus integrálással, analitikus integrálással és Baker-módszerrel grafikusan. A Baker-módszerrel az átviteli egységszám meghatározása az **2.2. ábra** alapján a következőképpen történik.

Az AB szakasz a munkavonal. Először MN segédvonalat megrajzoljuk oly módon, hogy a munkavonal és az egyensúlyi görbe közötti y értékeket megfelezzük. Majd a szerkesztésnél úgy járunk el, hogy az A pontból kiindulva vízszintes irányba egyenest rajzolunk. Ezen az egyenesen felmérjük az AC szakasz kétszeresét és így kapjuk az E pontot. Az E pontból függőleges egyenest rajzolunk a munkavonalig, így kapjuk az FE szakaszt. Az oszlopnak az AEF háromszöggel jellemzett szakaszán a létrejövő koncentrációváltozás megegyezik az átlagos hajtóerővel, tehát az oszlopnak ezen szakaszát egy átviteli egységnek nevezzük. Az AB szakasz végpontjai között az előbb ismertetett módon megrajzolható

háromszögek száma az átviteli egységek száma. Ez a módszer csak akkor alkalmazható elfogadható pontossággal, ha az egyensúlyi görbe és a munkavonal közel egyenes.



2.2. ábra: Átviteli egységszám meghatározás Baker-módszerrel

2.2. Desztilláció, rektifikálás

A desztilláció két vagy több illékony komponest tartalmazó homogén folyadékelegy elválasztása. Az elválasztás alapja, hogy az elegy komponenseinek azonos hőmérsékleten eltérő az egyensúlyi gőznyomása. Így ha az elegyet részlegesen elpárologtatjuk és a keletkező gőzöket kondenzáltatjuk, akkor a kiindulási elegytől eltérő összetételű folyadékot kapunk.

A rektifikálás folyadékelegyek szétválasztása ismételt desztilláció útján, melyet úgy valósítunk meg, hogy a folyadék és gőz ellenáramban közvetlenül érintkeznek egymással és közben a nem egyensúlyban lévő gőz és folyadék fázis között kétirányú komponens és hőátadás megy végbe. A továbbiakban kétkomponensű elegyek rektifikálásával foglalkozunk, ahol A az illékonyabb, B a nehezebb komponens.

Kétkomponensű elegy rektifikálása esetén a szétválaszthatóságra a relatív illékonyság jellemző (2-1.). Minél nagyobb α annál jobban elválasztható az elegy.

$$\alpha = \frac{p_A^0}{p_B^0} = \frac{y\,(1-x)}{x\,(1-y)} \qquad \text{2-1.}$$

Ahol:

p_A^0: az A komponens egyensúlyi gőznyomása [bar]

p_B^0: a B komponens egyensúlyi gőznyomása [bar]

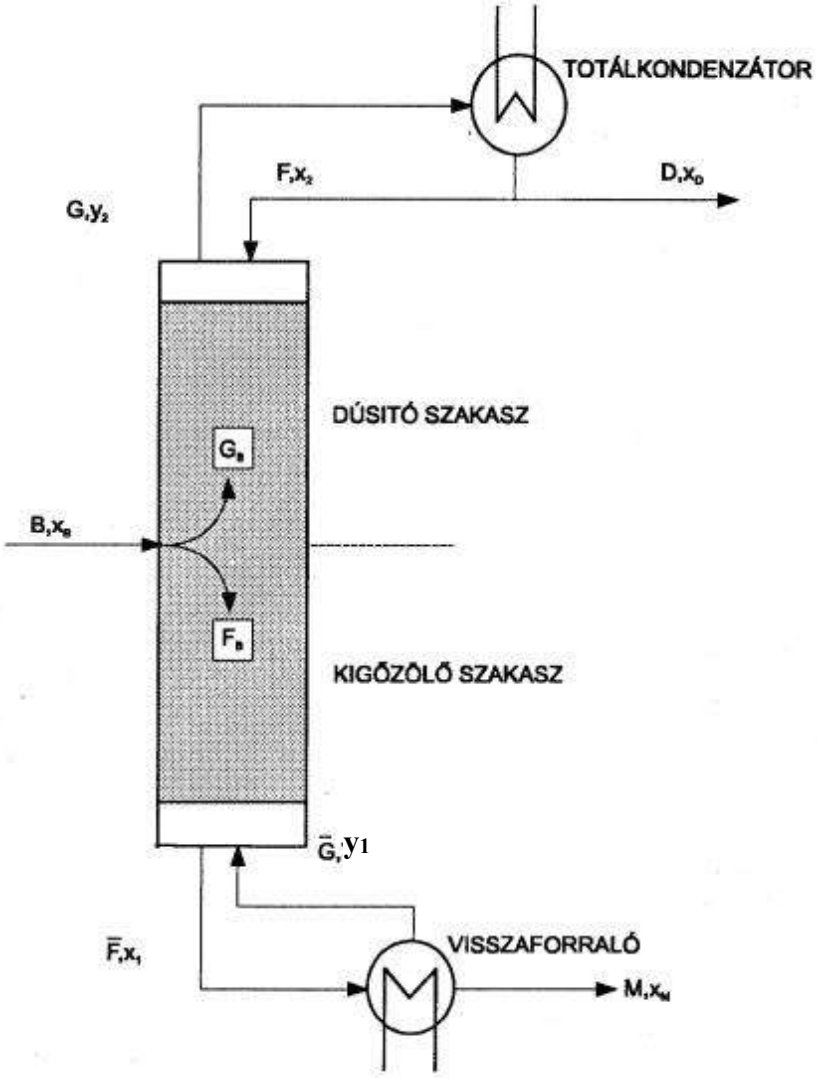
x: az A komponenst móltörtje a folyadékfázisban [-]

y: az A komponenst móltörtje a gázfázisban [-]

Kétkomponensű elegy rektifikálásának számításánál a következő egyszerűsítő feltételezéseket tesszük:

- A szétválasztandó elegy komponenseinek elegyedési hője zérus.
- Az elegy komponenseinek moláris párolgáshője ill. kondenzációs hője azonos (állandó moláris túlfolyás feltétele).
- Az oszlop tetejéről a kondenzátorba jutó gőz összetétele megegyezik a desztillátum összetételével (totálkondenzáció feltétele).
- A forralóból távozó gőz összetétele megegyezik a fenéktermék összetételével.

A rektifikáló oszlop anyagáramait a **2.3. ábrán** láthatjuk. B a betáplálás, D a desztillátum, M a maradék mólárama, az illékonyabb komponensre nézve az egyes fázis összetétele móltörtben kifejezve rendre x_B, x_D, x_M.



2.3. ábra: A rektifikáló oszlop anyagáramai

A teljes oszlop bruttó tömegmérlege:

$$B = D + M \tag{2-2.}$$

Az illékonyabb komponensre vonatkozó fajlagos tömegmérleg:

$$B\,x_B = D\,x_D + M\,x_M \tag{2-3.}$$

A rektifikáló oszlopot a betáplálás helye a számítások szempontjából két részre osztja. A két oszloprészben, a felső (dúsító) és az alsó (kigőzölő) szakaszban a fázisok tömegárama és aránya is eltérő. A rektifikáló oszlopra két munkavonal írható fel.

