

# Kémiai technológia

Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

Kun Róbert



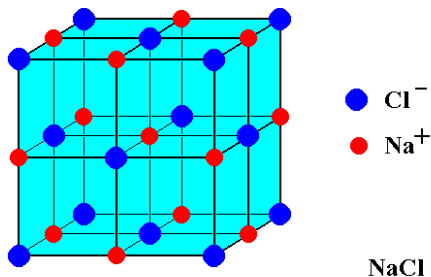
# A szervetlen vegyipar ágazatai

## A kősó ipari felhasználása

### Szódagyártás és kősó elektrolízis

## A kősó

NaCl  
(halit)



A konyhasótól különbözik abban, hogy mindig szennyeződik más evaporitokkal, illetve törmelékes vagy szerves üledékkel.



korrozív



irritatív

## Tulajdonságai

- Kristályos vegyület
- Színtelen/áttetsző
- Szagtalan
- Mohs 2
- Ionrácsos vegyület
- Sós íz
- Vízen oldódik, oldat kémhatása semleges
- Vizes oldata és olvadéka jól vezeti az elektromos áramot (jó elektrolit)
- Stabil vegyület, magas hőmérsékletre hevítve sem bomlik
- A lángot élénksárgára festi (lángfestés)

## Felhasználása

- Élelmezési célok, élelmiszeripar
- Tartósító eljárások
- Cl<sub>2</sub>, HCl, stb. kiindulási alapanyaga
- Na-vegyületek nyersanyaga

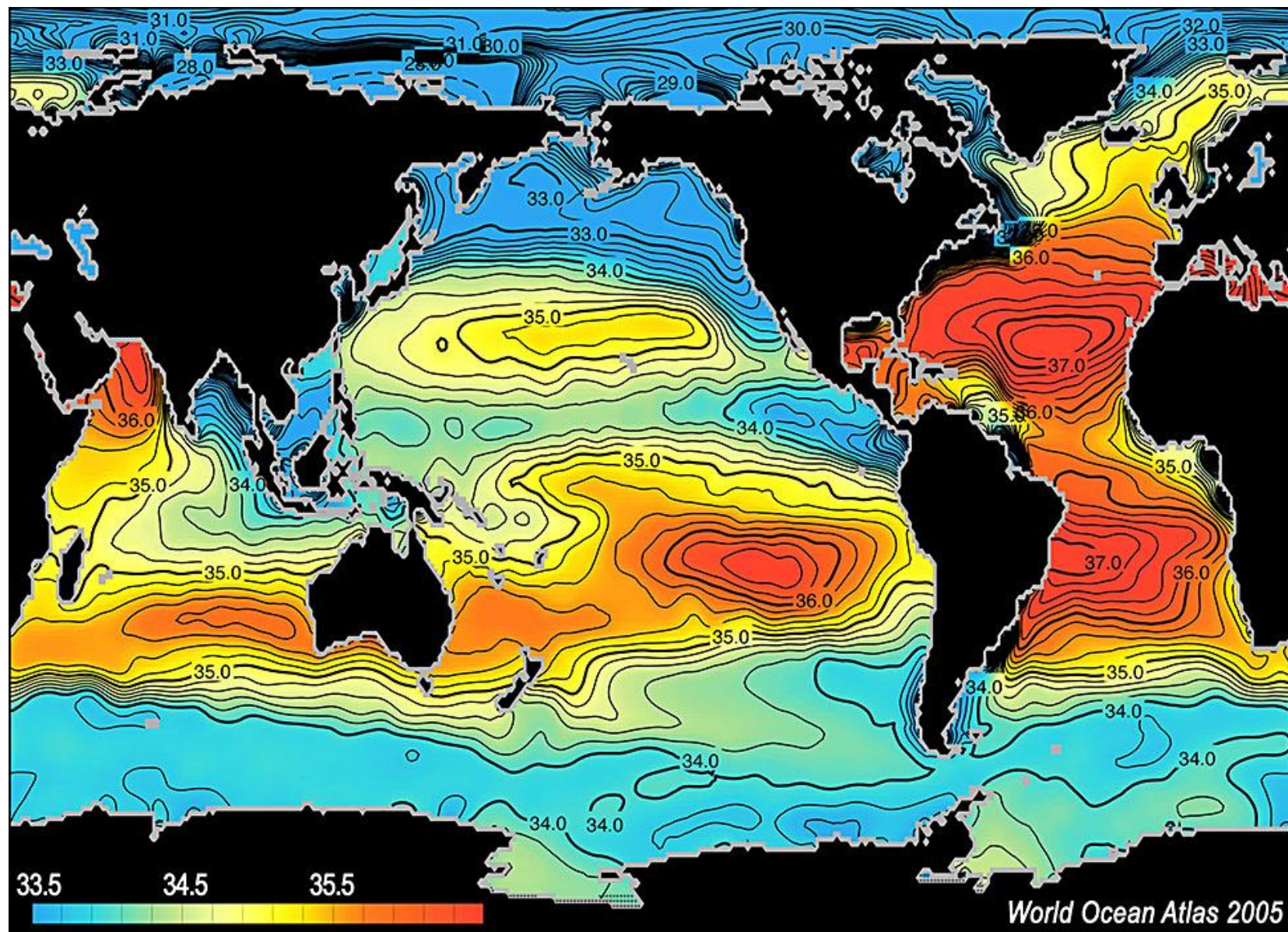
## A kősó előfordulása

### 1) tengerek, óceánok

A NaCl igen nagy mennyiségben fordul elő a Föld felszínén, főként a világtengerekben, óceánokban.

Ezek kb. 2,8-3,7% (3,5%) oldott **só**t tartalmaznak, melynek kb. 80%-a NaCl.

Tengerek sókoncentrációja (*salinity*) függ a földrajzi helytől, klimatikus viszonyoktól (jég beolvadás, tengervíz párolgás, esőzések, stb.)



## A kősó előfordulása

Holt-tenger (Izrael és Jordánia határvidékén)



Lefolyás nélküli tavak és tengerek esetén magasabb sókoncentráció alakulhat ki. Ilyen például a Holt-tenger. A sókoncentráció gyakran annyira megnő, hogy az oldat túltelítetté válik, és a só kikristályosodik.

## A kősó előfordulása

### 2) sótelepek

Nyílt tengerektől elszakadt tengerrészek beszáradásakor keletkeztek. Tengerben oldott sókat tartalmazza (legnagyobb mennyiségben NaCl-t). Emellett NaBr, NaI,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , és tartalmaznak  $\text{K}^+$ -,  $\text{Mg}^{2+}$ - és  $\text{Ca}^{2+}$ -sókat is (utóbbiak főként a sótelepek fedőrétegében találhatóak).



Ojibway sóbánya, Windsor, Ontario (CND)

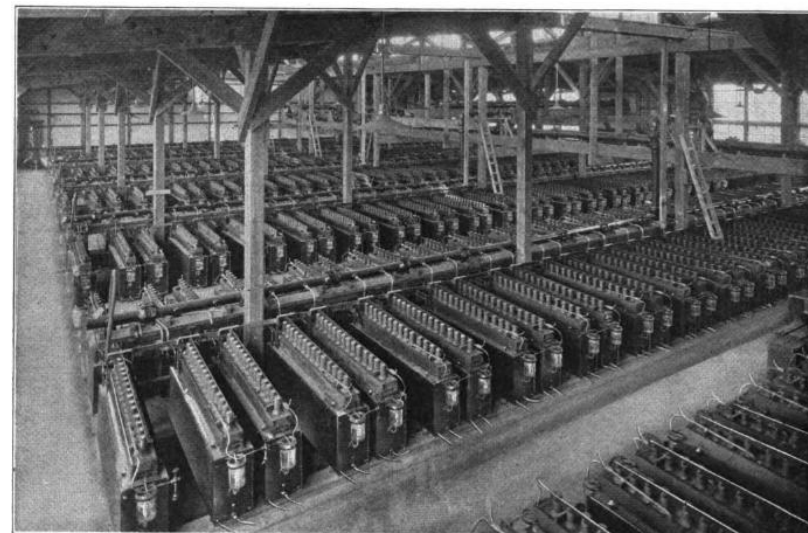
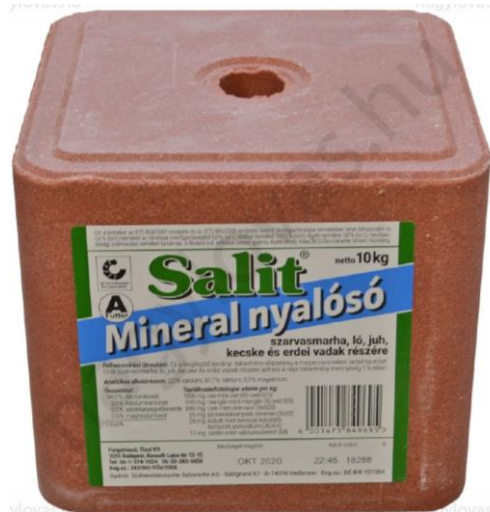


Sóbánya, Parajd (Hargita, RO) – „A parajdi sótelep Európa egyik legnagyobb sótartáléka, a sótömsz maga 1,2 km × 1,4 km átmérőjű, enyhén ellipszis alakú és 2700 m mélységbe gyökerezik.”

# A kősó felhasználása és jelentősége

## 1) Ipari felhasználási lehetőségei

- fontos vegyipari/kémiai alapanyag, Na-vegyületek kiindulási anyaga
- tömény vizes oldatának elektrolízisével NaOH-ot ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2$ ) készítenek (klóralkáli-elektrolízis)
- Szóda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) kiindulási nyersanyaga
- Bőrcterzés
- Zománcipar
- Hűtőkeverék készítés
- Jégmentesítés
- Takarmányozás



## 2) Gyógyászati felhasználás

- Fiziológias oldat: 0,9%-os NaCl oldat a fiziológias vagy izotóniás sóoldatként (infúzió).

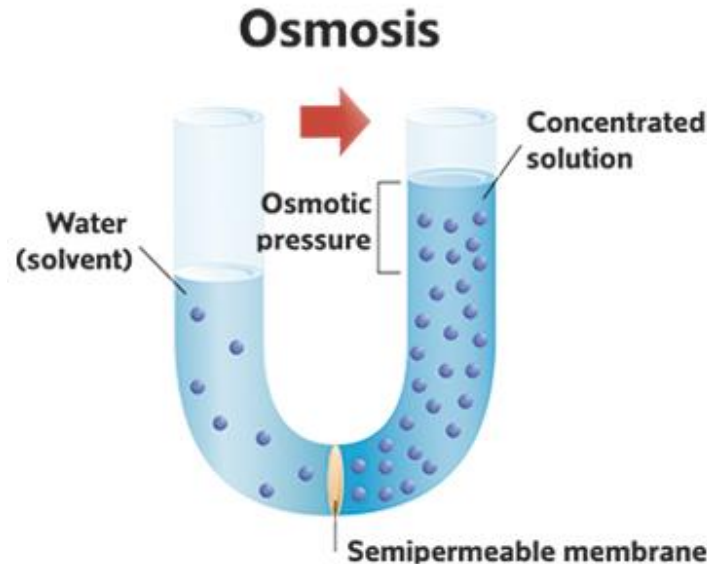


# A kősó felhasználása és jelentősége

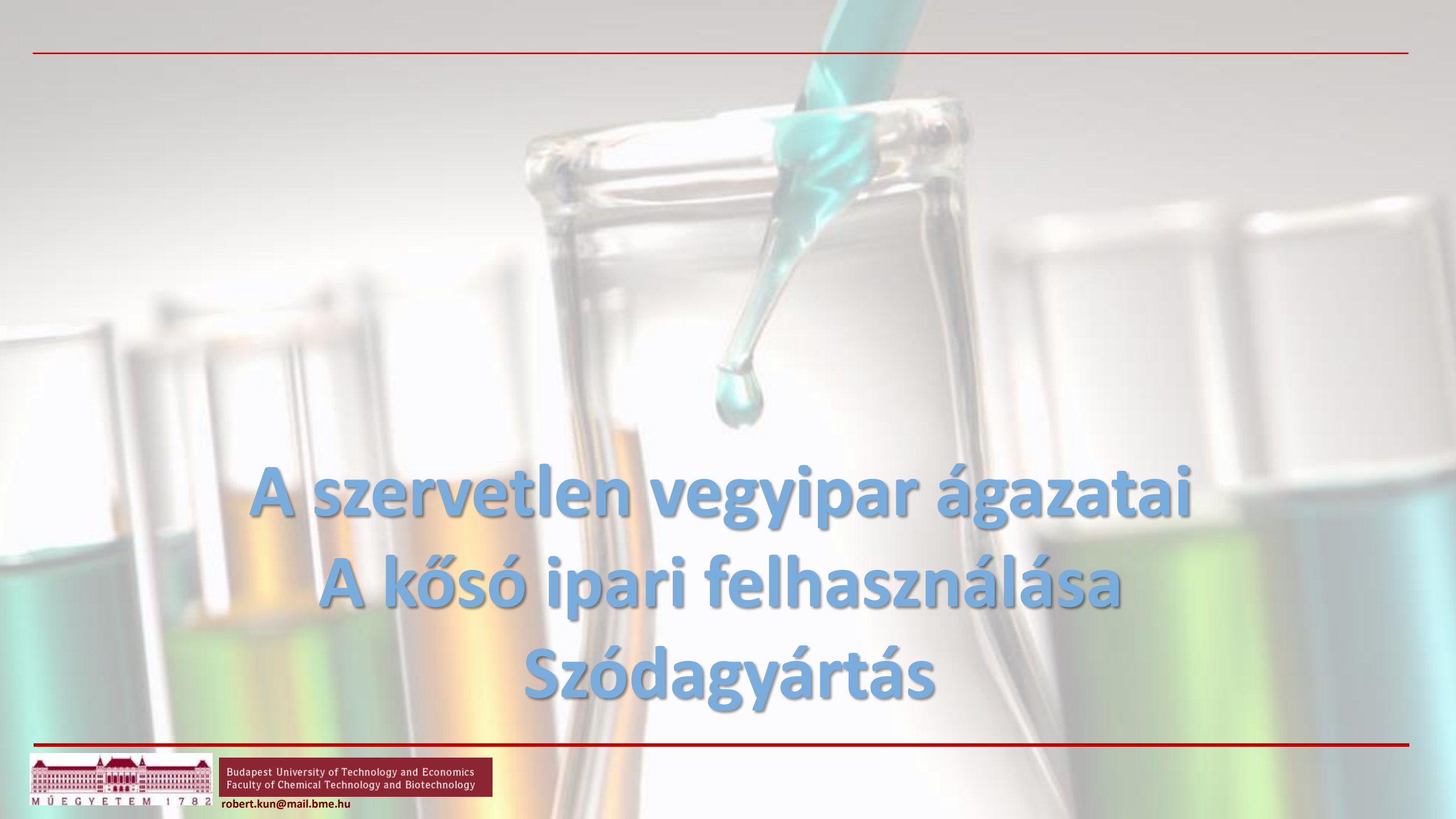
## 3) Élelmiszeripari felhasználási lehetőségei

