

# Kémiai technológia

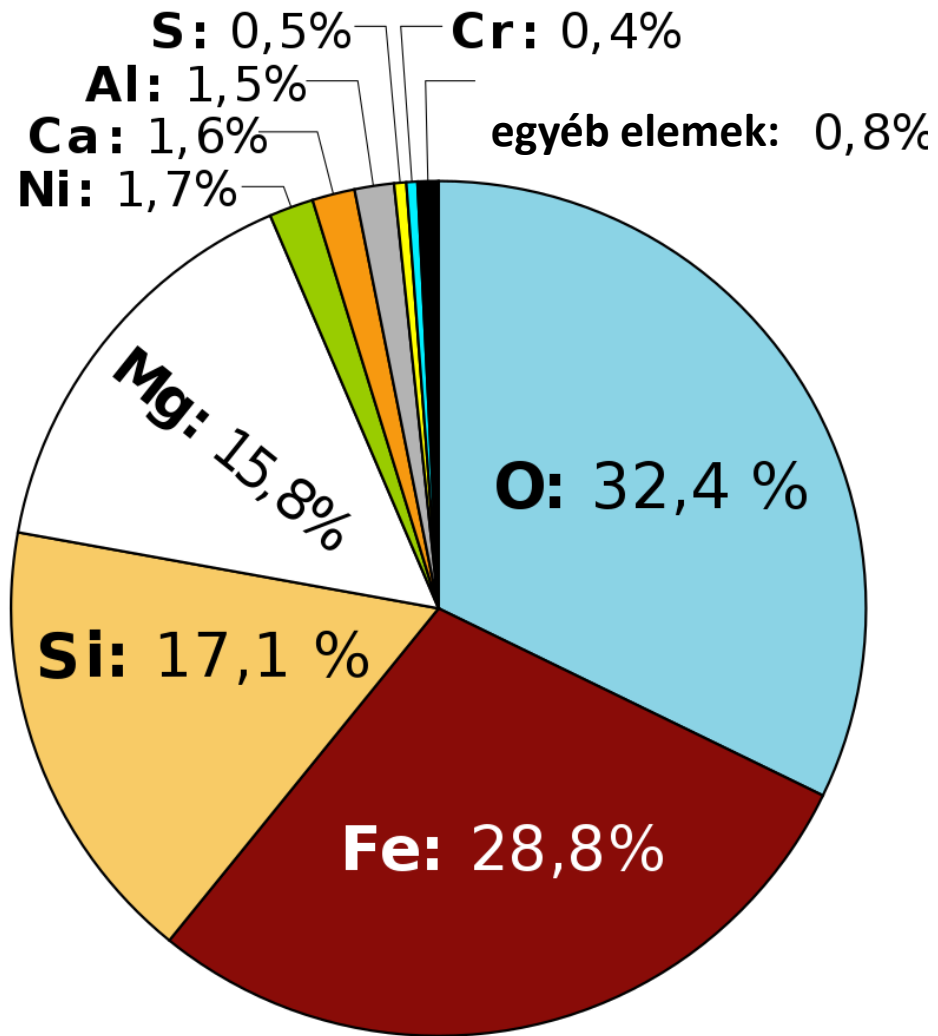
Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