Felső munkavonal:

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{1}{R+1}x_D \tag{2-4.}$$

Ahol:

x: folyadékfázis összetétele [-]

y: gőzfázis összetétele [-]

x_D: desztillátum összetétele [-]

$R = \frac{F}{D}$: refluxarány, amely az oszlop tetején visszavezetett folyadék (F) mennyiségének és az elvett desztillátum (D) mennyiségének aránya [-]

Alsó munkavonal:

$$y = \frac{R_r + 1}{R_r}x - \frac{1}{R_r}x_M \tag{2-5.}$$

Ahol:

x: folyadékfázis összetétele [-]

y: gőzfázis összetétele [-]

x_M: maradék összetétele [-]

$R_r = \frac{\bar{G}}{M}$: visszaforralási arány, amely az oszlop alján visszavezetett gőz ($\bar{G}$) mennyiségének és az elvett maradék (M) mennyiségének aránya [-]

A rektifikáló oszlop dúsító és kigőzölő szakaszának találkozási pontjában, tehát a betáplálási tányéron a felső és alsó munkavonal egyenlete egyidejűleg érvényes.
Jellemezzük a betáplálás hőállapotát q-val:

$$q = \frac{F_B}{B} = \frac{Q}{\Delta H} \qquad 2\text{-}6.$$

Ahol:

F_B: a betáplálás folyadékrészének mólárama [kmol/h]

B: a teljes betáplálás mólárama [kmol/h]

Q: a betáplálás folyadékrészének elpárologtatásához szükséges hőmennyiség [kJ/kmol]

ΔH: a betáplált elegy párolgáshője [kJ/kmol]

A betáplálás helyére a q-vonal egyenlete adható meg:

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{1}{q-1}x_B \qquad 2\text{-}7.$$

Ahol:

x: folyadékfázis összetétele [-]

y: gőzfázis összetétele [-]

x_B: betáplálás összetétele [-]

Az egyensúlyi egység vagy elméleti tányérszám (N_{elm}) a készülék azon része, amelyről a távozó fázisok egymással termodinamikai egyensúlyban vannak. Az egyensúlyi egységszám McCabe-Thiele módszerrel meghatározható szerkesztéssel.
A minimális tányérszám (egyensúlyi egységének száma, N_{min}) adott elegy esetén az oszlop minőségi teljesítőképességét jellemzi. Ekkor az oszlop tetején elvett gőzöket lekondenzáltatjuk és teljes egészében visszavezetjük az oszlopba (nincs desztillátum elvétel), azaz a készüléket teljes reflux mellett üzemeltetjük. Ezen túl nincs betáplálás és maradék elvétel sem.
Teljes reflux esetén a számításra alkalmas a Fenske-egyenlet, ha az α relatív illékonyság értéke állandó.

$$N_{min} = \frac{\left[\frac{1-x_M}{1-x_D}\,\frac{x_D}{x_M}\right]}{\lg \alpha} - 1 \qquad 2\text{-}8.$$

A minimális tányérszám meghatározható a McCabe-Thiele szerkesztéssel is.

2.3. Adszorpció

Az adszorpció olyan diffúziós folyamat, melynek során szilárd anyag (adszorbens) felületén gáz- vagy folyadékelegyből egy vagy több komponenst megkötünk. A megkötött komponenst adszorptívumnak nevezzük. Az adszorptívumot és az adszorbenst együtt adszorbeátumnak hívjuk. Az alkalmazott berendezés az adszorber.

Kétféle adszorpciót különböztetünk meg. Reverzibilis (fizikai) az adszorpció, ha minden hőmérséklethez, nyomáshoz, koncentrációhoz adott adszorbeált mennyiség tartozik. Irreverzibilis (kémiai) az adszorpció, ha a szilárd felületen kémiai reakció játszódik le, melynek következtében az adszorpciós egyensúly nem megfordítható. Az adszorpciós egyensúlyokat gázok (gőzök) adszorpciójakor a hőmérséklet, nyomás, koncentráció jelentősen befolyásolja, míg folyadékfázisból történő adszorpció esetén a nyomás hatása gyakorlatilag elhanyagolható, viszont a koncentráció és hőmérséklet hatása jelentős.

Az adszorpciós egyensúly a szilárd fázis (adszorbens) és a fluidum komponenseinek hosszan tartó érintkezése után alakul ki és dinamikus jellegű. Ez azt jelenti, hogy időegység alatt ugyanannyi molekula deszorbeálódik a felületről, mint amennyi adszorbeálódik. Az adszorpció során hő szabadul fel, melyet adszorpciós hőnek nevezünk.

A leggyakrabban alkalmazott adszorpciós egyensúlyi izoterma a Langmuir-izoterma, amely monomolekuláris borítottságot, dinamikus adszorpciós egyensúlyt tételezett fel, továbbá egyensúlyi állapotban egyenlőnek tekintette az adszorpció és a deszorpció sebességét. Tekintsünk egy egykomponensű adszorpciót, az i-edik komponens megkötődését gázfázisból a szilárd anyag felületén, melyre az alábbi Langmuir-féle adszorpciós egyensúlyi izoterma érvényes.

$$q_i = \frac{a_i\, c_i}{1 + b_i\, c_i} \qquad 3\text{-}1.$$

Ahol:

q_i: az i-edik komponens koncentrációja az adszorbensfázisban, [mol i komponens /kg adszorbens]

c_i: az i-edik komponens koncentrációja a folyadékfázisban, [mol i komponens /m^3 folyadék]

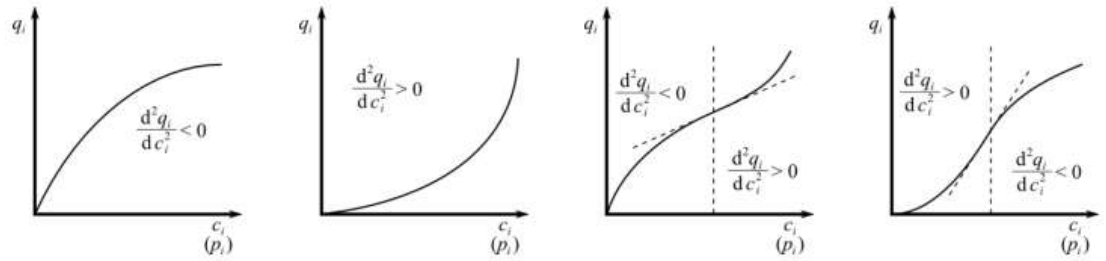
a_i: a Langmuir-egyenlet állandói, [m^3 folyadék/kg adszorbens]

b_i: a Langmuir-egyenlet állandói, [m^3 folyadék/mol i komponens]

Langmuir adszorpciós egyensúlyi izoterma több komponens esetén az alábbi általános egyenlettel írható le.

$$q_i = \frac{a_i\, c_i}{1 + \sum b_i\, c_i} \qquad 3\text{-}2.$$

Az adszorpciós izoterma típusa lehet kedvező vagy kedvezőtlen vagy ezek együttesen (**2.4. ábra**). Az elnevezés abból ered, hogy a lépcsős koncentrációfüggvény alakja, az adszorpciós front a nyugvóréteges adszorpciós oszlopban történő elmozdulás során állandó alakú marad-e (kedvező), vagy elnyúlik (kedvezőtlen).



a.) b.) c.) d.)

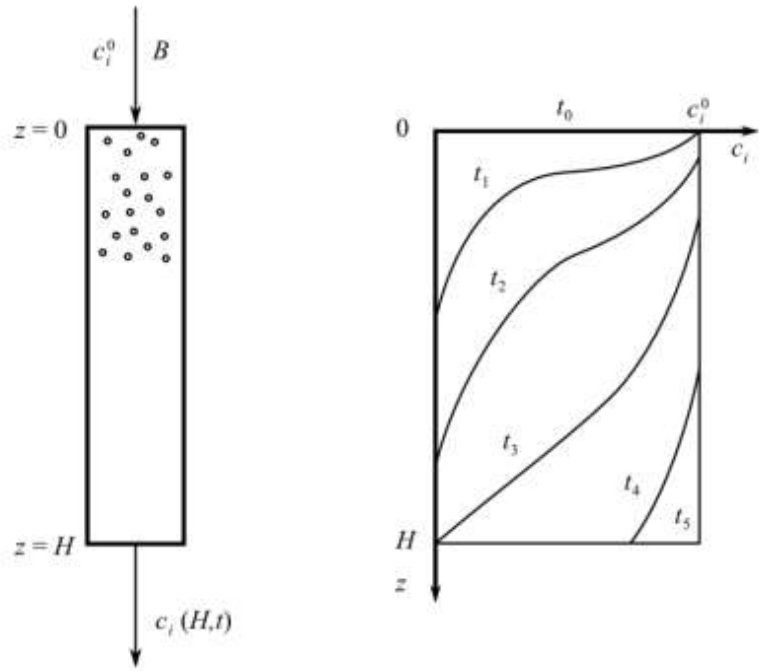
2.4. ábra: adszorpciós izotermák, ahol a.) kedvező, b.) kedvezőtlen, c.) kedvező-kedvezőtlen, d.) kedvezőtlen-kedvező

Az adszorpciós folyamatok egy komponens adszorpciója esetén is több egymást követő részfolyamatból állnak:

- külső diffúzió a Nernst-féle határrétegben,
- belső diffúzió a makro-, mezo-, mikropórusokban.
- adszorpciós megkötődés a szilárd fázis felületen van der Waals erőkkel.