- Ízesítőszer (konyhasó, jódosított só (KI, vagy  $KIO_3$ -tal adalékolt só))
- Tartósítószer:

*A só szárít, vagyis kivonja a vizet az ételekből (ozmózis jelenségén alapszik). A só hatására a víz kifelé áramlik a sejtmembránon keresztül, mert a membrán mindkét oldalán igyekszik azonos nyomású, azonos sótartalmú oldatot létrehozni. Ez bizonyos sómennyiségnél már lehetetlen: ha elég sót adunk az élő anyaghoz – zöldségek, gyümölcsök, húsok, halak, sajtok felületén vagy bennük élő baktériumokhoz –, az vizet von ki a sejtekből, és nem tud életben maradni, vagy szaporodni.*







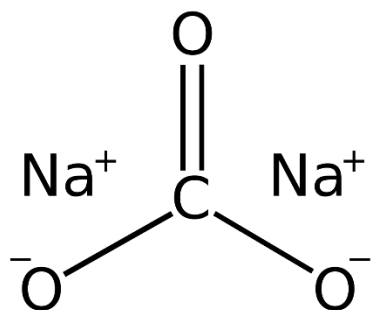
# A szervetlen vegyipar ágazatai

## A kősó ipari felhasználása

### Szódagyártás

# Szódagyártás

A **nátrium-karbonát** (mosószóda, szóda, sziksó) a szénsav nátriumsója, képlete  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .



irritatív

## Tulajdonságai

- szilárd halmazállapotú
- fehér, higroszkópos, kristályos por
- vízben kitűnően oldódik
- vizes oldata lúgos ( $\text{pH} > 7$ ) kémhatású

## Felhasználása

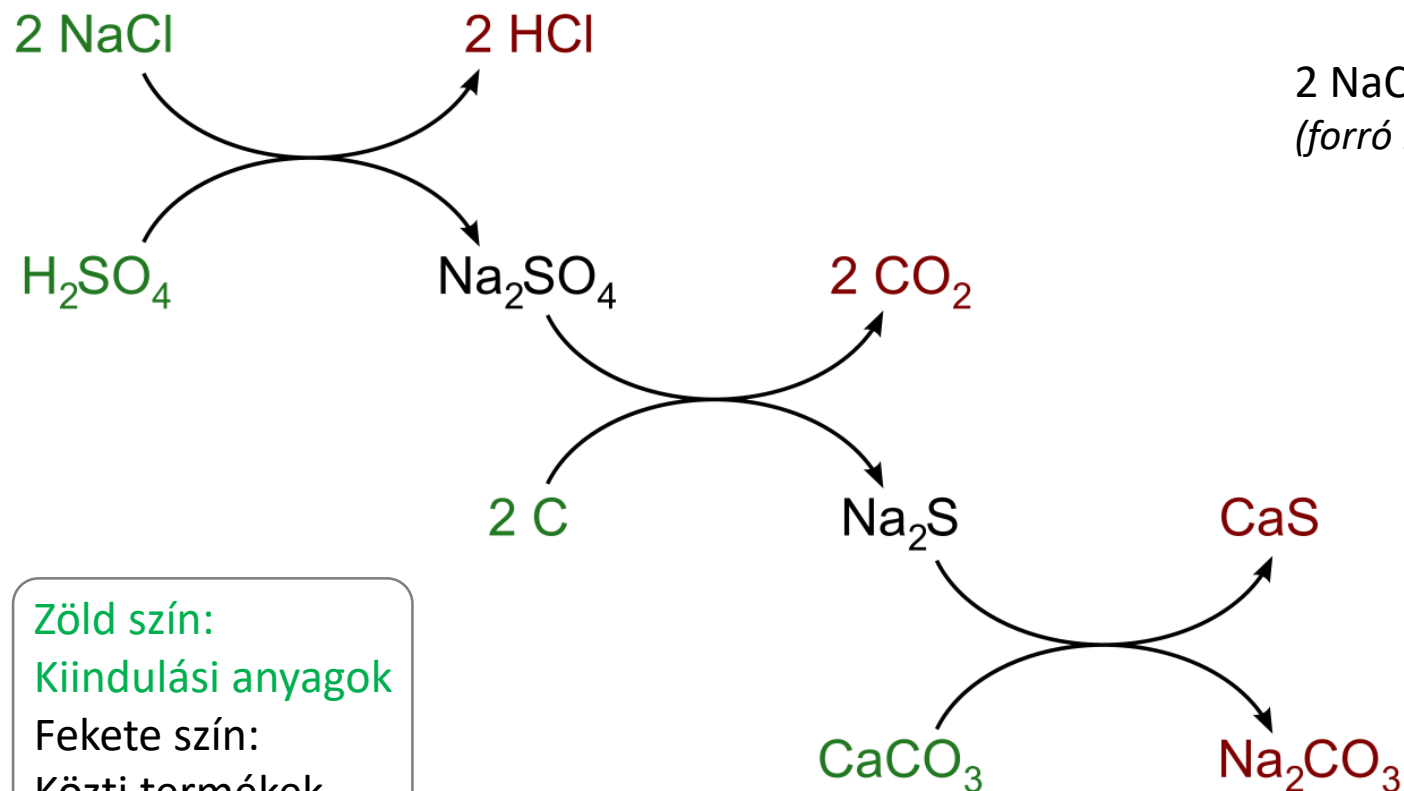
- mumifikálás
- üveggyártás
- vízlágyító
- savanyúságot szabályozó anyag (E500)
- mosószerként a textiliparban
- lúgosító anyagként előhívókban
- penészedésgátló alapanyag szódabikarbónával ( $\text{NaHCO}_3$ ) és trisóval ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) keverve



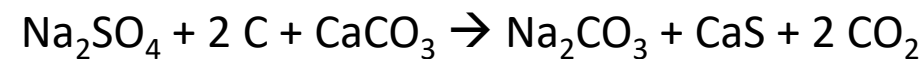
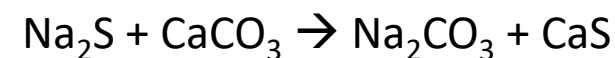
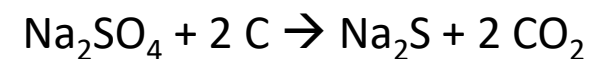
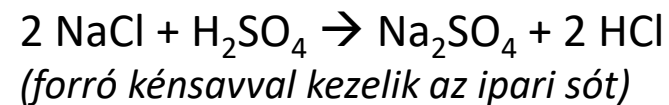
## Szódagyártás

## Leblanc-eljárás

(tudománytörténeti jelentőségű, nincs használatban)



Zöld szín:  
Kiindulási anyagok  
Fekete szín:  
Közti termékek  
Piros szín:  
Végtermékek



(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-ot keverik mészkővel és szénnel, majd kiégetik.  
A keletkező szódát vízzel mosták ki és kristályosították)

elemi szén (C<sup>0</sup>) – szén-dioxiddá (C<sup>4+</sup>) oxidálódik  
szulfát (S<sup>6+</sup>) – szulfiddá (S<sup>2+</sup>) redukálódik

### Rendkívül környezetszennyező eljárás:

- 1) felszabaduló HCl gáz
- 2) CaS elbomlása a kihelyezése után  
(CaS + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O → CaCO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>S)

## Leblanc-eljárás

*Érdekesség:*

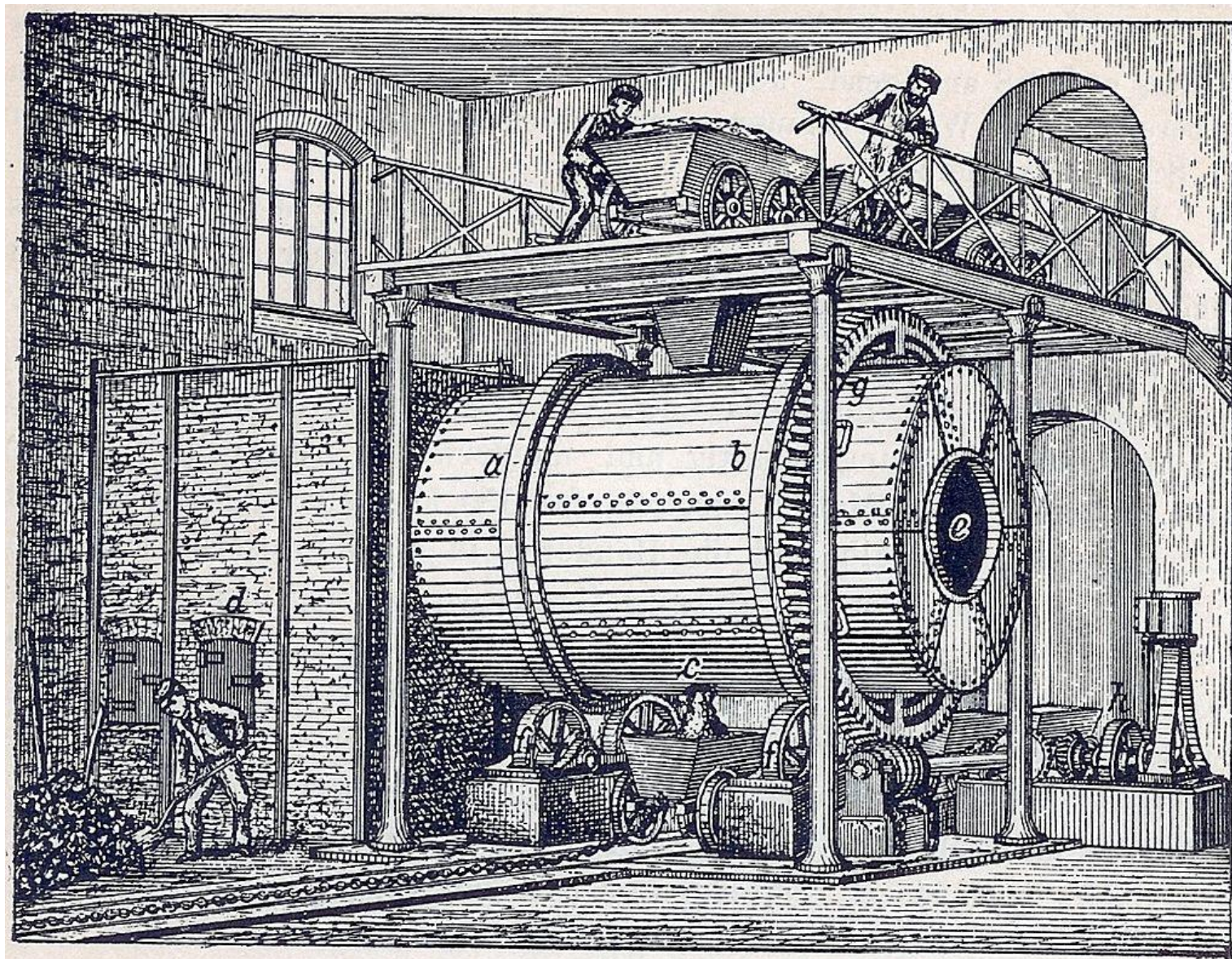
A Solvay-féle szódagyártási eljárás megjelenése és elterjedése után a Leblanc-eljárás fő terméke az addig szabadba kiengedett HCl gáz és az abból előállított sósav lett.

Abból aztán nagy volumenben készítettek **klór-gázt** és **klórmészet**.

*(klórmész: Oltott mészre ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) klórgázt ( $\text{Cl}_2$ ) vezetnek. A mész a klórt elnyeli és klórmész ( $\text{Ca(OCl)}_2$ ) keletkezik.*

*A klórmész fehér, kristályos anyag, amelyet fertőtlenítésre és fehéritésre használnak.*

*Klórmészet először Semmelweis Ignác használt kézfertőtlenítésre, hogy megelőzze a gyermekágyi lázat.)*



Ábrázolás a 18. sz.-ból

# Szódagyártás

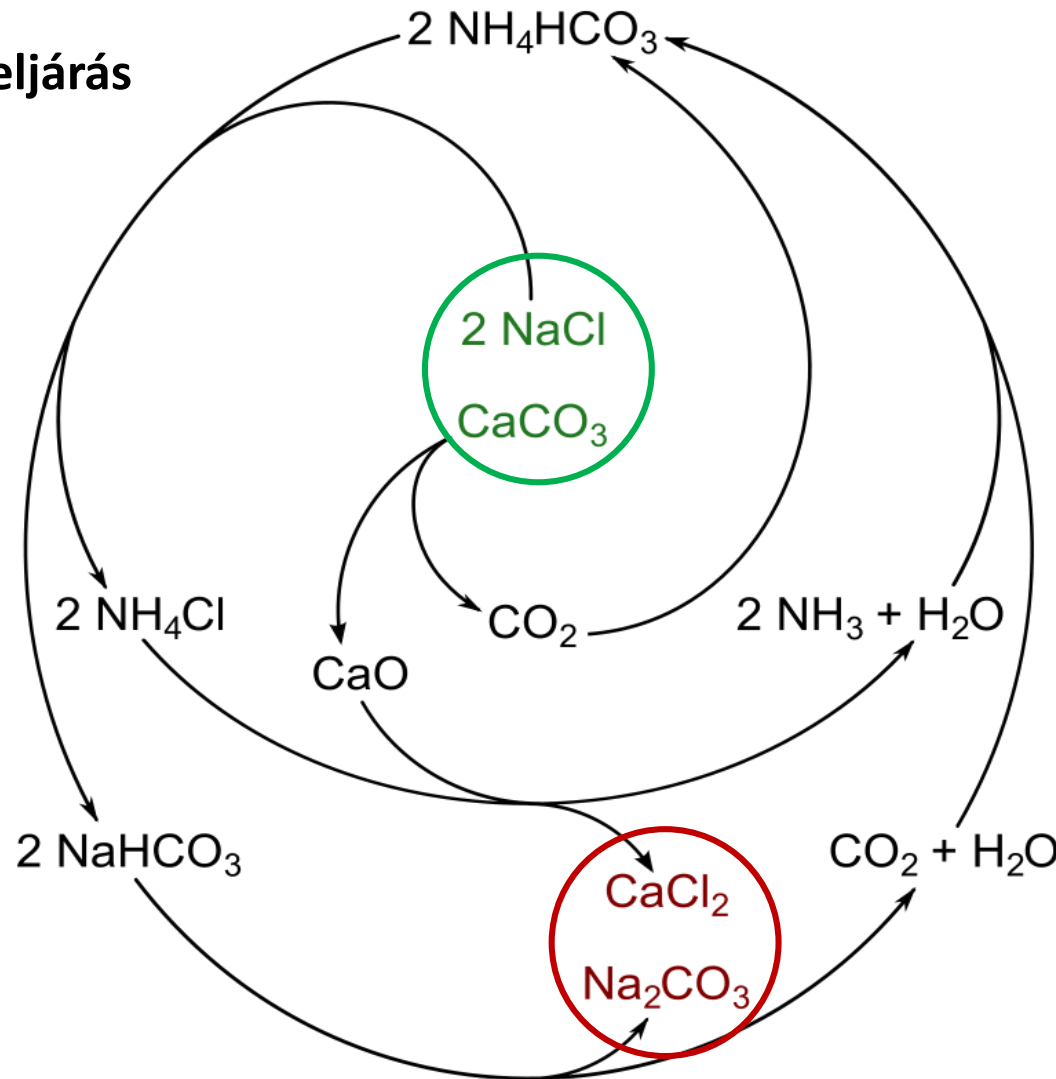
## Solvay-eljárás



**SOLVAY**

Solvay cégcsoport éves  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  termelése kb. 7 millió tonna (2010)

**Zöld szín:**  
Kiindulási anyagok  
**Fekete szín:**  
Közti termékek  
**Piros szín:**  
Végtermékek



### Kiindulási anyagok:

- Só
- Mésző
- (Ammónia) recirkulál, veszteséget kell csak pótolni!