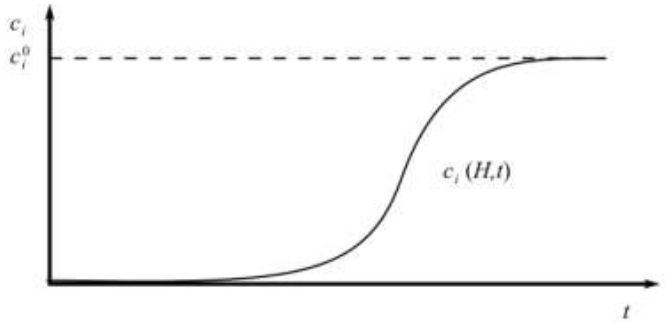
Ezek közül a leglassúbb részfolyamat határozza meg a folyamat sebességét. Ennek megfelelően beszélhetünk külső diffúziós gátlású, illetve belső diffúziós gátlású adszorpcióról. A komponens deszorpciója a fentiekkel ellentétes irányban, illetve sorrendben megy végbe.

A frontális adszorpció nyugvóréteges, differenciális fázisérintkeztetésű művelet (**2.5. ábra**). Félfolyamatos üzemvitelű és koncentrációváltoztatást alkalmazunk lépcsős függvény szerint a műveleti egység belépő felületén.



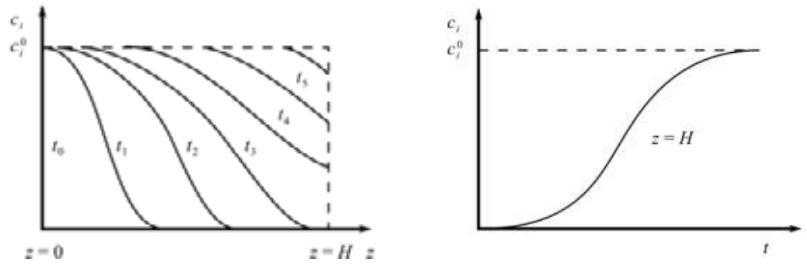
2.5. ábra: Nyugvórétegű adszorpció elvi folyamatábrája és az adszorpciós front időbeli alakulása

Tételezzük fel, hogy az „i” komponenst gázból távolítjuk el adszorpcióval, izoterm körülmények mellett. Az adszorbenst előzetesen tökéletesen regeneráltuk. Az „i” komponens, végighaladva az adszorbens tölteten, megkötődik, majd az adszorbens kapacitásának kimerülése után áttör az adszorpciós oszlopon. Az áttörési görbe a z = H helyen felvett koncentráció-idő görbe (**2.6. ábra**).



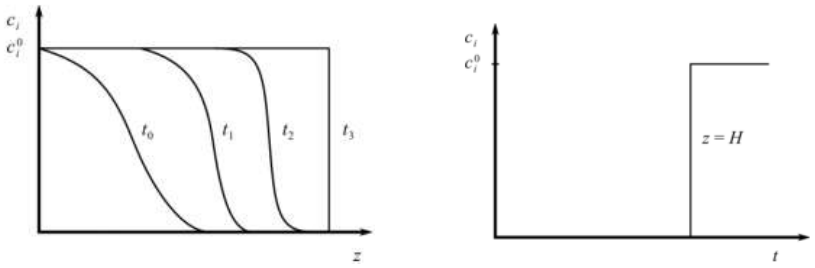
2.6. ábra: Áttörési görbe

Ha „i” komponens adszorpciós egyensúlya kedvezőtlen, akkor a kis c_i koncentrációjú fluidumelemek az adszorbenstöltetben gyorsabban haladnak, mint a nagyobb c_i összetételű fluidumelemek. Tehát az adszorpciós front elnyúlik az adszorbenstöltet hossza mentén és az áttörési görbe sem éles (**2.7. ábra**). Arányos alakú adszorpciós frontok alakulnak ki.



2.7. ábra: Arányos alakú adszorpciós front, elnyúlt áttörési görbe

Kedvező adszorpciós egyensúly esetén a nagyobb ci koncentrációjú folyadékelemek haladnak gyorsabban, mint a kis ci összetételű folyadékelemek. Ennek következtében egy kezdeti, tetszőlegesen koncentrációeloszlásból lépcsős függvény alakul ki megfelelően hosszú adszorpciós oszlopban. Ezeket a frontokat állandó alakú adszorpciós frontoknak nevezzük. Az áttörési görbe alakja ebben az esetben lépcsős függvény lehet (**2.8. ábra**).



2.8. ábra: Állandó alakú adszorpciós front, éles áttörési görbe

2.4. Kristályosítás

A kristály olyan szilárd test, amelynek elemei (ionjai, atomjai, molekulái) bizonyos rendezettséget, ún. térrács alakzatot mutatnak. Az amorf anyagok teljesen rendezetlen és rendszertelen felépítésű szilárd anyagok (pl. üveg, viasz, szurok).

Kristályosítás az a folyamat, melynek során folyadék halmazállapotú komponenselegyből szilárd halmazállapotú anyagot választunk el.

A kristályosítás célja:

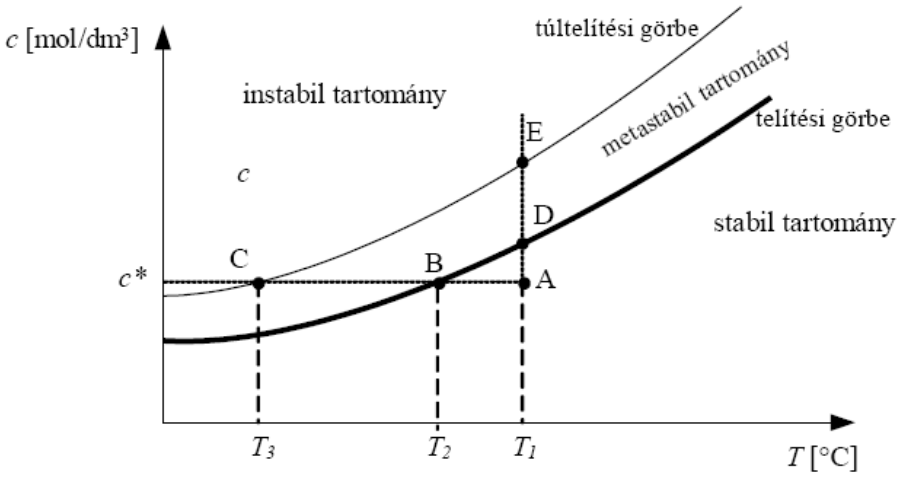
- segédanyagból történő kinyerés
- elválasztás más anyagoktól
- tisztítás
- formaadás

A kristályosítás történhet folyadékfázisból (oldatból vagy olvadékból) és gázfázisból. Továbbiakban az oldatból való kristályosítást tárgyaljuk.

Az az anyagmennyiség, amelyet adott körülmények között az adott oldószer feloldani képes oldhatóságnak nevezzük. Leggyakrabban g oldott anyag/100 g oldószer egységben adjuk meg. A hőmérséklet függvényében ábrázolva az oldhatóságat az oldhatósági görbét kapjuk.

Ha adott hőmérsékleten, adott mennyiségű oldószerben egy bizonyos anyagból a maximális mennyiségű anyagot oldunk (az oldatóság szerint), akkor telített oldatot kapunk. Ha maximálisnál kevesebb anyagot oldunk akkor telítettlen oldat. Sok anyag képes túltelített oldatot képezni, amikor a telítettnél több anyag van oldva az oldószerben. Az oldat instabil, nincs egyensúlyban.

Ahhoz, hogy a kristályképződés meginduljon egyrészt az oldat túltelítettsége szükséges, másrészt igen apró „kristálymagokra", „gócokra" van szükség. A kristálymagképződés megindítható az oldat túlhűtésével, keveréssel, rázással, de legegyszerűbben néhány szem apró kristály beszórásával (oltókristály). A **2.9. ábrán** a túltelítési és telítési görbe látható.



2.9. ábra: A túltelítési és telítési görbe

A **2.9. ábrán** látható, hogy a telítési görbe feletti rész két tartományra a metastabil és az instabil tartományra osztható fel. Az egyensúlyi telítési görbe alatti stabil tartomány a telítetlen oldat mezeje. Itt sem kristályképződés, sem kristálynövekedés nincs.

A metastabil tartományban, amelyet a telítési és a túltelítési görbe határol, a kristályképződés nem valószínű, de a meglévő szemcsék növekednek.

Az instabil tartományban spontán kristályképződés van, itt a magképződés sebessége hirtelen növekszik.

A kristályosítás elvileg kétlépcsős folyamat, első lépésben a kristálymagok, kristálygócok keletkeznek, a második lépcsőben a kristályok növekednek. A gyakorlatban e folyamatok egyidejűleg mennek végbe.

A gócképződés az a jelenség, amelynek során valamely metastabilis, vagy instabil állapotú egyfázisú rendszerben az anyafázistól elkülönülnek a már stabilis új fázis parányi részecskéi. Lehet primer és szekunder gócképződés. Akkor beszélünk elsődleges vagy primer gócképződésről amikor a szilárd komponenstől mentes rendszerben indul meg a kristálykiválás. Homogén gócképződésről akkor beszélünk, ha a rendszerben heterogén katalitikus hatású idegen komponens nincs jelen. Heterogén gócképződés idegen anyag jelenlétében megy végbe.

Szekunder vagy másodlagos gócképződésről akkor beszélünk, ha az oldatban már van jelen kristály. Az elsődlegesen keletkezett kristálymag felületének környezetében a felületaktív erők hatására a kristályrácsba még be nem épült, kisméretű molekulacsoportok helyezkednek el. Kevert folyadékrendszerekben a változó helyi turbulencia okozta nyíróerő elég a kisméretű részecskék leszakítására, amelyek túltelített környezetbe jutva nagy valószínűséggel kristálygóccá válnak. Kimutatták, hogy a másodlagos gócképződés sebessége függ a keverés intenzitásától, a hűtés sebességétől és túlhűtés (túltelítés) mértékétől, de független a primer kristálymagok számától, méretétől, kémiai karakterétől és felületi tulajdonságaitól.

A gócképződés indukálására legáltalánosabban bevált módszer a túltelített folyadék beoltása. Az oltókristályt a finoman bolygatott folyadékban egyenletesen kell elszórni, a rendszer hűtését pedig ezzel egyidejűleg óvatosan kell szabályozni. Az oltókristály mennyiségét az oldat túltelítettsége, a várt termék mennyisége és a termék kívánt kristálymérete határozza meg. Az oltókristály leggyakrabban maga a finom porrá aprított késztermék. Gyakran az oltókristály a késztermékkel izomorf anyag. Az oltókristály akkor hatásos, ha az oltókristály rácsadata 15 %-on belül egyezik a kristályosítandó termék rácsadatával. Természetesen, ha az oltókristály összetétele kristályosítandó komponensével azonos, ilyen probléma nincs.

A kristályok növekedése a magok körül indul meg. Ha sok mag van az oldatban, akkor rendszerint aprószemcsés (lemez vagy tű alakú) kristály képződik. A kristályok alakja és nagysága lényegesen befolyásolja további feldolgozásukat. Ha pl. szűrési művelet következik a kristályosítás után, akkor célszerű, hogy kifejlett, határozott alakú, nagyszemcsés kristályok képződjenek. Ezeket ugyanis könnyebb leszűrni.

2.5. Extrakció

Extrakciónak nevezzük egy vagy több komponens folyadékból vagy szilárd anyagból való eltávolítását szelektív oldószer segítségével. A szelektív oldószert úgy válasszuk meg, hogy abban csupán az eltávolítandó komponensek oldódjanak jól és lényegesen kevésbé (gyakorlatilag ne) oldódjanak a kiindulási anyag egyéb komponensei.
Beszélhetünk:

- folyadék-folyadék extrakcióról
- szilárd-folyadék extrakcióról
- szuperkritikus extrakcióról

Folyadék- folyadék extrakció célja, valamely folyadékelegy komponenseinek szétválasztása olyan oldószerrel, amely bizonyos komponenseket nem old, illteve azokkal nem elegyedik, másokat viszont jól old. Előnyösen alkalmazható ha:

- a folyadékelegy desztillációval vagy rektifikálással nem választható szét
- a desztillációs vagy más eljárás gazdaságtalan
- kinyerendő komponens hőre érzékeny, magasabb hőmérsékleten bomlik
- az oldószer könnyen visszanyerhető legyen (rektifikálással, bepárlással)

Az oldószer megválasztásakor a fő törekvés, hogy olyan oldószert („S”) találjunk, mely a szétválasztandó „A” (tömbfázis) és „B” (kinyerendő komponens) kétkomponensű folyadékelegy „B” komponensét lehetőleg korlátlanul oldja és legyen szelektív a „B” komponensre nézve. Az „A” és „S” fő fázisok sűrűsége egymástól legalább 20 %-kal eltérjen, a kölcsönös oldhatóságuk gyakorlatilag elhanyagolható legyen. Ez esetben a „B” komponenstől megtisztított visszamaradt „A” folyadékfázis a raffinátum („R”), míg a komponenssel szennyezett „S” oldószer az extraktum („E”). Az extraktum közvetlenül hasznosítható vagy a „B” komponens az extraktumból egyszerű eljárással kinyerhető. A visszanyert (regenerált) oldószert az extrakcióban újra felhasználják.

A folyadék-folyadék extrakció során tehát két nem elegyedő folyadék között történik anyagátadás. Használata elterjedt a kőolajfeldolgozó és petrolkémiai iparban és a gyógyszeriparban.

Egy egyszerű háromkomponensű rendszerre a Nernst-féle megoszlási hányados (m) definíciója (5-1.):

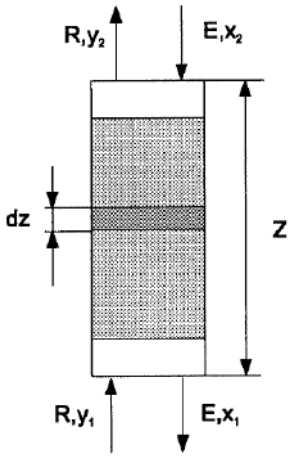
$$m = \frac{y}{x} \qquad 5\text{-}1.$$

Ahol:

y: a megoszló anyag egyensúlyi koncentrációja az extraktumban (tömegtört) [-]

x: a megoszló anyagegyensúlyi koncentrációja a raffinátumban (tömegtört) [-]

Folyamatos fázisérintkeztetésű extrakció a többi kétfázisú művelethez hasonlóan tárgyalható. Az ellenáramú extrakciós oszlop áramait az **2.10. ábra** szemlélteti.



2.10. ábra: Ellenáramú extrakciós oszlop

A szilárd-folyadék extrakció egy olyan vegyipari művelet, amelynek során szilárd anyagot intenzív érintkeztetésbe hozunk egy olyan oldószerrel, amely bizonyos komponenseket (kulcskomponens) a szilárd anyagból kiold, de másokat nem (mátrix).