### A folyamat főbb lépései:

- 1) Mészégetés
- 2) Tömény sóoldat ammonizálása
- 3) Na-bikarbonát hevítése
- 4) Ammónia visszanyerés

## Szódagyártás – Solvay-eljárás

### A folyamat főbb lépései:

- 1) Mészégetés
- 2) sóoldat ammonizálása
- 3) Na-bikarbonát hevítése
- 4) Ammónia visszanyerés



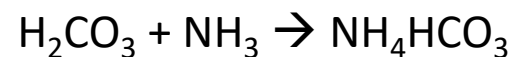
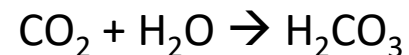
### A folyamat főbb lépései:

- 1) Mészégetés
- 2) Tömény sóoldat ammonizálása
- 3) Na-bikarbonát hevítése
- 4) Ammónia visszanyerés



*(Tömény sóoldatba ammóniát és szén-dioxidot engednek. Na-bikarbonát leválik és elválasztják a megmaradt NH<sub>4</sub>Cl oldattól.)*

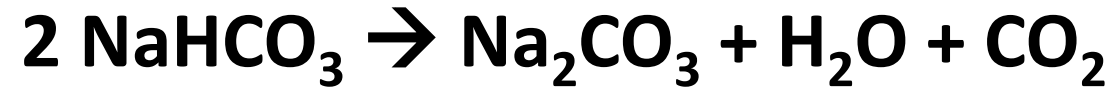
Részlépések:



## Szódagyártás – Solvay-eljárás

### A folyamat főbb lépései:

- 1) Mészégetés
- 2) sóoldat ammonizálása
- 3) Na-bikarbonát hevítése
- 4) Ammónia visszanyerés



*(a termék szóda keletkezik és a CO<sub>2</sub>-ot visszavezetik a 2. lépéshez)*

### A folyamat főbb lépései:

- 1) Mészégetés
- 2) sóoldat ammonizálása
- 3) Na-bikarbonát hevítése
- 4) Ammónia visszanyerés



*(1. lépés melléktermékét (CaO) felhasználják ammónia visszanyerésre, a felszabaduló ammóniát visszavezetik a 2. lépéshez)*

**Solvay-eljárás hátránya: nagy mennyiségű CaCl<sub>2</sub> keletkezik!** (CaCl<sub>2</sub> felhasználása: szárítószer, jégmentesítés, E509 – szilárdítóanyag élelmiszeriparban - sajt, tofu, konzerv gyümölcs/zöldség, kicsapódó kazein tulajdonságait befolyásolják vele a sajtgyártás során)



# A szervetlen vegyipar ágazatai

## A kősó ipari felhasználása

### Kősó elektrolízis



---

## Kősó elektrolízis – alkáli-klorid-elektrolízis

- Az elektrokémiai ipar része
- A technológia az *elektrolízis* jelenségen alapszik

### Az elektrokémiai ipar legfontosabb eljárásai:

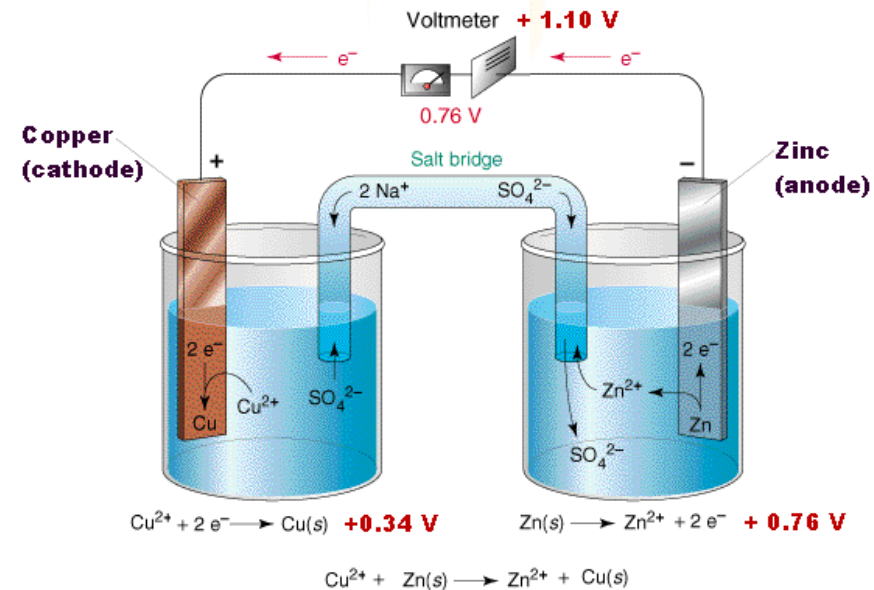
- Elektrolitos vízbontás (termékei:  $H_2$  és  $O_2$ )  $\rightarrow$   $H_2$  gyártás/ammónia, P2G koncepció
- Alkáli-klorid oldatok elektrolízise (termékei: NaOH,  $Cl_2$ ,  $H_2$ , NaOCl)
- Alumínium-elektrolízis, Hall-Héroult eljárás

## Elektrolízis?

- Az **elektrolízis** az elektromos áram hatására végbemenő elektrokémiai folyamat.
- Az egyenáram hatására redoxi reakciók mennek végbe, tehát *elektromos energia* alakul át *kémiai energiává*.
- Az elektrolízis során végbemenő reakciók energiaigényes folyamatok, melyek **önként nem mennek** végbe (energiabefektetés szükséges, lásd akkumulátor töltése!).

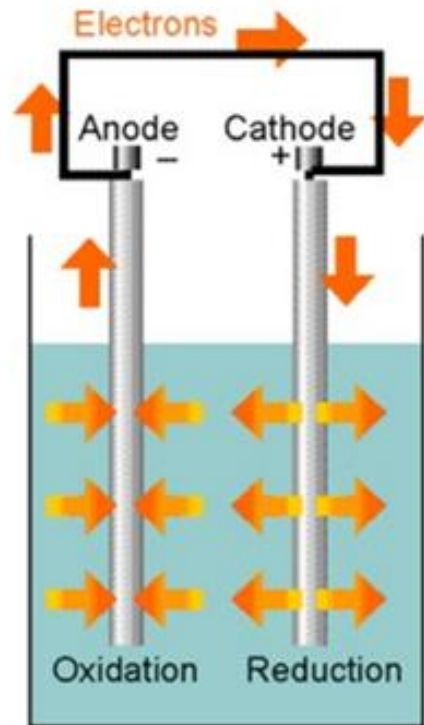
## Emlékeztetőül:

A **galvánecellában** *kémiai energia* alakul át *elektromos energiává*.  
Kisütés során **spontán** lejátszódnak a térben elválasztott redoxi reakciók.

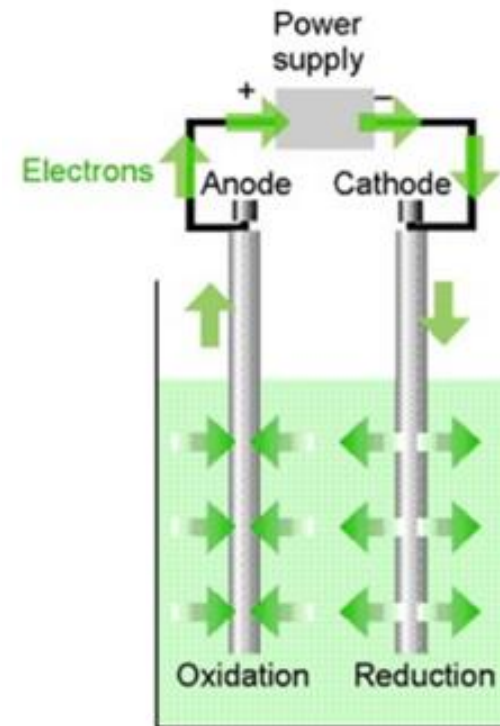


## Galváncella vs. Elektrolizáló cella

**Spontán** végbemenő elektrokémiai reakció;  
Kémiai E → → Elektromos E  
Az e<sup>-</sup> -ok hasznos munkavégzése




Elektromos áram hatására lejátszódó elektrokémiai reakció  
Elektromos E → → Kémiai E  
Anyagátalakulás (elektrolízis)




Az *elektrolizáló cella* egy **elektrolit** oldatból (vagy só olvadékból) és **két elektródból** (anód és katód) áll, melyekre a megfelelő galvánelem elektromotoros erejénél nagyobb feszültségű **egyenáramot** **kapcsolnak**.

## A galványcella esetén

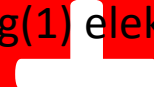
- Spontán oxidáció
- Oxidációs szám nő
- Anyag(1)  elektronokat ad le
- Anód a negatív pólus

Anód


- Spontán redukció
- Oxidációs szám csökken
- Anyag(2)  elektronokat vesz fel
- Katód a pozitív pólus

Katód

## Az elektrolizáló cella esetén

- Kényszerített oxidáció
- Oxidációs szám nő
- Anyag(1)  elektronokat ad le
- Anód a pozitív pólus

A negatív ionok vagy anionok az elektronhiánnyal rendelkező, pozitív töltésű anód felé vándorolnak, és ott oxidálódnak (egy vagy több elektront adnak le).

- Kényszerített redukció
- Oxidációs szám csökken
- Anyag(2)  elektronokat vesz fel
- Katód a negatív pólus

A pozitív ionok vagy kationok az elektronfelesleggel rendelkező, negatív töltésű katód felé vándorolnak, és ott redukálódnak (egy vagy több elektront vesznek fel).

# Elektrolízis törvényszerűségei

## Faraday elektrolízis törvények

Faraday első elektrolízis-törvénye:

Az elektrolízis során az elektródokon képződő anyag tömege arányos az áthaladó elektromos töltésmennyiséggel. Eszerint mivel adott anyag esetén  $M$  és  $z$  konstansok, minél nagyobb a  $Q$  értéke, annál több anyag fog képződni ( $m$ ).

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

*Konstans áramerősségű  
egyenárammal végzett  
elektrolízis estében ( $Q = I \cdot t$ )*

$m$  = az elektrolízis során képződő anyag mennyisége (g)

$M$  = moláris tömeg (g/mol)

$Q$  = töltésmennyiség (C)

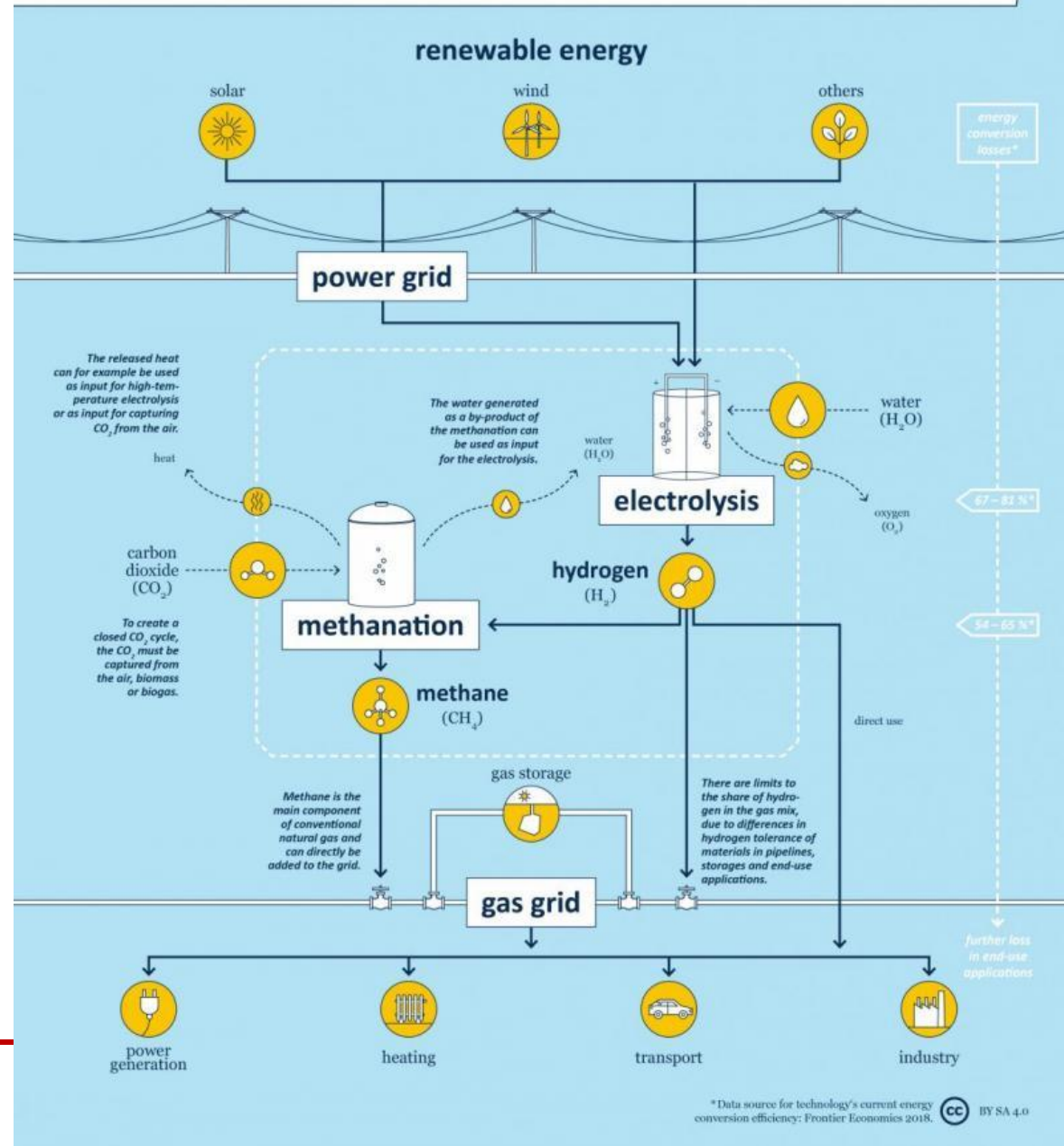
$z$  = töltésszám (*dimenzió nélkül*)