Az extrakció kezdetén az előkészített szilárd anyagot érintkeztetik a kiválasztott oldószerrel. A folyadék kitölti a vázanyag pórusait. A célkomponens feloldódik az oldószerben. Ennek eredményeként koncentrációkülönbség alakul ki a vázanyagban levő folyadék és a külső folyadék között, amelynek hatására diffúziós anyagáram jön létre. Az oldott anyag tehát diffúzióval, a szilárd vázanyagon keresztül jut a külső oldószerbe. Mivel a vázanyagban és azon kívül ugyanaz a folyadék van, elegendő hosszú érintkeztetési idő múlva koncentráció-kiegyenlítődés jön létre. Az oldható komponensek kivonása után az oldószert visszanyerik a kilúgozott vázanyagból (raffinátum). Az extraktorból távozó oldatból (extraktum) is

elválasztják az oldószert. A visszanyert (regenerált) oldószert az extrakcióban újra felhasználják.
A folyamatos szilár-folyadék extraktorokat működésük alapján két csoportba sorolhatjuk. Az egyik az immerziós eljárások, amikor a szilárd anyagot belemerítik az oldószerbe és szállítócsigával vagy keverő-szerkezettel, az oldószerrel ellenáramban mozgatják. A szilárd anyag mozog, ezért nincs különös követelmény a töltet szerkezetével kapcsolatban. Hátránya, hogy az apró, finom részecskéket az extraktum magával viszi. Az extraktumban a szilárdanyag-tartalom elérheti az 5%-ot is. Ezért az oldatot feldolgozás előtt gondosan meg kell szűrni. A másik eset a perkolációs eljárások, amikor az oldószert átfolyatják a nyugvó szilárd rétegen. Mivel a töltetnek jelentős az áramlási ellenállása, a réteg vastagsága nem lehet tetszőlegesen nagy. A részecskék egymáshoz képest nem mozognak, így nincs mechanikai kopás, aprózódás. A töltet réteg megszűri az oldatot, az extraktum nem tartalmaz szilárd részecskéket.

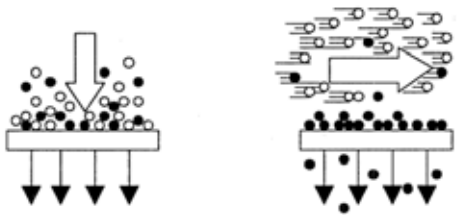
A szuperkritikus extrakciónál az oldószer van szuperkritikus állapotban (a szuperkritikus nyomás és szuperkritikus hőmérséklet felett). A szuperkritikus állapotú oldószer fizikai-kémiai tulajdonságai a gáz és folyadék állapot között átmenetet mutatják. A viszkozitása egy nagyságrenddel kisebb, a diffúziós állandója egy nagyságrenddel nagyobb mint folyadékfázisban. Az anyagátadás kedvezőbb lesz a folyadéknál, oldóképessége nagyságrendekkel nő. A nyomás és a hőmérséklet megfelelő változtatásával a fluidum oldóképessége szabályozható. Így, ha az oldószer nyomása és a hőmérséklete lecsökken, akkor az oldott anyag kiválik az oldószerből, azaz az oldott anyag elválasztása az oldószertől egyszerű. Az extrakt elválasztása után az oldószer újra felhasználható. Ezáltal kevesebb hulladék képződik és a kapott extraktum oldószermentes. Az oldószer veszteség minimális.
Növényi olajok kivonására, alkoholmentes italok és koffeinmetes kávé előállítására alkalmazzák.

2.6. Membránszeparáció

A membrán szó latin eredetű („*membrana”*), eredeti jelentése hártya, héj. A műszaki életben membránnak valamilyen külső erővel kifeszített rugalmas válaszfalat nevezünk. A vegyiparban a membrán technológiai fogalom. Olyan technológiai válaszfalat jelöl, amely szelektív áteresztő képességénél fogva a feldolgozandó anyagok alkotórészeinek szétválasztását többnyire kémiai átalakulás nélkül teszi lehetővé. Lényegében a membrán olyan közeg,

amelyen a feldolgozandó fázis komponensei, vagy részecskéi nem, illetve különböző sebességgel jutnak át.

A membránszeparációs folyamatokat igen élesen el kell különíteni a hozzájuk igen hasonlító szűréstől (**2.11. ábra**). Szűréskor a szűrőre feladott anyag a nyomáskülönbség hatására a szűrő felületére merőleges irányban mozog, az elválasztandó keverékek legalább egy komponense a szűrőközeg belsejében vagy felületén gyűlik össze, ezért a szűrő fokozatosan eltömődik, és teljesítménye egyre csökken.



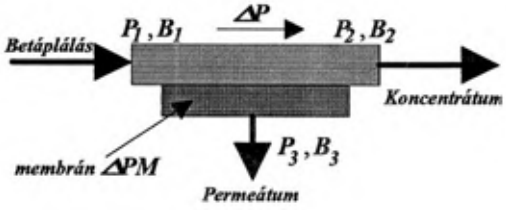
2.11. ábra: A szűrés és a membrános elválasztás összehasonlítása, ahol a.) klasszikus szűrés, b.) membránszűrés

A membránszűrési eljárásokban a szűrendő oldat eláramlik a féligáteresztő membrán mellett, miközben a membrán két oldala között fennálló nyomáskülönbség hatására az oldószer illetve a membrán pórusméretétől függően az oldott molekulák egy része is átszivárog a membrán alacsonyabb nyomású oldalára. A membrán az eredeti anyagáramot két részre osztja: a permeátum az a fázis, amely áthatol a membránon és a koncentrátum (v. retentátum), vagyis az az oldat, amely megmarad a membrán betáplálási oldalán.

A membránnak azt a tulajdonságát, hogy a különböző anyagokat különböző mértékben engedik át, permszelektivitásnak nevezzük. A membrán szelektivitása folytán mindkét anyagáram összetételét megváltoztatja. Az elválasztásra felhasználhatjuk a nyomásgradiensen kívül a kémiai potenciál, a hőmérséklet és az elektromos potenciálkülönbség gradiensét is.

A membrán két oldala közötti nyomáskülönbség hatására végbemenő finomkémiai szűrési vagy membrán-szeparációs technikákat a következőképpen csoportosíthatjuk: mikroszűrés, ultraszűrés, nanoszűrés és fordított ozmózis.

Jelöljük a szűrőegységre feladott anyalúg mennyiségét B_1-gyel, nyomását p_1-gyel, a koncentrátum mennyiségét B_2-vel, nyomását p_2-vel, a permeátum mennyiséget B_3-mal, nyomását pedig p_3-mal, ahogy ezt a **2.12. ábrán** láthatjuk.



2.12. ábra: Membrán szűrőegység nyomás és áramlási viszonyai

Egy finomkémiai szűrőegység által produkált permeátum és koncentrátum mennyiségét, vagyis a szűrő teljesítményét és elválasztó képességét két egymással konkuráló folyamat szabja meg, úgymint a membrán áteresztő képessége, vagyis az idő és felületegységen átszivárgó permeátum mennyisége (fluxus) a membrán-pórus és molekula méreten túl elsősorban a membrán két oldala közötti ΔPM átlagos nyomáskülönbségtől függ, melyet transzmembrán nyomás-különbségnek (6-1.) neveznek.

$$\Delta PM = \frac{p_1 + p_3}{2} - p_2 \qquad 6\text{-}1.$$

Ahol:

p_1: a belépő áram nyomása [bar]

p_2: a koncentrátum áram nyomása [bar]

p_3: a permeátum áram nyomása [bar]

A berendezés átbocsájtó képességét viszont az anyalúg belépési pontján és a koncentrátum kilépési pontján mért nyomások ΔP különbsége szabja meg. Nagy ΔP nagy B_2 áramot, és ezzel jó tisztító hatást eredményez, de a kisebb ΔPM miatt kisebb lesz a B_3 permeátum mennyisége. Ha ΔPM nagy, kezdetben nagy lesz a membránon átszivárgó B_3 permeátum fluxusa is. A kis Δ P azonban alacsony B_2 áramot eredményez, amely nem tisztítja megfelelő mértékben a membrán felületét, ezért a permeátum fluxus gyorsan egy csökkent értékre áll be.

A szűrőegység optimális nyomás- és áramlási viszonyai természetesen a feldolgozandó oldatok koncentrációitól is függnek. Minél kisebb a feldolgozandó oldat koncentrációja, annál nagyobb permeátum fluxus érhető el egy adott ΔPM érték mellett.

Általában egy komponens kiszűrésénél a membrán használhatóságát a visszatartással (R) fejezik ki. A visszatartás komponens specifikus, mértékét a kiindulási és a permeátumkoncentráció ismeretében az alábbi képlettel számoljuk (6-2.).

6-2.

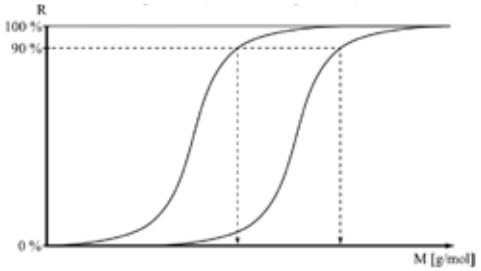
$$R = \frac{c_F - c_P}{c_F}$$

Ahol:

c_P: a permeátum koncentrációja [mol/dm^3, g/dm^3]

c_F: a betáplálás koncentrációja [mol/dm^3, g/dm^3]

A vágási érték az a molekulatömeg, amelyet a membrán 90%-ban visszatart. A vágási értéket célszerű fenntartásokkal kezelni, hiszen ha megnézzük a **2.13. ábrát**, arról jól látható, hogy egy membrán visszatartása egy adott molekulatömeg-tartományban mozog. Léteznek éles vágási értékkel rendelkező membránok, amelyeknél a visszatartott molekulák tömege egy szűk tartományon belül mozog, azonban léteznek „diffúz" vágási értékkel rendelkező membránok, amelyeknél ez a tartomány kiszélesedik.



2.13. ábra: Membrán szűrőegység nyomás és áramlási viszonyai

2.7. Szárítás

A szárítás szűkebb értelemben az a művelet, melynek során valamilyen szilárd anyag nedvességtartalmát csökkentjük oly módon, hogy a nedvességet energiaráfordítással elpárologtatjuk, ezzel az a gázfázisba kerül, majd a gázzal együtt elhagyja a berendezést. Bővebb értelemben beszélhetünk folyadékok és gázok szárításáról is. A szárítás ez esetben is úgy történik, hogy a nedvesség a szárítandó anyagból fázisváltozás mellett egy segédfázisba kerül, majd azzal együtt elhagyja a szárító egységet. Mivel a szárítás minden esetben a nedvesség fázisváltozásával jár együtt, ezért a szárítási művelet során jelentős energia szükséglettel vagy felszabadulással kell számolnunk.

A szárítás lényegében hő transzporttal indukált nedvesség transzport, ezért a művelet megtervezésénél a hő és a nedvesség mozgását együttesen kell figyelembe venni.

A továbbiakban a szilárd anyagok szárítását tárgyaljuk részletesebben. A szárítandó anyagban lévő folyadék elpárologtatásához hőt kell befektetni. A hőközlés módja szerint a szárítási eljárások két legfontosabb csoportja:

- konvekciós szárítás: a szárító berendezésbe folyamatosan gázáramot vezetünk be, melynek szerepe kettős. Egyfelől biztosítja a nedvesség elpárologtatásához szükséges energiát, másfelől segédfázisként magával viszi a szárítandó anyagból elpárolgó vízgőzt. A szárítandó anyagot tálcákon helyezik el. A szárítandó anyag fölött áramlik az alacsony nedvességtartalmú szárító gáz, amely az esetek többségében levegő vagy füstgáz.
- kontakt szárítás: a szárítandó anyagot fűthető tálcákon helyezik el. A hő a tartószerkezeten keresztül jut a szemcsés rétegbe. A szilárd fázisból elpárolgó nedvesség a gáztérbe kerül. A szárítón folyamatosan kis térfogatáramban levegőt vezetnek át abból a célból, hogy a gázfázisba került nedvesség az öblítő levegővel együtt elhagyhassa a berendezést.

A száraz levegő és vízgőz keverékét nedves levegőnek nevezzük. A nedves levegő nedvességtartalmának megállapításánál abszolút és relatív nedvesség-tartalmat különböztetünk meg. A levegő x abszolút nedvességtartalma alatt 1 kg száraz levegőben lévő kilogrammban kifejezett vízgőz mennyiséget értünk (7-1.).

$$x = \frac{18}{29}\frac{p_w}{P - p_w} \qquad 7\text{-}1.$$

Ahol:

P: össznyomás (bar)

p_w: a vízgőz parciális nyomása (bar)

A relatív nedvességtartalom (φ) alatt a vízgőz parciális nyomásának és az adott hőmérsékleten a vízgőz tenziójának (p_w^0) hányadosa (7-2.).

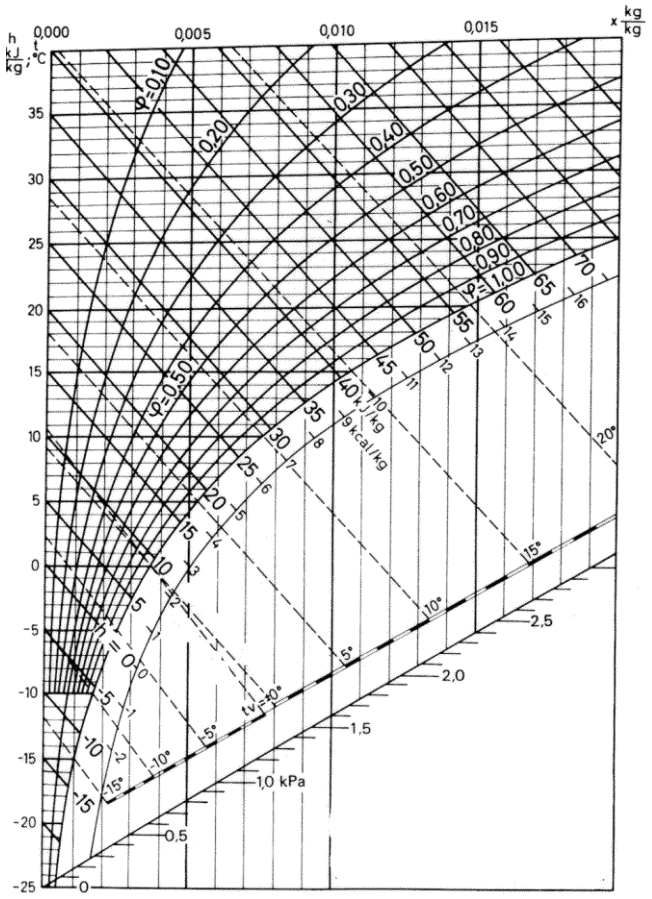
$$\varphi = \frac{p_w}{p_w^0} \qquad 7\text{-}2.$$

A nedvességtartalmon kívül a nedves levegő fontos jellemzője a hőmérséklet. A méréstechnikától függően a nedves levegő hőmérsékletével kapcsolatban három féle hőmérsékletről szokás beszélni. A T_{sz} száraz hőmérséklet alatt a levegő közönséges hőmérővel

mérhető C°-ban kifejezett hőmérsékletét értjük. A T_H harmatponti hőmérséklet, ez az a hőmérséklet ameddig a nedves levegőt konstans abszolút nedvesség tartalom mellet hűteni kell, hogy az a vízgőzre nézve telítetté váljon. Harmatpont alatti hőmérsékleteken a vízgőz a levegőből kikondenzálódik. A T_N nedves hőmérséklet az a hőmérséklet, amelyen valamely nedves felület – legtöbbször vízfelület – egyensúlyba kerül a nedves levegővel, oly módon, hogy a felületről eltávozó anyagáramlással elvitt hő egyenlővé válik a felületre érkező hőárammal. Az így bekövetkező telítődési folyamatban a levegő entalpiája nem változik.