$F$  = Faraday állandó ( $F = 96\,485$  C/mol)

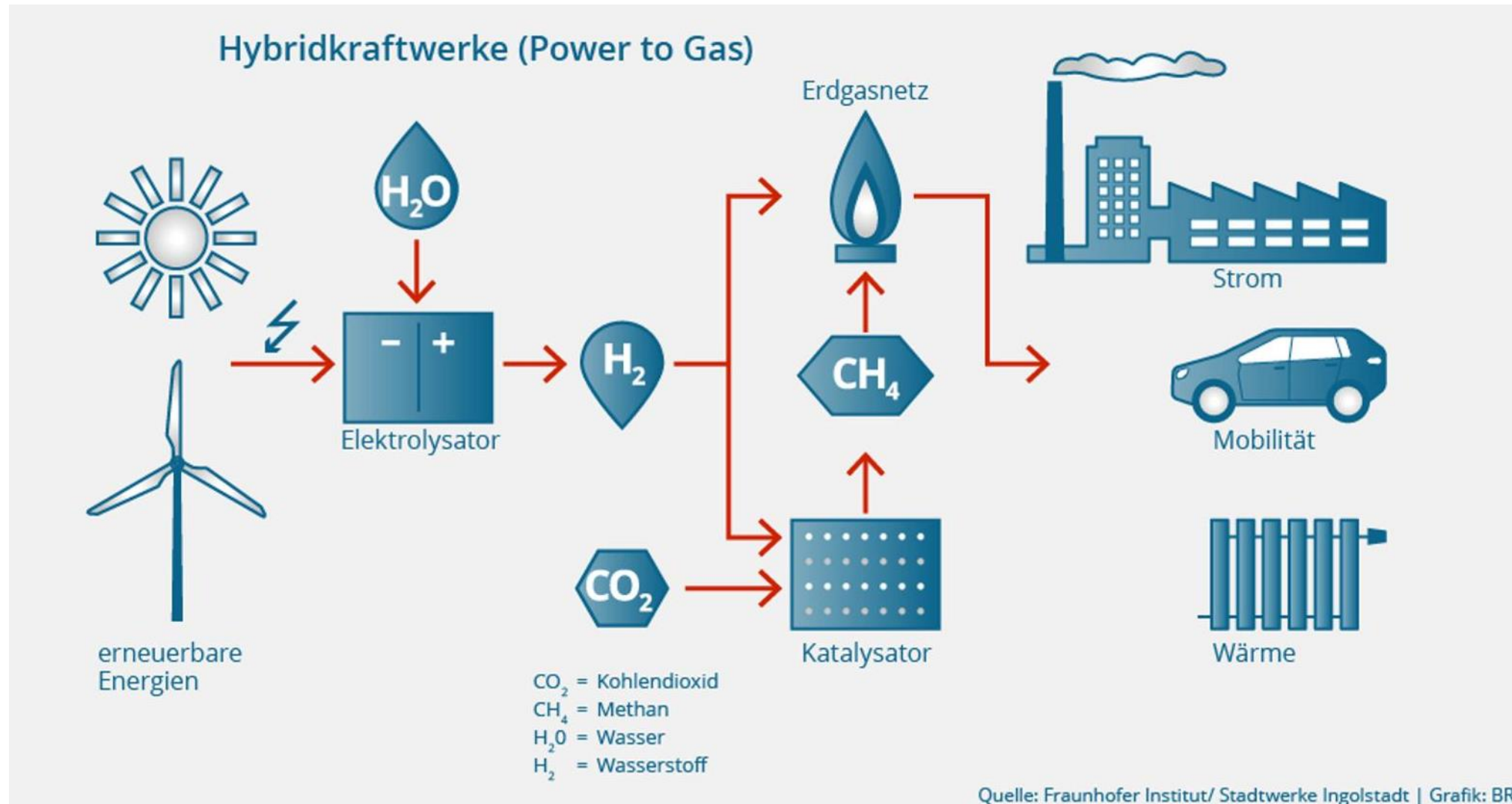
$I$  = áramerősség (A)

$t$  = idő (s)

# A „power-2-gas” koncepció

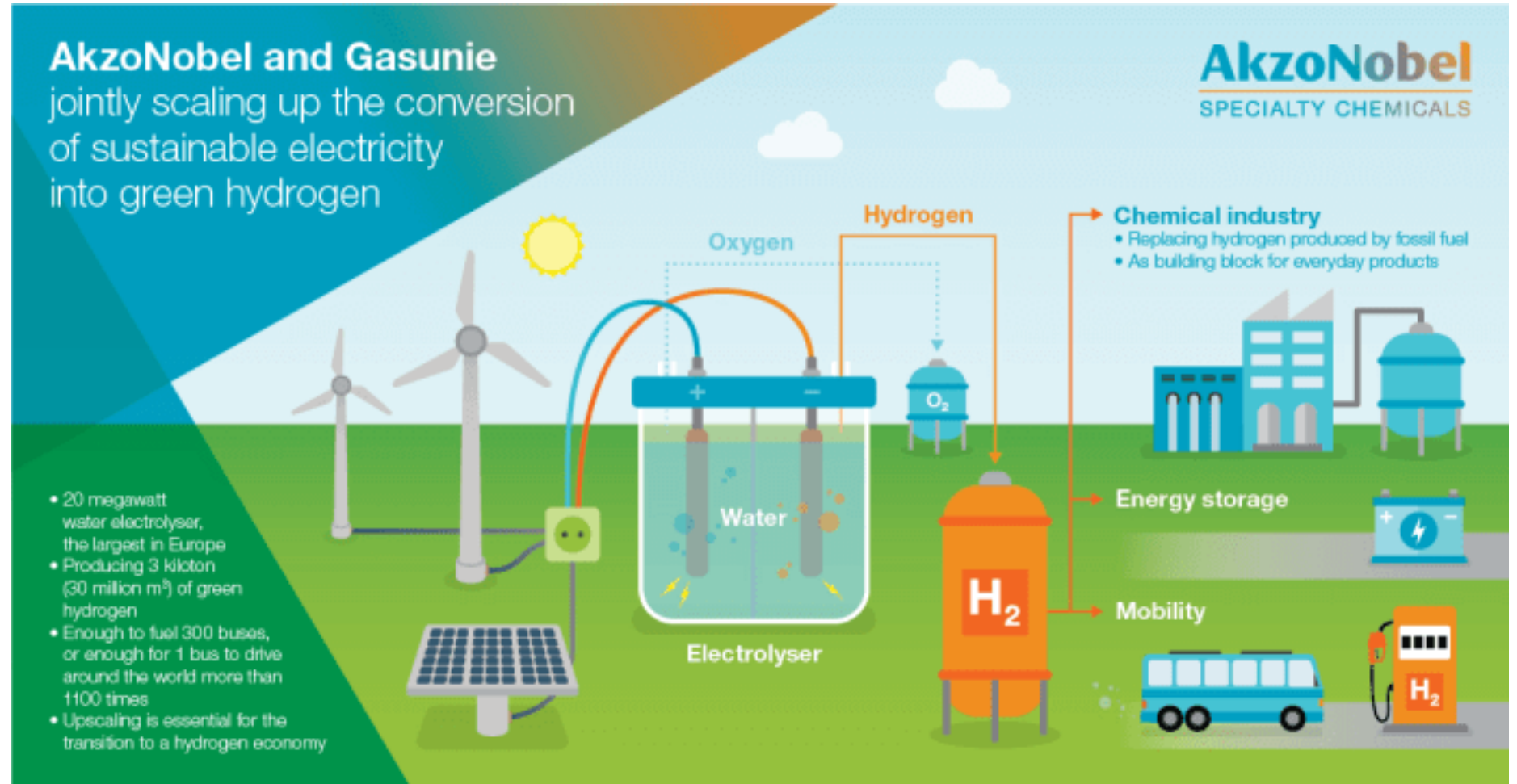


# Vízbontás elektrolízissel



## Vízbontás elektrolízissel

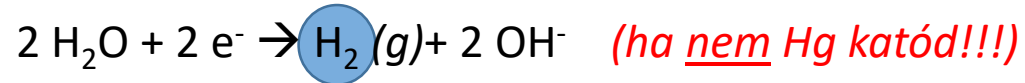
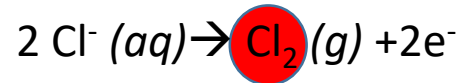
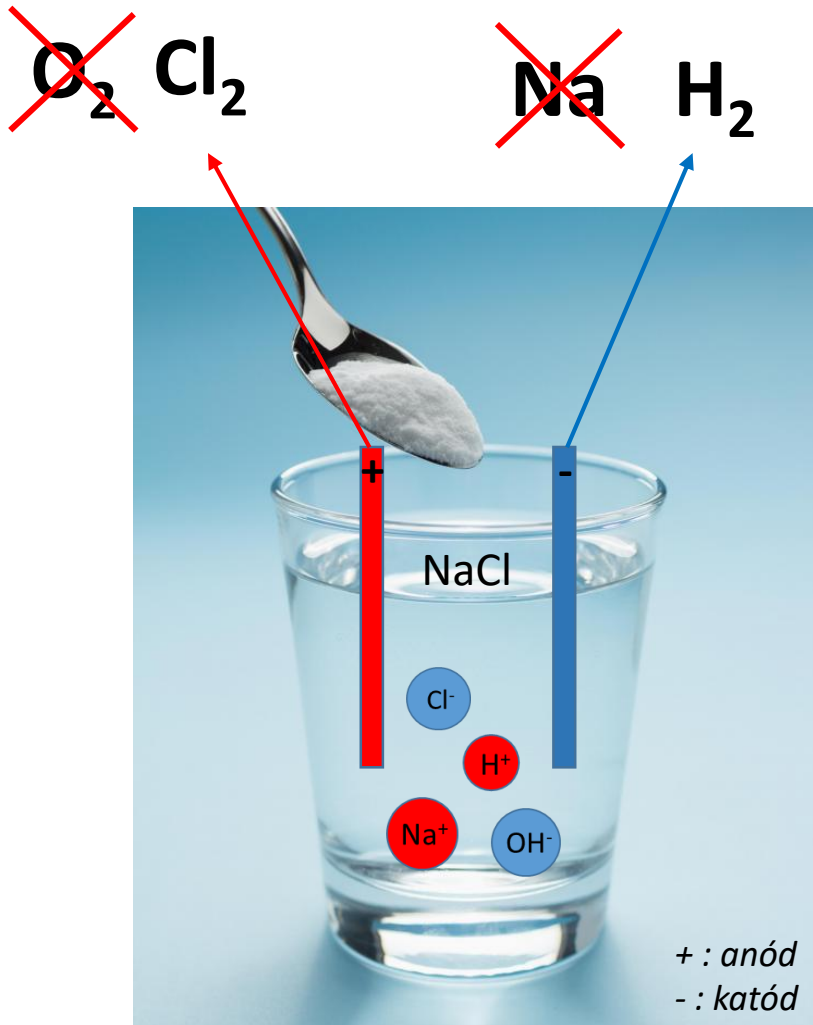
A termelt H<sub>2</sub> közvetlen mobilitási felhasználása (FC – *fuel cell* járművekben)



- 20 MW-os víz elektrolizáló (EU-ban a legnagyobb)
- 3000 t (ekv. 30 millió m<sup>3</sup>) „zöld” hidrogén-gáz
- Ez a mennyiség elegendő 300 db FC busz üzemeltetésére (vagy 1 busz több, mint 1100x tudná ezzel megkerülni a Földet)



## Alkáli-klorid (NaCl) oldatok elektrolízise



} Klór-durranógáz!



Az anódon klórgáz keletkezik (oxigén helyett).

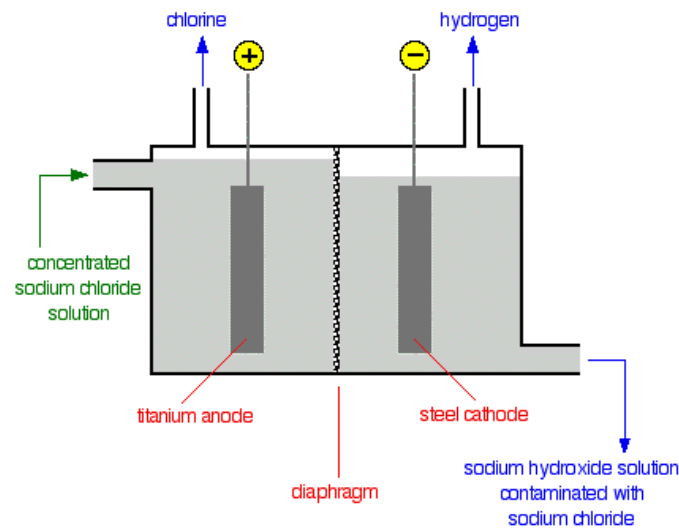
A katódon vízbontás történik és hidrogén-gáz keletkezik. Nem történik Na leválás, ha a katód anyaga nem Hg! → → az oldat a katód körül ellúgosodik.

Túlfeszültségek...

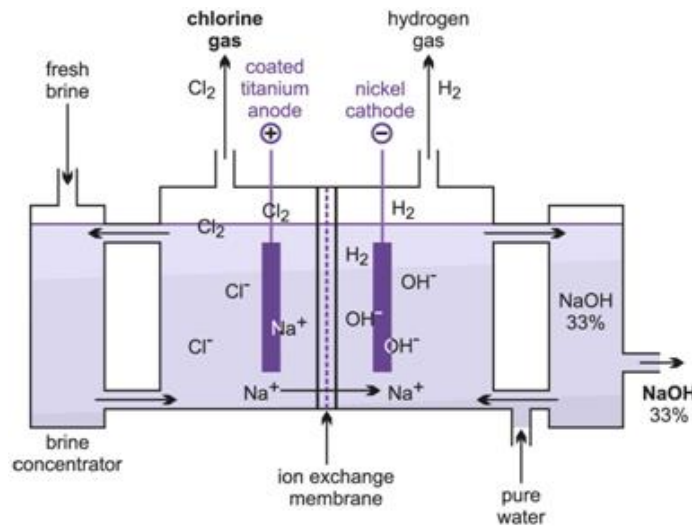
Közös jellemzője valamennyi eljárásnak, hogy a lúgos katódtér elkülönül az anódtértől.

Az elkülönítés alapján

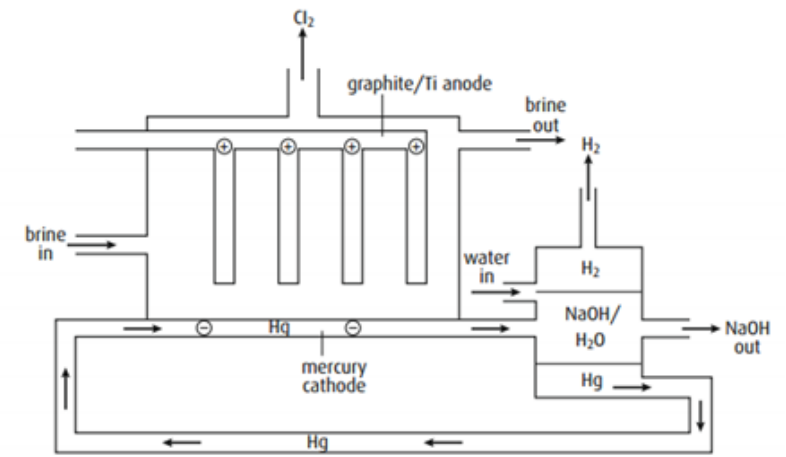
Diafragmás-eljárás



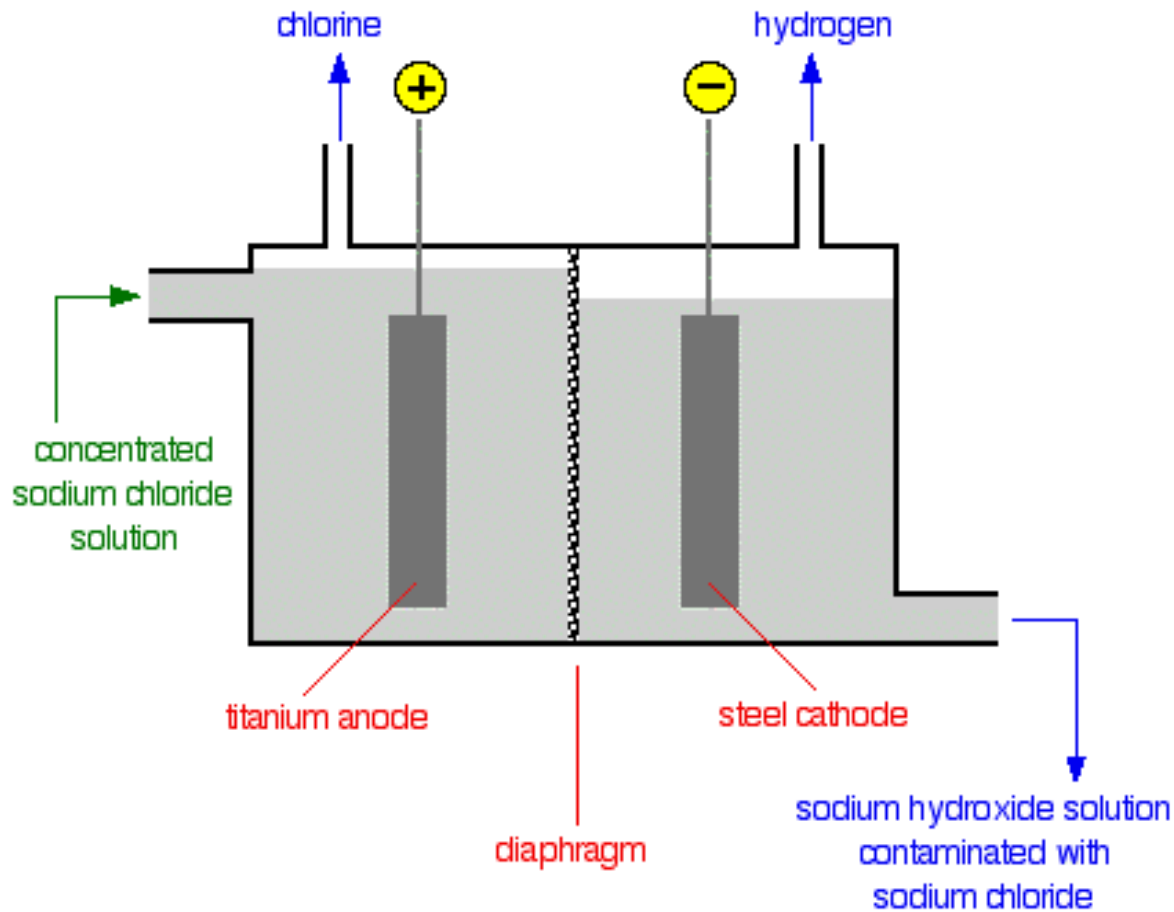
Membrános-eljárás



Higanykatódos-eljárás

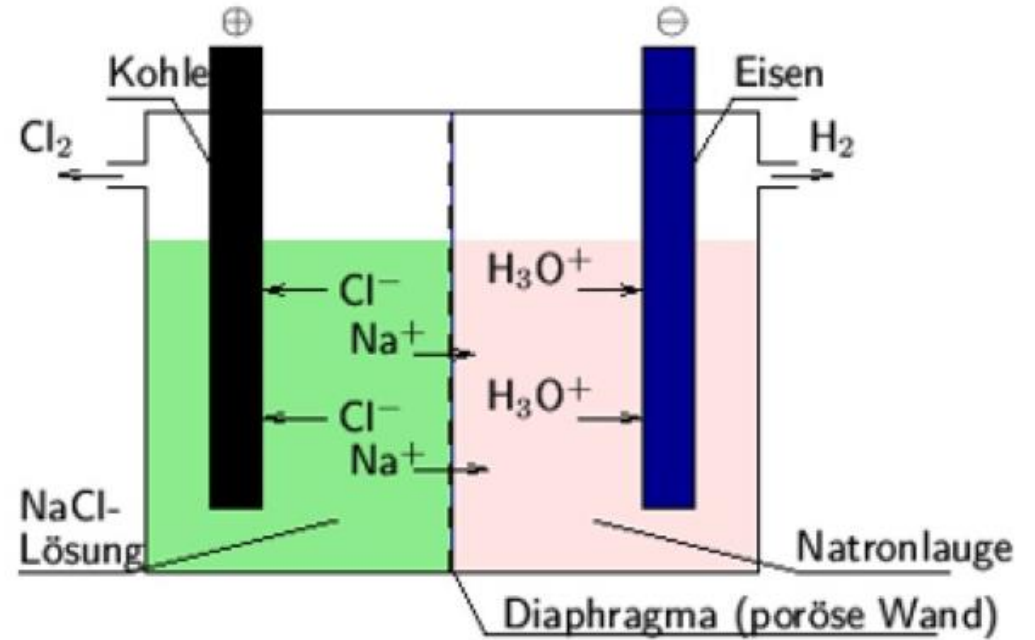
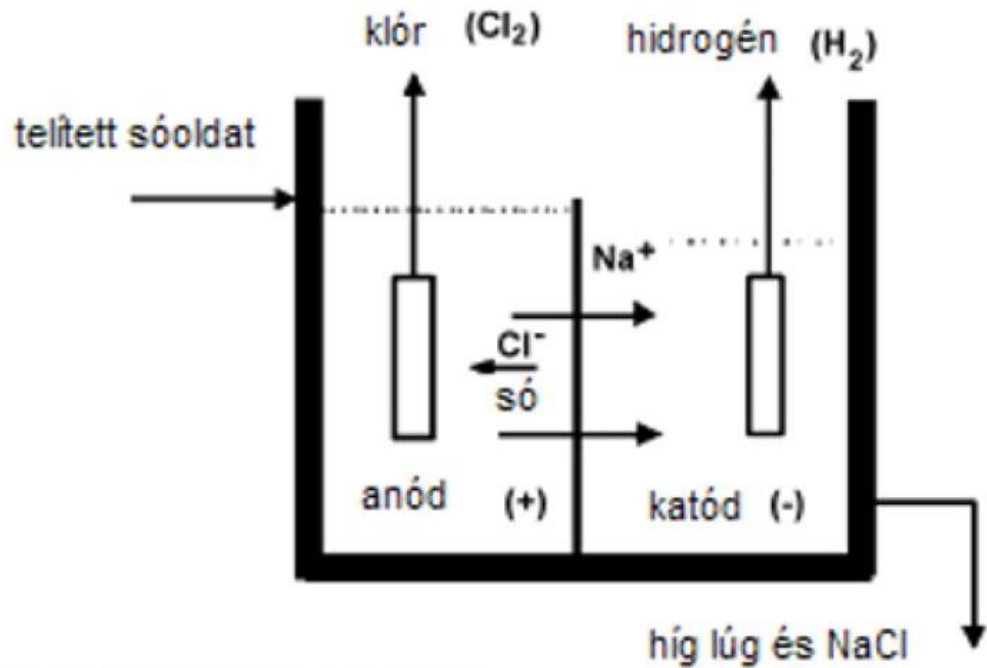


## A diafragmás-eljárás



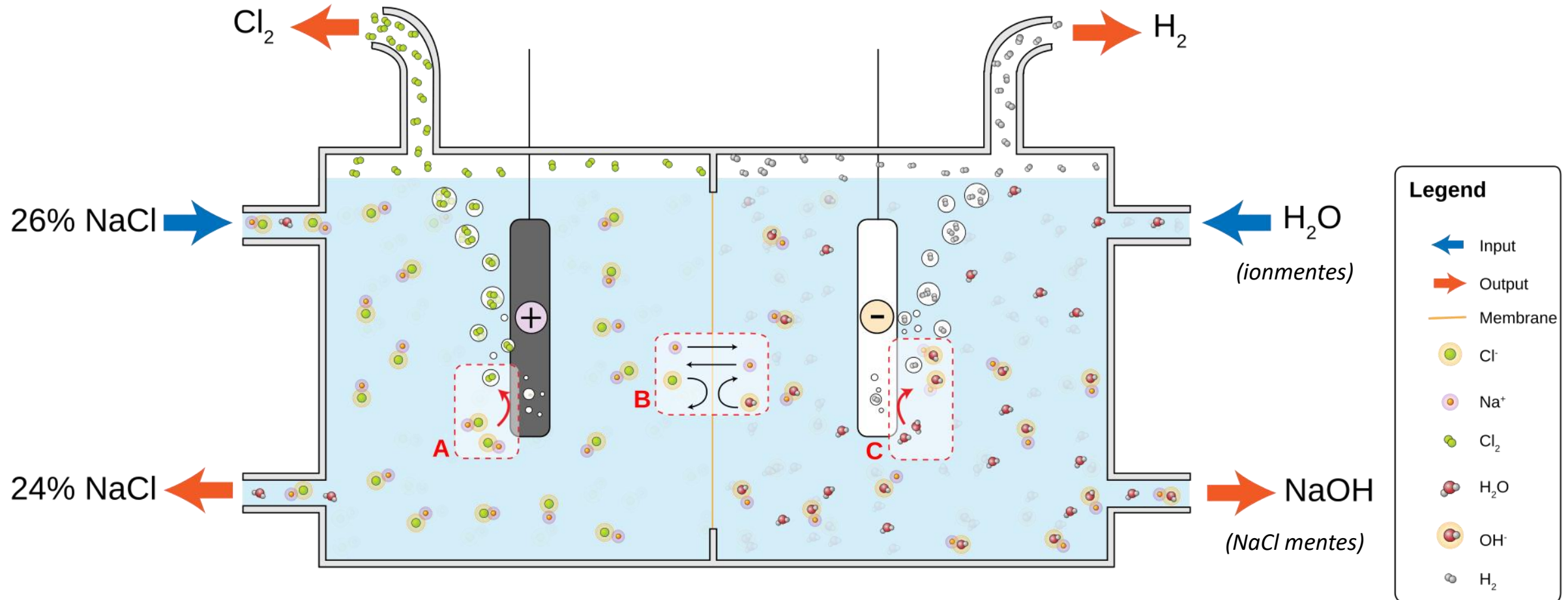
- A diafragmás cella két elektródtérből áll, melyet **porózus diafragma** választ el. A diafragma anyaga azbeszt/polimer keverék (régén), most PTFE alapú.
- A **NaCl-oldat átszivárog** a diafragmán keresztül az anódtérből (+) a katódtérbe (-). Az anódtérben levő folyadék szintje (mennyisége) mindig nagyobb, mint a katódtérben levő, ezzel biztosítva, hogy ne történjen a lúgos kémhatású oldat visszaszivárgás az anódtérbe (NaOCl).
- **Anódon:**  $2 \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$  (a keletkező klór kis mértékben szennyeződik leváló  $\text{O}_2$ -nel ( $\text{OH}^-$  ionok oxidációjából!) de ez elválasztható).
- **Katódon:**  $2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$ , eközben **híg NaOH oldat** keletkezik az anódtérben. A távozó híg NaOH oldat töményíthető bepárlással (NaCl-dal szennyezett anyag).