A nedves levegő h fajlagos (1kg száraz levegőre vonatkozó) entalpiája nem közvetlenül mérhető mennyiség. A nedves levegő entalpiája a levegő és a levegőben lévő vízgőz entalpiájából tevődik össze.

A nedves levegő hőtartalom diagramja vagy megalkotója alapján Mollier-diagramnak látható a **2.14. ábrán**. A diagram ferdeszögű koordinátarendszerben készül, az ordinátatengelyen az entalpia (kJ/kg), az abszcisszán pedig a levegő abszolút nedvességtartalmát (kg/kg) jelöljük. Az állandó hőmérsékleten végbemenő állapotváltozást jelző vonalak (izotermavonalak) a hőmérséklet emelkedésével legyezőszerűen szétnyílnak és nem párhuzamosak. A diagrammon megtaláljuk még a különböző relatív nedvességtartalomhoz (φ) tartozó görbéket is. A nedves levegő állapot diagrammján a jellemző paraméterek változása rendkívül szemléletesen ábrázolható, víz-levegő rendszerre vonatkozik.



2.14. ábra: Mollier diagram

3. Transzportfolyamatok

3.1. Transzportfolyamatok alapjai

A transzportfolyamatok tárgya a vegyipari berendezésekben, műveleti egységekben lezajló folyamatok értelmezése és kvantitatív leírása.

3.1.1. Extenzív és intenzív állapotjelzők

A vegyipari rendszerek leírására olyan tulajdonságok használhatóak fel, amelyek egyértelmű függvényei a rendszernek. Ezeket állapotjelzőknek nevezzük. Az állapotjelzők lehetnek:

- extenzív állapotjelzők függnek a rendszer méretétől, additívak; pl.: tömeg, anyagmennyiség, töltés, entrópi, impulzus, energia….stb.
- intenzív állapotjelzők: nem függnek a rendszer méretétől, nem additívak; pl.: nyomás, hőmérséklet, konventráció, sűrűség… stb.

A vegyiparban termelésben alapanyagból terméket állítunk elő. A termelés folyamán az összetétel megváltozik. Az összetétel változása bekövetkezhet kémiai reakció által – ilyenkor új anyagi minőségek jelennek meg – vagy valamilyen szeparációs technika következtében. A vegyiparban előforduló anyagokat fázisoknak nevezzük. A fázis a tér azon része, ahol az anyagot jellemző intenzív állapotjelző a tér folytonos függvénye (pl. a levegőben, mint fázisban ha mérjük a helykoordináta mentén a hőmérsékletet egy folytonos függvényt kapunk). Ha több fázis van jelen a rendszerben a fázishatáron a jellemző tulajdonságfüggvénynek szakadása van (pl. egy zagyban, ahol szilárd szemcsék vannak folyadékban diszpergálva, ha mérjük a sűrűséget a helykoordináta mentén, akkor a folyadék-szilár fázis határfelületen a sűrűségfüggvénynek szakadása van.)
Vegyipari műveleti egységbe bevitt fázison fizikai vagy kémiai változást szeretnénk előidézni. Változás csak úgy következhet be, ha a fázishoz anyagot, komponenst, energiát vagy mozgásmennyiséget adunk. E mennyiségek extenzív mennyiségek, ami azt jelenti, hogy e mennyiségekre, vagyis a tömegre, komponensre, energiára, impulzusra megmaradási tételek vonatkoznak, így a fázis tömegére, energiatartalmára, valamely kémiai anyagtartalmára és mozgásmennyiségére mérleget lehet felírni. A transzportfolyamatok feladata e négy extenzív mennyiség mozgásának elemzése. A lényeges elemek kiemelése, a kevésbé lényeges elemek

elhanyagolása után lehetőség nyílik az extenzív mennyiségek térbeli és időbeli eloszlásának kvantitatív leírására.

3.1.2. Extenzív mennyiség sűrűsége

Egy fázisban bekövetkező változások jól nyomon követhetők, ha pontról pontra megadjuk az extenzív mennyiségek sűrűségét a fázisban. Egy adott P(x,y,z) pontban, adott t időpillanatban bármely extenzív mennyiség sűrűségét megállapíthatjuk úgy, hogy veszünk egy, a P pontot körülölelő kontroltérfogatot, meghatározzuk a kontroltérfogatban lévő extenzív mennyiséget, osztjuk a mennyiséget a kontroltérfogattal és képezzük a hányados határértékét, midőn a kontroltérfogat rázsugorodik a P pontra.
A térfogategységre jutó tömeg, a sűrűség (ρ); az i-edik kémiai komponens mólokban kifejezett sűrűsége a c_i mól koncentráció; a térfogategységre jutó entalpiát megkapjuk, ha a tömegegységre jutó, h fajlagos entalpiát szorozzuk a sűrűséggel; a térfogategységre jutó mozgásmennyiség a sűrűség és sebesség szorzataként adódik. Tehát általánosan valamennyi extenzív mennyiség sűrűsége előállítható, ha az extenzív mennyiség tömegfajlagosát megszorozzuk a tömeg sűrűséggel.
Az előzőek alapján adott időpillanatban egy készülékben lévő anyag jellemzésére elég megadni a készüléktérfogatban a ρ sűrűsség, a c_i koncentráció, a h entalpia értékét és a sebességteret. Ez utóbbi állapotjellemzők intenzív paraméterek, értékük nem függ a fázis kiterjedésétől.

A készülékben lévő anyag, komponens, entalpia vagy a mozgásmennyiség az előzőekben definiált, térfogatra vonatkozó intenzív állapotjellemzők térfogati integráljaként számíthatók ki.

3.1.3. Áram, áramsűrűség

Ha a készülék képzeletbeli burkán egy A felületen valamilyen extenzív mennyiséget, rendszerint anyagot viszünk be a berendezésbe (az extenzív mennyiség mozog), akkor az extenzív mennyiség áramáról (J) beszélünk. Áram ezek szerint egy adott felületen időegység alatt áthaladt extenzív mennyiség. Az áram definíciója kapcsán elsősorban az foglalkoztatott bennünket, hogy egy adott, esetenként elég nagy felületen összességében mennyi anyag, energia , impulzus megy át, de nem foglalkhatunk azzal a kérdéssel, hogy az illető extenzív mennyiség vajon egyenletes intenzitással megy át a felületen, vagy az áram intenzitásának valamilyen eloszlása van. Az áramintenzitás részletesebb elemzése az áramsűrűség (j) definiálásával válik lehetővé. Áramsűrűségen az áram irányára merőleges egységnyi

keresztmetszeten átáramló extenzív mennyiséget értjük. Az áramsűrűség vektoriális jellegű mennyiség, iránya a mozgás irányával esik egybe.