## A diafragmás-eljárás



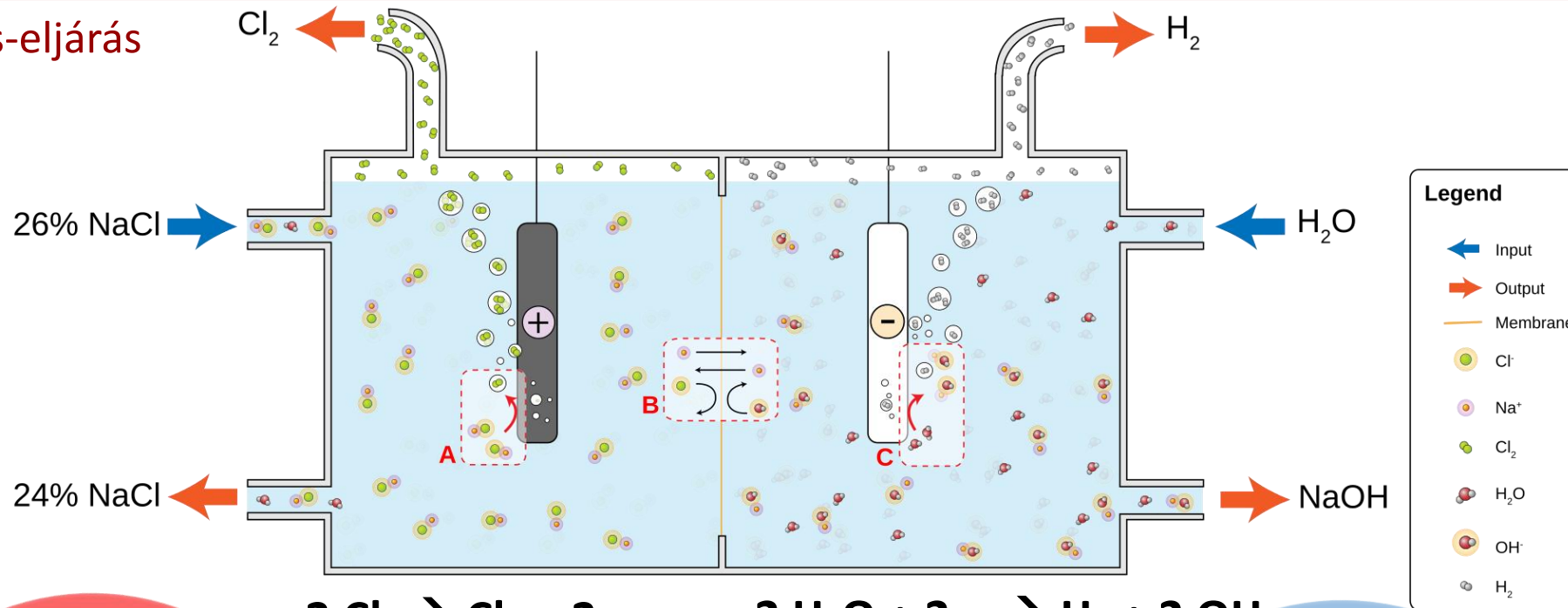
- Telített sóoldat lép be az anódtérnél, áthalad a diafragmán és felhígulva NaOH-val keverten lép ki a katódtérnél
- Klórgáz képződik az anódtérben, hidrogén a katódtérben. Az áramlás miatt a  $\text{H}_2$  gáz nem tud átmenni az anódtérbe és a hidroxid nem jut át az anódtérbe
- Az NaOH-t a NaCl-től bepárlással választják el (az NaOH oldhatósága sokkal nagyobb!)

## A membrános-eljárás

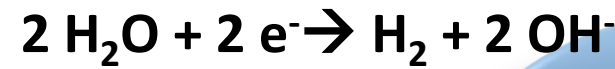


A kationszelektív membrán (B) a két elektródtér (A és C) között lehetővé teszi a Na<sup>+</sup> ionok szabad áramlását, de megakadályozza az anionok pl. OH<sup>-</sup> és Cl<sup>-</sup> ionok átjutását. Míg az anódon (A, *titán*) a Cl<sub>2</sub>-gáz leválik, a katódon (C, *nikkel*) a víz redukálódik H<sub>2</sub>-gázzá és OH<sup>-</sup>-dá. Végeredményben a NaCl oldat elektrolízise során NaOH, Cl<sub>2</sub> és H<sub>2</sub> termékek keletkeznek. A katódon kb. 30-33%-os NaOH oldat keletkezik.

## A membrános-eljárás



**anód**



**katód**

- Kényszerített oxidáció
- Oxidációs szám nő
- Anyag(1) elektronokat ad le
- Anód a pozitív pólus

A katód anyaga nikkelt vagy saválló acél, felületén katalitikus hatású bevonattal, mint például Ni-NiO. Az anód a már ismertetett Ti nemesfémoxid bevonattal. A membrán anyaga perfluorozott polimer, amin karboxil csoportok vannak a katódos oldali rétegben, míg az anódos oldalon szulfonsav csoportokat építenek a polimer rétegbe, a membránt teflon szákkal erősítik. Élettartamuk 2-5 év közötti.

- Kényszerített redukció
- Oxidációs szám csökken
- Anyag(2) elektronokat vesz fel
- Katód a negatív pólus



## Membrane Process Chlor-Alkali Electrolysis Aciplex™ Acilyzer™

In 1975, Asahi Kasei began the first commercial chlor-alkali production using the membrane electrolysis process.

Asahi Kasei has continued to lead the world in pioneering the development of membrane electrolysis technology, including the Aciplex™ F perfluoro ion exchange membrane and Acilyzer™ bipolar electrolyzer (anode, cathode, cell frame and operation).

The membrane process for chlor-alkali electrolysis eliminates the need for mercury and asbestos as process materials, and enables greater energy efficiency.

The superiority of Asahi Kasei chlor-alkali process technology has been recognized throughout the world, and the Aciplex™ F membrane is employed in plants with a total production capacity of over 25 million tons of caustic soda per year.



## BipEK Membrane Electrolyzers

Bipek Membrane Electrolyzers has been designed by chlor-alkali operators for chlor-alkali operators.

### Modular Design

Bipek Electrolyzers are modular in design, with a single-element concept. BipEK Electrolyzers has a number of advantages, including low investment, low energy consumption, long service life as well as long-term storage of pre-assembled and fully tested elements (ready for installation).



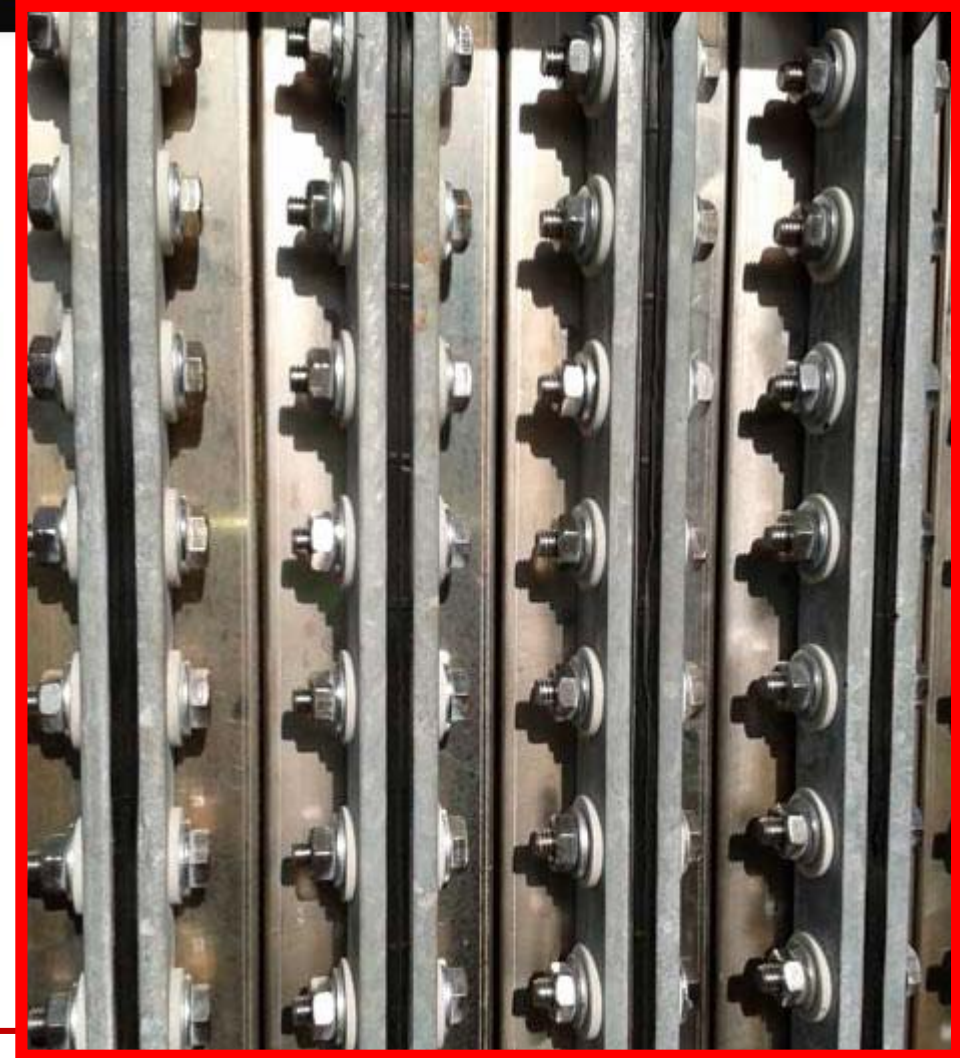
A combination of multiple cell elements combined into a single steel frame, in which they are lighted pressed together for electrical contact, is called "The Electrolyzer". In a single-element design, each element comprises anode and cathode half-shells, electrodes, a membrane, flanges, and the sealing system. Each single-element is sealed using a set of metallic flanges, a set of bolting elements and two EPDM gaskets.

Elements are tested prior to operation to ensure it is 100% leak-proof. This modular concept allows for individual single-elements to be removed from the electrolyzer without affecting the seal as well as any other element within the electrolyzer.



### Bipolar Design

In a bipolar arrangement the single-elements of the electrolyzer are connected in series with resultant low current and high voltage. The cathode





## BipEK typical Operating Data

Type	Bipolar / Single-element
Effective Anode area (per single-element)	1 m <sup>2</sup>
Nominal Current – Continuous Operation	4,3 kA
Maximum Current – Continuous Operation	4,5 kA
Cell Voltage (@ nominal current)	< 3,25 V
Current Efficiency	> 95 %
Maximum Modules per Electrolyzer	30 cells
Power Consumption (new membranes)	< 2300 kWh / ton NaOH
Operating Pressure (hydrogen side)	200 mbar g (max)
Operating Differential Pressure (hydrogen side over chlorine side)	20 mbar
Operating Temperature	< 90 °C

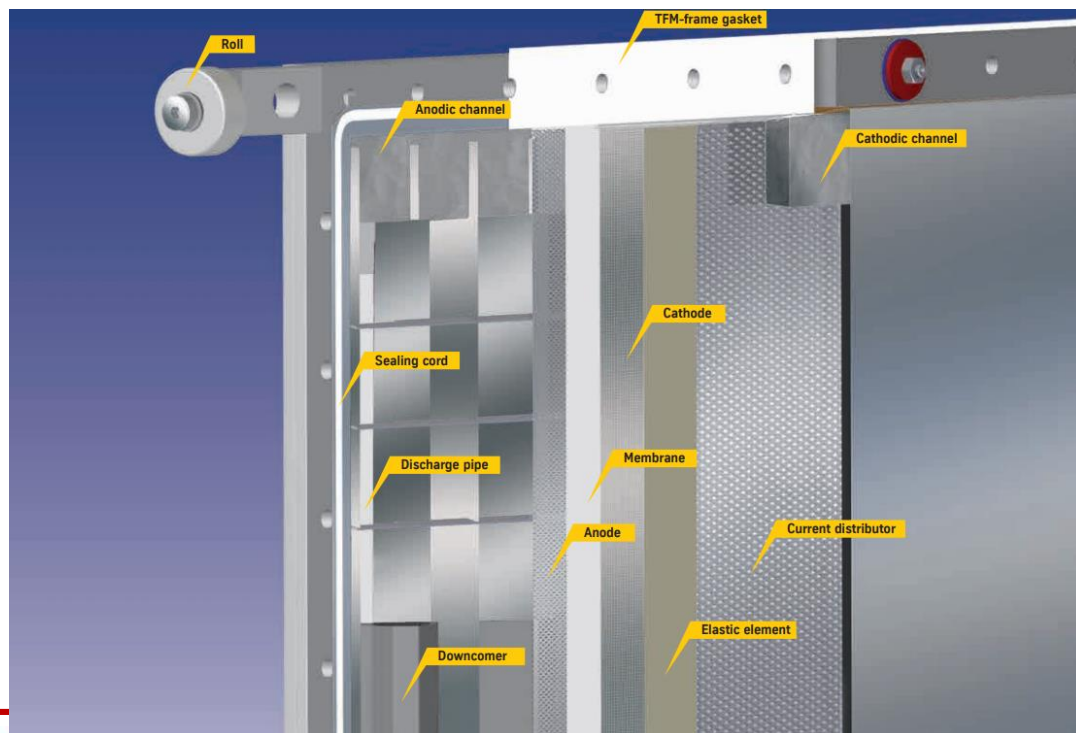
# The 6th generation Zero gap over the full membrane area

## The Uhde single element

One of the most significant factors affecting the operating costs of a chlor-alkali plant is its on-stream time, which is particularly dependent on the robustness of the electrolysis cells and the reliability of the materials used.

This is especially true in the case of membrane electrolysis plants, in which the relatively sensitive membrane is of central importance. The single element, combines the ideal materials with simple maintenance.

The entire anode compartment is made of titanium and consists of a sheet with a downcomer and the anode - realized as an expanded metal.



ThyssenKrupp Uhde



The cathode compartment is made of nickel consisting of a sheet, a current distributor (expanded metal), an elastic element and the cathode (woven mesh). In between both compartments the membrane is placed with "zero gap". Because of this new design the whole membrane area is active in full. The sealing system comprises a TFM frame gasket and GORETEX sealing cords.

The external steel flanges which have electrically insulated bolts with spring washers ensure that the single element remains leakproof throughout its entire service life.

The steel flanges are additionally equipped with rolls in order to reduce the friction and thus to ensure an equal distribution of the contact pressure over all elements inside the electrolyzer rack.

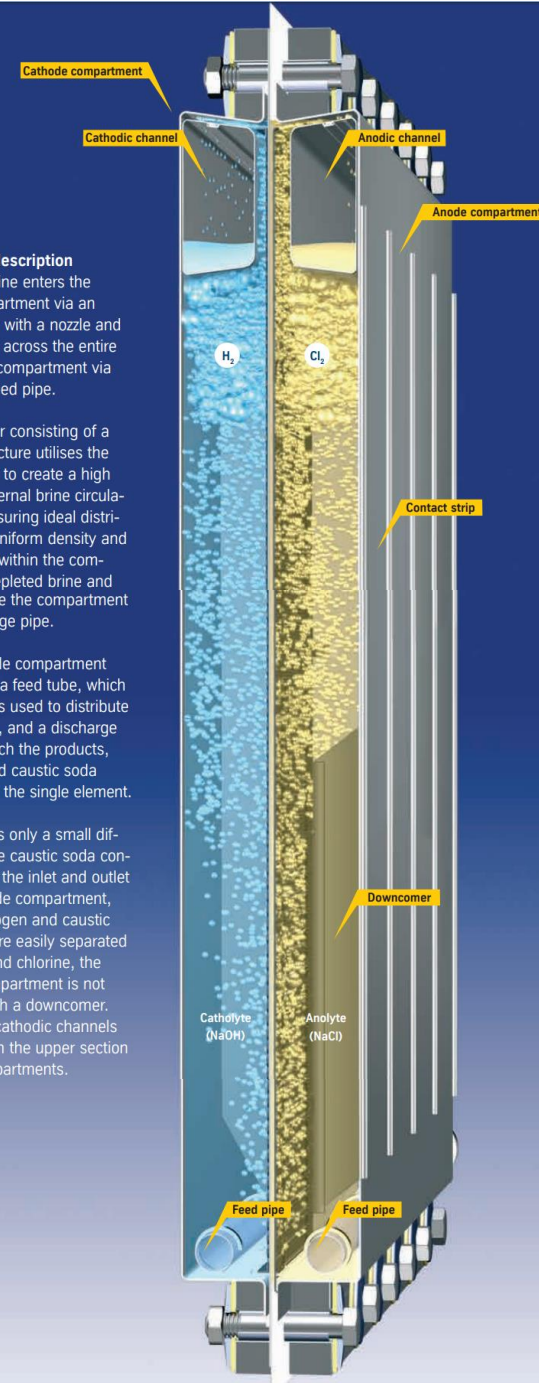
### Functional description

Ultra-pure brine enters the anode compartment via an external tube with a nozzle and is distributed across the entire width of the compartment via an internal feed pipe.

A downcomer consisting of a V shape structure utilises the gas lift effect to create a high degree of internal brine circulation, thus ensuring ideal distribution with uniform density and temperature within the compartment. Depleted brine and chlorine leave the compartment via a discharge pipe.

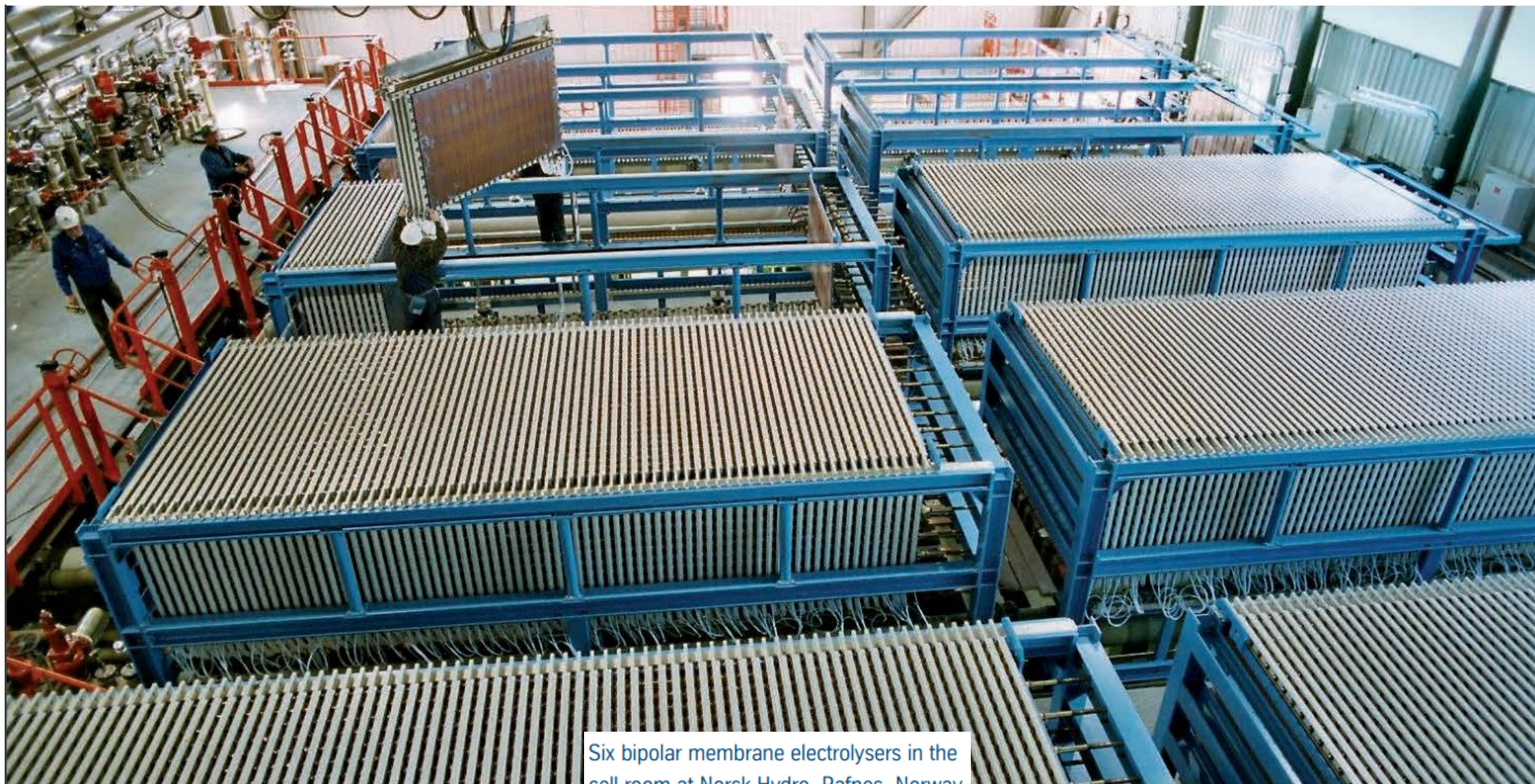
In the cathode compartment there is also a feed tube, which in this case is used to distribute caustic soda, and a discharge pipe, via which the products, hydrogen and caustic soda (32%), leave the single element.

Since there is only a small difference in the caustic soda concentration at the inlet and outlet of the cathode compartment, and as hydrogen and caustic soda are more easily separated than brine and chlorine, the cathode compartment is not equipped with a downcomer. Anodic and cathodic channels are located in the upper section of both compartments.



This design has the following advantages:

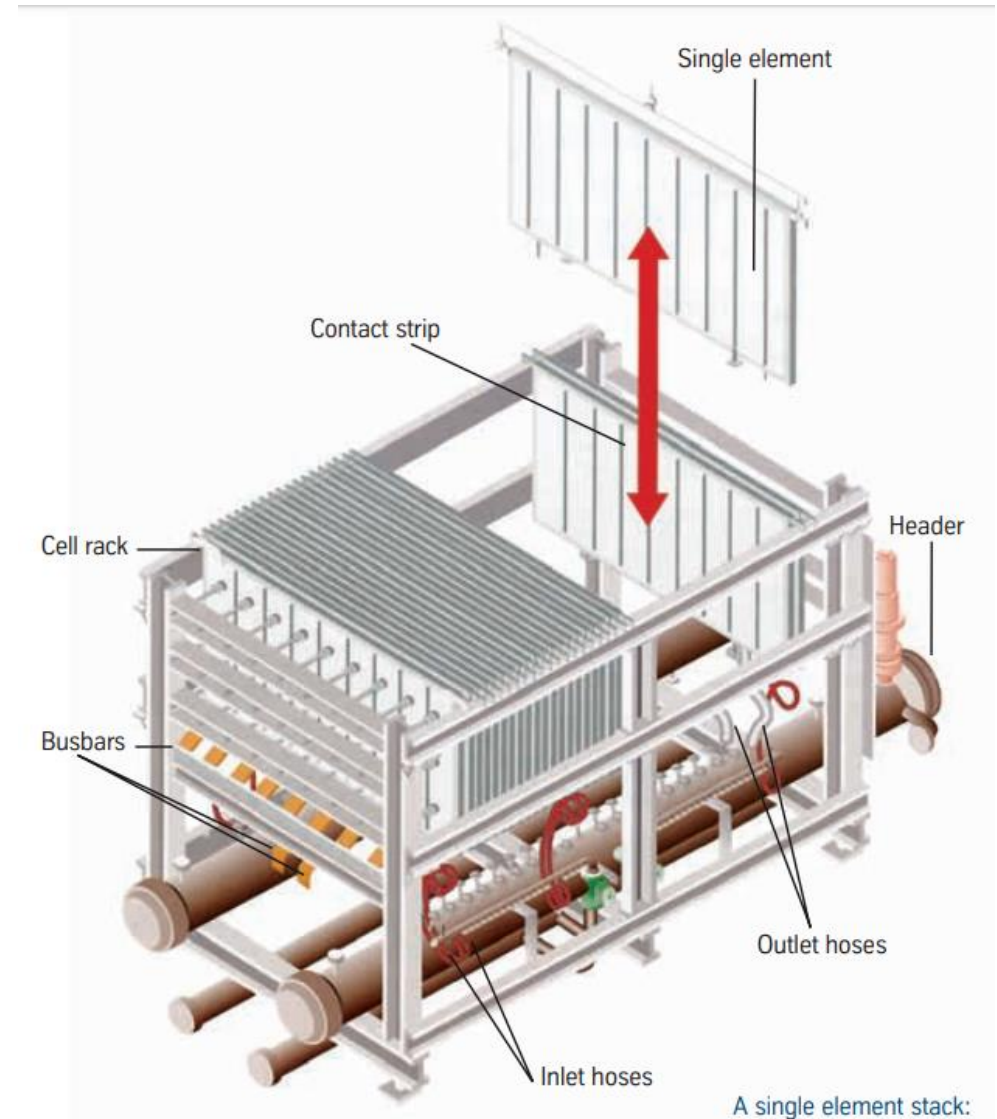
- Brine and chlorine on the anode side as well as caustic soda and hydrogen on the cathode side are transported to the upper end of the compartments. The thorough supply of liquid to these sections ensures that the membrane functions properly.
- A higher degree of safety is achieved as both compartments are flooded even when the electrolysis cells are in standby operation mode. That means that the liquid level in the compartments is always high enough to ensure that the membrane is fully submerged, thus preventing the hydrogen and chlorine gases from meeting in the upper part of the electrolysis cell via the membrane.
- The foamy gas-liquid mixture is completely separated inside the channels, resulting in an outlet flow of two homogeneous phases. This total separation of gas and liquid reduces the internal differential pressure fluctuation within the single element to a minimum, ensuring an even longer lifetime of the membrane.



Six bipolar membrane electrolyzers in the cell room at Norsk Hydro, Rafnes, Norway. Each electrolyzer has a total of 156 single elements (78 elements per stack).

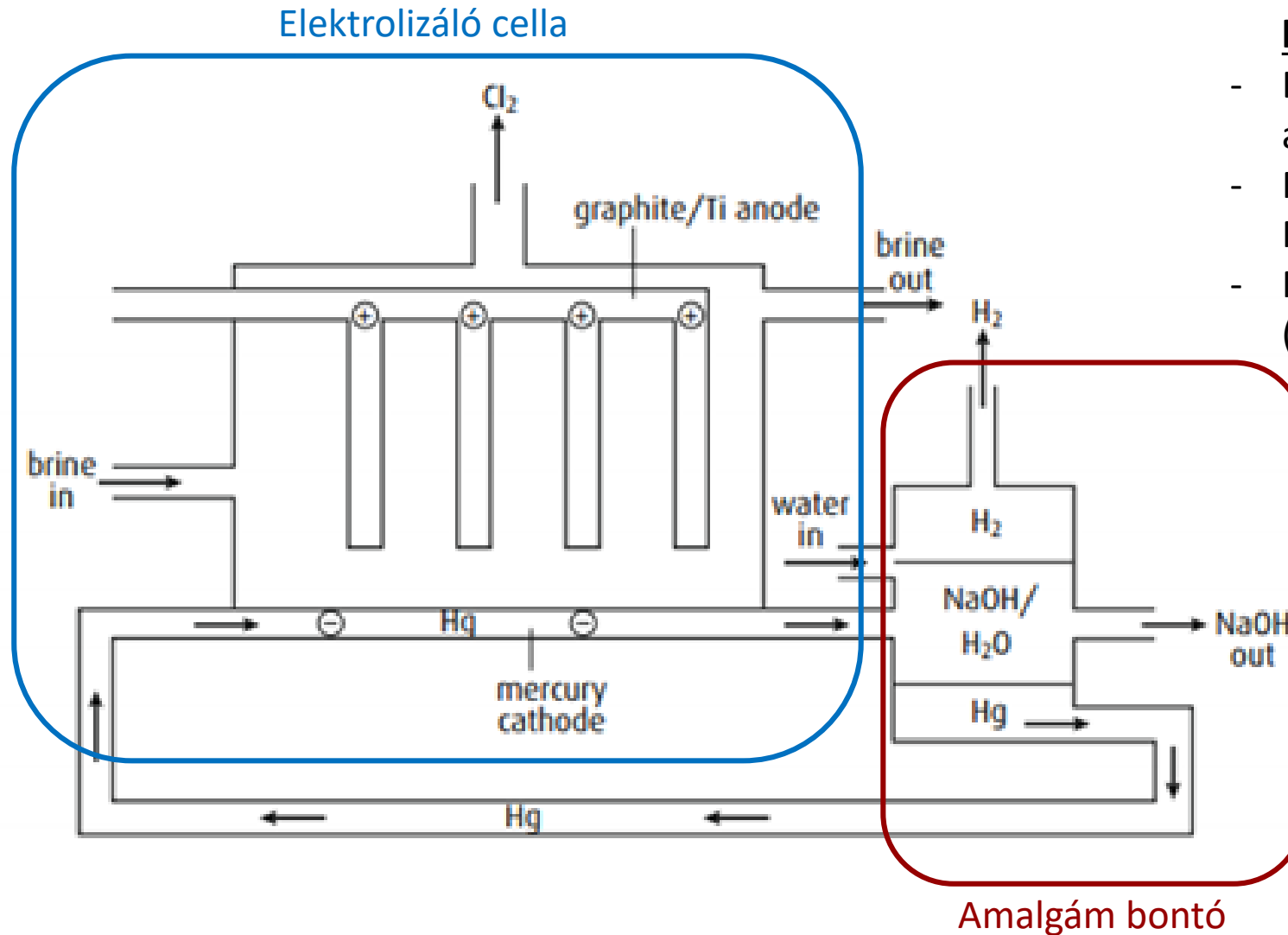
The bipolar membrane electrolyzer is a modular concept, with a number of advantages, including low investment costs, low energy consumption and a long service life. The single elements are suspended in a frame and are pressed against each other by using a clamping device to form a "bipolar stack". Slight pressure is exerted on the stack by spring-tension bolts in order to ensure optimum electrical contact between the elements and an optimal operating pressure between the membrane and the electrodes. Unlike in filter-press electrolyzers, no heavy-duty jack-screws or tie rods are needed to seal the electrolyzer. The elements are all individually sealed, leading to increased operational reliability.