Az áram és az áramsűrűség között úgy teremthetünk könnyen kapcsolatot, ha a kérdéses A felületet dA elemi felületdarabokra bontjuk, és a felületelemeket vektoriális mennyiségként kezeljük. A dA felületelemet jellemző vektor iránya a felületelem normálisának irányába mutat, nagysága pedig a felületelem nagyságával arányos. Egy dA felületelemen átáramló dJ extenzív mennyiség $dJ = j \cdot dA$. így a J áram ezek után:

$$J = \int_A \mathbf{j} \cdot d\mathbf{A}$$

3.1.4. Extenzív mennyiség mozgásának okai

Most már csak az a kérdés milyen mechanizmussal megy át egy extenzív mennyiség egy adott felületen. Extenzív mennyiségek mozgásának okai a következők:

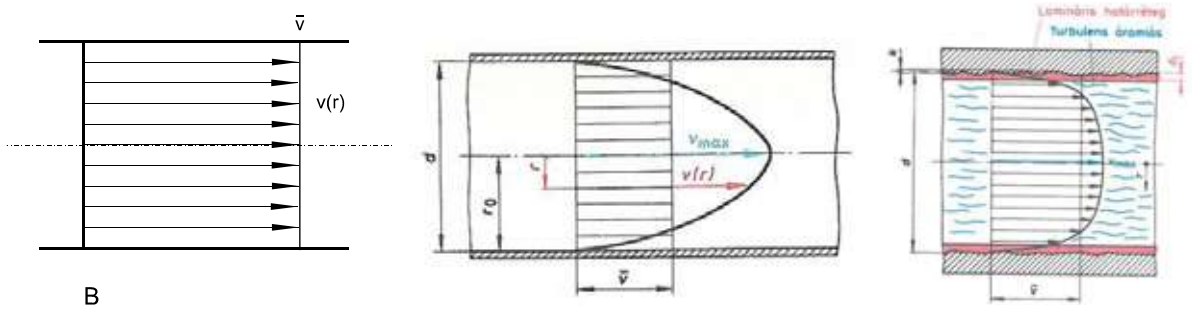
- konvektív: az extenzív mennyiségek mozgásának azt a részét, amely az anyag makroszkopikus mozgásából ered, konvektív áramnak nevezzük. A konvektív áram létezésének oka a közeg mozgása, a közeg mozgásának oka pedig az, hogy azt valamikor mozgásba hoztuk, és a mozgás lassulásához illetve megszűnéséhez vezető, áramlási veszteségeket, sebesség csökkenést okozó erőket pedig folyamatosan, valamilyen külső erővel kompenzáljuk.
- vezetéses (konduktív): az extenzív mennyiség egy nyugvó közegen keresztül jutott el a egyik helyről a másikra. Az ilyen típusú mozgás oka a fázist alkotó molekulák hő mozgásában (Brown mozgás) keresendő. A fázisban lévő energia- komponens- és impulzussűrűség inhomogenitása révén a rendszer kiegyenlítő folyamatokat indít el ennek következtében az extenzív mennyiség mozog. Az extenzív mennyiségek ezt az inhomogenitások kiegyenlítésre irányuló áramát vezetéses áramnak nevezzük.
- átadásos: két fázis határfelületén keresztül megy végbe. A határfelülethez extenzív mennyiség csak sűrűség gradiens hatására vezetéses árammal érkezhet, és ugyancsak vezetéses árammal távozhat a határfelülettől a másik fázisban. Az átszármaztatott extenzív mennyiség valahogyan mindkét fázisbeli vezetési együtthatóktól, és a fázisokban kialakult sűrűség-gradiensektől függ. A két vezetéses áram helyett a változók számának csökkentése érdekében használjuk az átadásos áramokat.

3.2. Lamináris és turbulens áramlás

A kis sebességeknél észlelhető zavartalan áramlást lamináris, réteges áramlásnak nevezzük. Réteges áramlás esetén az egymás mellett áramló folyadékrétegek anyaga csak a hőmozgás miatti molekulamozgások eredményeképpen keveredik egymással. Ha a kiömlő folyadék térfogatárama az időben nem változik, akkor a sebességvektor a cső bármely pontján az időben állandó, az áramlás stacionárius.

Nagy sebességeknél az áramlási tér egy adott pontján a sebességvektor ingadozása az egymás után áthaladó különböző méretű és intenzitású örvényekkel magyarázható. Ezt az örvényekre bomló igen bonyolult szerkezetű áramlást turbulens, gomolygó áramlásnak nevezik.

Az áramlás lamináris vagy turbulens jellegét nem csak az áramlási sebesség szabja meg, hanem a ν kinematikai viszkozitás és az áramlási tér geometriája is. A viszkozitás lényegében az áramlás irányára merőleges irányban szállított impulzusáramból eredő fékező, torlasztó erőhatásokat veszi figyelembe, míg a geometriai méret a teret határoló fal rendező szerepét hivatott reprezentálni. Az itt említett tényezők együttes hatását egy vd/ν dimenziómentes komplexben, az úgynevezett a Reynolds (Re) számban foglalhatjuk össze. Rezgéseknek, környezeti hatásoknak kitett, simafalú, üres cső esetében az áramlás jellegének megváltozása ~ 2300-as Re szám körül megy végbe.
Tekintsünk egy csövet, és tegyük fel, hogy a cső teljes keresztmetszetében azonos a sebesség (**3.1. ábra a.**). A cső egyenes, így minden folyadékelem ugyanakkora sebességgel ugyanakkora utat tesz meg. Az ily módon idealizált áramlási képet dugószerű (plug flow) áramlásnak nevezik. Lamináris áramlás esetén parabolikus sebességprofil alakul ki (**3.1. ábra b.**).



a.) b.) c.)

3.1. ábra: Dugószerű áramlás (a.), lamináris áramlás (b.) és turbulens áramlás (c.) csőben

3.3. Tartózkodási idő

A nagyüzemi folyamatos vegyipari termelés egymás után szervezett fázisérintkeztetéseken keresztül valósul meg. Ehhez a fázisokat be kell vinni a berendezésbe, időt kell biztosítani a megfelelő változás bekövetkezéséhez, majd a fázist illetve fázisokat el kell távolítani a berendezésből. Folyamatos művelet esetén a fázisok az esetek zömében egyenletesen, azonos tömegáramban lépnek be a berendezésbe, és természetesen egyenletes áramban is távoznak onnan. A változáshoz annyi idő áll rendelkezésre, amennyit a fázis a berendezésben eltölt.

Szakaszos termelés esetén a fázisokat bemérik a berendezésbe, segédfázisok alkalmazásával (fűtés, hűtés, stb.) változásra alkalmas állapotba hozzák, majd megfelelő idő eltelte után a változásokat rögzítik (reakció befagyasztás) és a fázisokat a készülékből kiürítik. Szakaszos reaktorokban a változásra szánt idő jól tervezhető, míg a folyamatos technológiákban, illetve a szakaszos berendezés előkészítő vagy segéd műveleteiben az időt a mozgó fluidum sebességéből és a készülékben megtett útból lehet meghatározni.
Ennek megfelelően a szakaszos berendezésekben a tartózkodási idő könnyen definiálható. Egy szakaszos berendezésben minden molekula vagy fáziselem azonos ideig tartózkodik, mivel a töltés és ürítés időtartama általában elhanyagolható a művelet időtartamához képest.
Ezzel ellentétben a folyamatos működésű műveleti egységek intenzív állapotjelzői stacioner állapotban nem függnek az időtől. Geometriáját tekintve egy folyamatos műveleti egység lehet üstszerű, vagy csőszerű. Azonban bármilyen geometriájú is a berendezés nem lehet pontosan megmondani, mennyi időt tölt el egy molekula a készülékben, hiszen a fluidumelemek különböző utakat bejárva más-más tartózkodási idővel rendelkeznek. Csak azt tudjuk megmondani, hogy a fluidum elem milyen valószínűséggel lép ki egy adott időintervallumban.
A készülékbe belépő, kilépő vagy a készülékben tartózkodó fluidum elemek a tartózkodási idő szempontjából statisztikus sokaságot képeznek, így a fluidum elemek koreloszlását valószínűségi függvények segítségével írhatjuk le. Ezek a függvények kísérleti technikák segítségével is meghatározhatók.
A tartózkodási idő tehát egy valószínűségi változó, amelynek van várható értéke, szórása, eloszlása és sűrűségfüggvénye.

Irodalomjegyzék és ajánlott irodalom

Dr. Szolcsányi Pál, Dr. Szánya Tibor: Vegyipari Műveletek I. kézirat, Veszprémi Vegyipari Egyetem, Vegyipari Műveletek Tanszék, Veszprém, 1983

Rippelné Dr. Pethő Dóra: Vegyipari műveleti laboratóriumi gyakorlatok, Pannon Egyetem, online jegyzet, 2021

Fonyó Zsolt, Fábry György: Vegyipari művelettani alapismeretek, Nemzeti tankönyvkiadó, Budapest, 2004

Dr. Argyelán János: Transzportfolyamatok, Pannon Egyetem Kiadó, 2009