All single elements are connected to the inlet and outlet headers arranged underneath the electrolyzer by means of flexible, transparent PTFE tubes. The inlet tubes, which have small cross-sections, ensure that a constant stream of electrolyte is supplied to the compartment whilst the outlet tubes, which have larger cross-sections, carry the chlorine gas and anolyte as well as the hydrogen gas and catholyte away from the cell. This fail-safe connection system can be used to check that each individual element is working properly by observing the colour and flow of the product streams in these tubes. Up to 210 elements can be installed in one electrolyzer consisting of usually 2 or 3 racks connected in series.



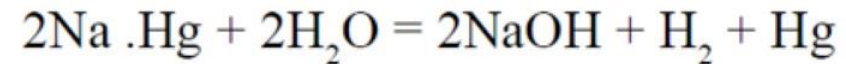
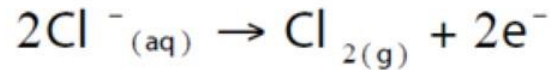
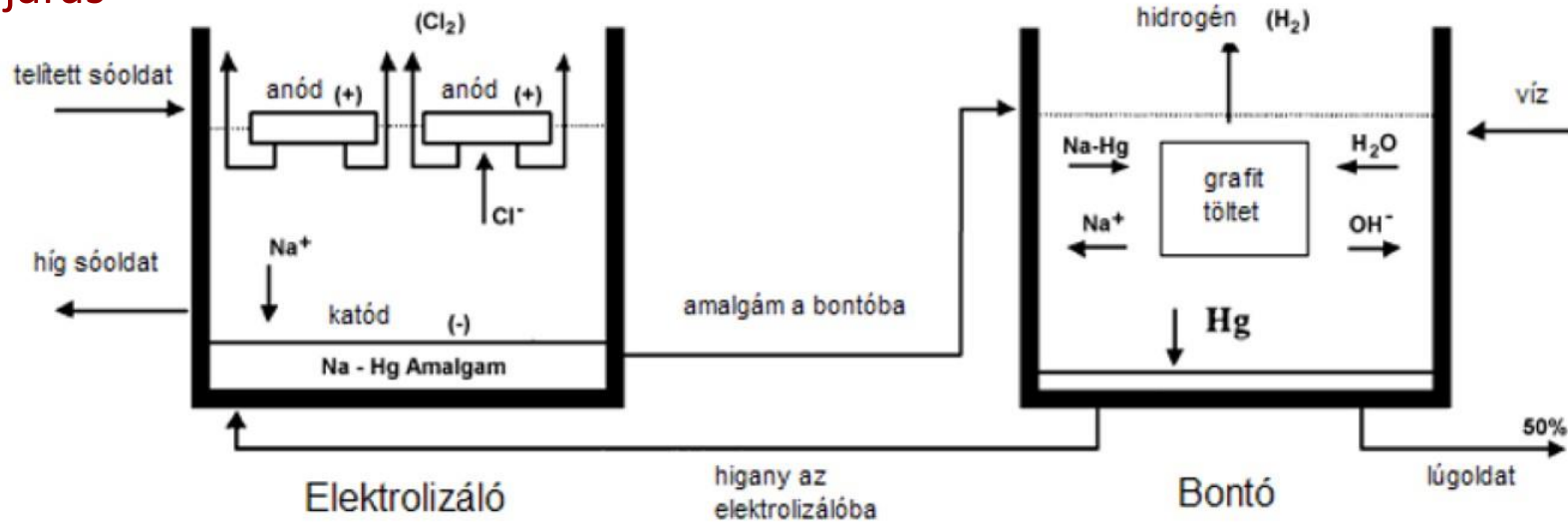
A single element stack:  
each element can be  
replaced individually.

## A higanykatódos eljárás



- Az elektrolizáló cellában **nem keletkezik** ( $H_2$  és/vagy  $NaOH$ )
- Elektrolízis termékei:  $Cl_2$  gáz és Na-amalgám
- Na-amalgám bontása vízzel  $\rightarrow H_2$  és  $NaOH$
- Nagytisztaságú és nagy töménységű (~50%)  $NaOH$  nyerhető

## A higanykatódos eljárás



A higanyos cella működése azon alapul, hogy a hidrogén túlfeszültsége nagy a higanyon, ezért a nátrium válik le. A sóban lévő szennyezések (pl. V) csökkenthetik ezt a túlfeszültséget, emiatt hidrogén válhat le a Hg katódon és bejuthat a klórgázba. Ez veszélyes, mert a hidrogén a klórral is, ugyanúgy mint az oxigénnel, már 4%-os mennyiségben robbanó elegyet alkot.

## A higanykatódos eljárás

- Higanykatódos eljárással  $\text{Cl}^-$ -szennyezéstől mentes  $\text{NaOH}$ -t szolgáltat.
- Több tonna Hg használata komoly környezetvédelmi aggályokat vet fel (Hg kijuthat a környezetbe!).
- Még üzemszerű működés során is több 100 kg Hg juthat a környezetbe, mely felhalmozódik.
  
- Hg szennyezés az eljárás többi termékében sem kizárható.
- A diafragmás és a membrános eljárások nem használnak Hg-t, ugyanakkor a termelt  $\text{NaOH}$   $\text{Cl}^-$ -szennyezett!
  
- A kationszelektív membrános cellák drágábbak, mint a diafragmás cellák, bár olcsóbbak, mint a Hg-os cellák.
  
- Diafragmás és membrán cellás eljárásoknál már közvetlenül az elektrolizáló cellában keletkezik a  $\text{Cl}_2$ -gáz (anódon) és a  $\text{H}_2/\text{NaOH}$  (katódon, a vízbontás következtében). A Hg-katódos eljárás eseté a  $\text{H}_2$ -gáz és a  $\text{NaOH}$  szeparált eszközben, az amalgambontóban keletkeznek.

## Az elektrolízis technológiák értékelése

Folyamat	Előnyök	Hátrányok
Diafragmás 50%	Bányászati sóoldat használata, kis elektromos energia fogyasztás	Azbeszt használata, nagy gőzfogyasztás a lúg betöményítésnél, gyenge lúg és klór minőség, érzékeny a nyomásváltozásra
Higanyos 20%	50 % -os lúg közvetlenül a cellákból, tiszta klór és hidrogén, egyszerű sóoldat tisztítás	Higany használat, szilárd só használata szükséges, drága cella működtetés, drága környezetvédelem, nagy területigény
Membrános 30%	Kis teljes energia igény, kis beruházási költség, olcsó cella működtetés, tiszta lúg, kis érzékenység a cella terhelés változásra és leállásra, javítások várhatóak	Szilárd só használata, tiszta sóoldat kell, nagy a klór oxigéntartalma, drágák a membránok



## Az elektrolízis technológiák értékelése

	Higanyos	Diafragma	Membrán
Aramsűrűség ( $\text{kA/m}^2$ )	8 - 13	0.9 - 2.6	3 - 5
Cella feszültség (V)	3.9 - 4.2	2.9 - 3.5	3.0 - 3.6
NaOH koncentráció (wt%)	50	12	33-35
Energia fogyasztás ( $\text{kWh/MT Cl}_2$ ) adott áramsűrűségnél ( $\text{kA/m}^2$ )	3360 (10)	2720 (1.7)	2650 (5)
Gőz felhasználás ( $\text{kWh/MT Cl}_2$ ) 50%-os NaOH előállításánál	0	610	180

1000kg klórgáz termelés mellett 1128kg 100%-os NaOH és 28 kg hidrogén keletkezik

## Alkáli-klorid elektrolízis hazánkban

**A Borsodchem üzemeiben működik klór gyár – alkáli klorid elektrolízis –  
higanykatódos De-Nora és membráncellás –Japán Chlorine Engineers  
technológiák**

## A klór tovább feldolgozásának áttekintése

Kiindulási anyagok		Köztitermékek	Végtermék, alkalmazási terület
Cl <sub>2</sub>	Acetilén	kloroprén	Kaucsuk-nyersanyag
	Etilén	Diklór-etán, vinil-klorid	PVC, műanyagok
	Ecetsav	Mono- és triklór-ecetsav	Herbicidek
	Metán	CCl <sub>4</sub> , kloroform, metilén- és metil-klorid	Műanyagok, metil-cellulóz (ragasztó)
	Paraffin	Klór-paraffin	Mosószerek, műanyaglágyítók
	Benzol	Klór-benzol	Festékipar, gyógyszeripar
	Fémek (Sn, Al, Pb)	Fém-kloridok, szerves fémvegyületek	Növényvédőszeres, festékek, PVC adalékok
	Szilícium	Szilícium-tetraklorid	Szerves szilícium vegyületek
	Meszes víz	Kalcium-klorid, klórmész	Hűtő sóoldatok, fertőtlenítés
	NaOH		NaOCl, textilipar
	H <sub>2</sub>		Sósav előállítás

## A sósavgyártás

2 lépésben:

- Sósavgáz (HCl) előállítás elemeiből
- Sósavgáz elnyeletése vízben



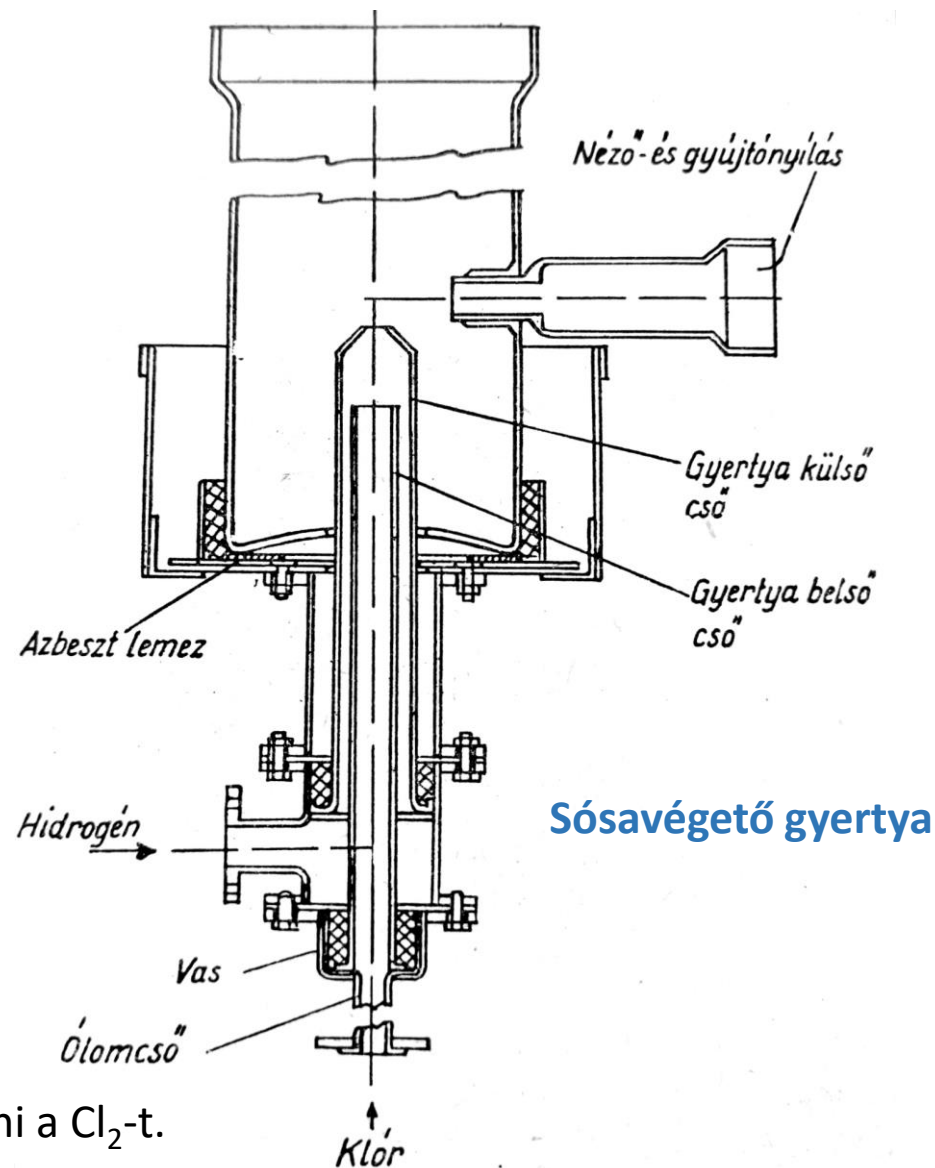
Klórdurranógáz keletkezése kerülendő.

Robbanást előidézheti a zöld fény.

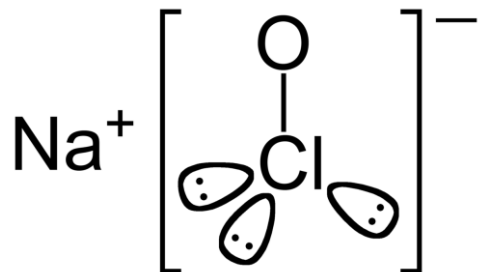
Brizánsabb, mint a H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> durranógáz!

Hidrogénfelesleget alkalmaznak (ne maradjon szabad Cl<sub>2</sub>).

Előbb H<sub>2</sub> segédlánggal begyűjtják a H<sub>2</sub>-t, majd elkezdik befúvatni a Cl<sub>2</sub>-t.



## A nátrium-hipoklorit gyártása



korrozív

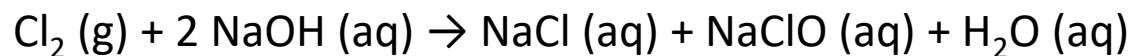


környezetre veszélyes

Nátrium-hipoklorit  
(NaOCl) tartalom 3-15%

NaOH oldat  $\text{Cl}_2$ -gázzal való telítése útján.

Elektrolízis cellában NaOH és  $\text{Cl}_2$ , majd ezeket reagáltatni kell.



*$\text{Cl}_2$  gázt adagolnak a 45–48%-os NaOH oldatba*



Háztartási hypó