Kun Róbert

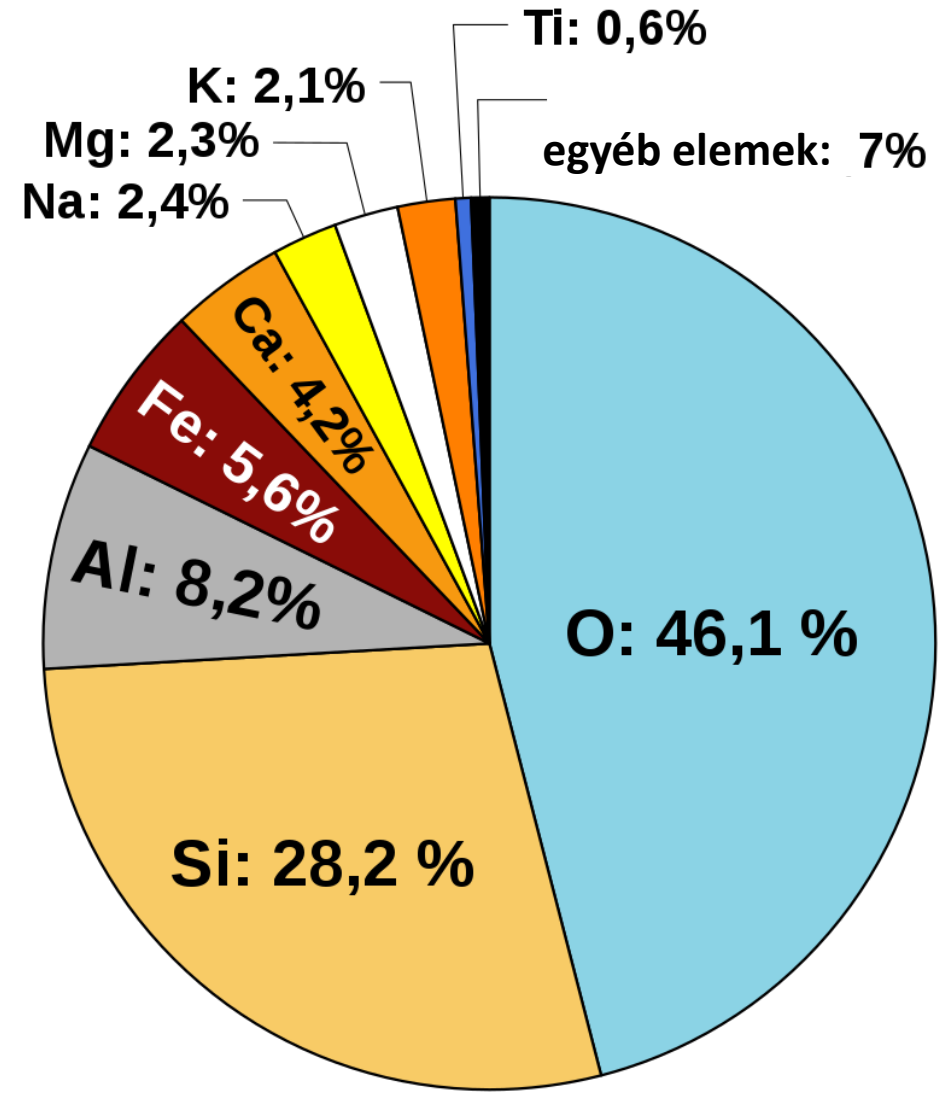


# A szervetlen vegyipar ágazatai Alumíniumgyártás

## Elemek előfordulás a környezetünkben



Föld bolygó teljes



Földkéreg

## Gazdaságilag fontos fémek koncentrációja a földköpenyen

<b>Metal</b>	<b>Concentration (% by weight)</b>
<b>Aluminum</b>	<b>8.0</b>
<b>Iron</b>	<b>5.8</b>
<b>Copper</b>	<b>0.0058</b>
<b>Nickel</b>	<b>0.0072</b>
<b>Zinc</b>	<b>0.0082</b>
<b>Uranium</b>	<b>0.00016</b>
<b>Lead</b>	<b>0.001</b>
<b>Silver</b>	<b>0.000008</b>
<b>Gold</b>	<b>0.0000002</b>

*Emlékeztetőül - Si: 28 %, O: 46 %*

## Az alumínium

### Tulajdonságai:

- Fém (B-csoport eleme), rsz.: 13 (Al)
- Szürkés-ezüst színű
- Puha, képlékeny, szilárd
- Könnyen alakítható
- Jól nyújtható
- Nem mágnesezhető
- Sűrűség:  $2,70 \text{ g/cm}^3$  (könnyűfém)
- Op. =  $660 \text{ }^\circ\text{C}$
- Felületén passzíváló oxidréteg alakul ki (levegőn)
- Tömény savak nem, de híg savak és lúgok oldják
- Kiváló hő és elektromos vezető

### Előfordulása:

- oxidjaiban (elemi állapotban nem fordul elő)
- bauxit
- alumino-szilikátok (agyagásványok)



## Az alumínium felhasználása

- Közlekedés, járműipar (autók, repülők, vasúti kocsik, hajótestek, kerékpár, űrközlekedés, stb.)  
→ *könnyűfém*
- Csomagolóipari alkalmazás (fólia, dobozok, tálcák, stb.)  
→ *nem-toxikus, ízsemleges*
- Építőipar (nyílászárók, traverzek, korlátok, vezetékek, tetőfedés)  
→ *korrózióállóság, könnyű szerkezetianyag*
- Elektronikai alkatrészek (áramvezetők, motor, generátor, kondenzátor, transzformátor, stb.)  
→ *olcsó, jó el. vezető, megfelelő , mechanikai szilárdság, korrózióálló*
- Háztartási eszközök (edény, evőeszköz, kisgépek, világítástechnika, bútorszerelés, stb.)  
→ *könnyűfém, attraktív megjelenés, könnyű gyártás, tartósság*
- Gépgyártás, felszerelések (feldolgozó gépek, csővezetéki szerelvények, szerszámok, stb.)  
→ *korrózióálló, mechanikai szilárdság, nem-pirofóros tulajdonság*

## Bauxit



A világ bauxitkészletének 90%-a a trópusi és szub-trópusi régiókban található. Vékonyabb rétegek, felszínhez közel helyezkednek el, a rétegek 4-6 m vastagságúak. Jellemzően külszíni fejtés.



- Heterogén üledékes kőzet
- timföldgyártás ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) alapanyaga
- Ásványok alkotják, Al-tartalma magas

## Bauxit



Gibbszit ( $\text{Al(OH)}_3$ )



Diaszpor ( $\alpha\text{-AlO(OH)}$ )



Böhmit ( $\gamma\text{-AlO(OH)}$ )



Götít ( $\text{FeO(OH)}$ )



Kaolinit ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$ )



Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )



Ilmenit ( $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ )



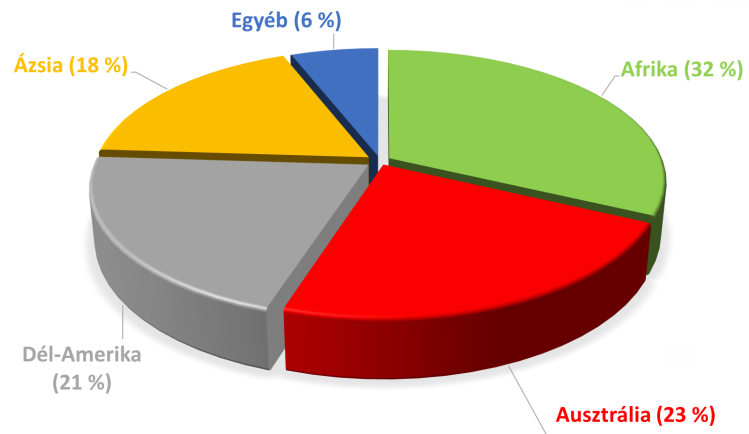
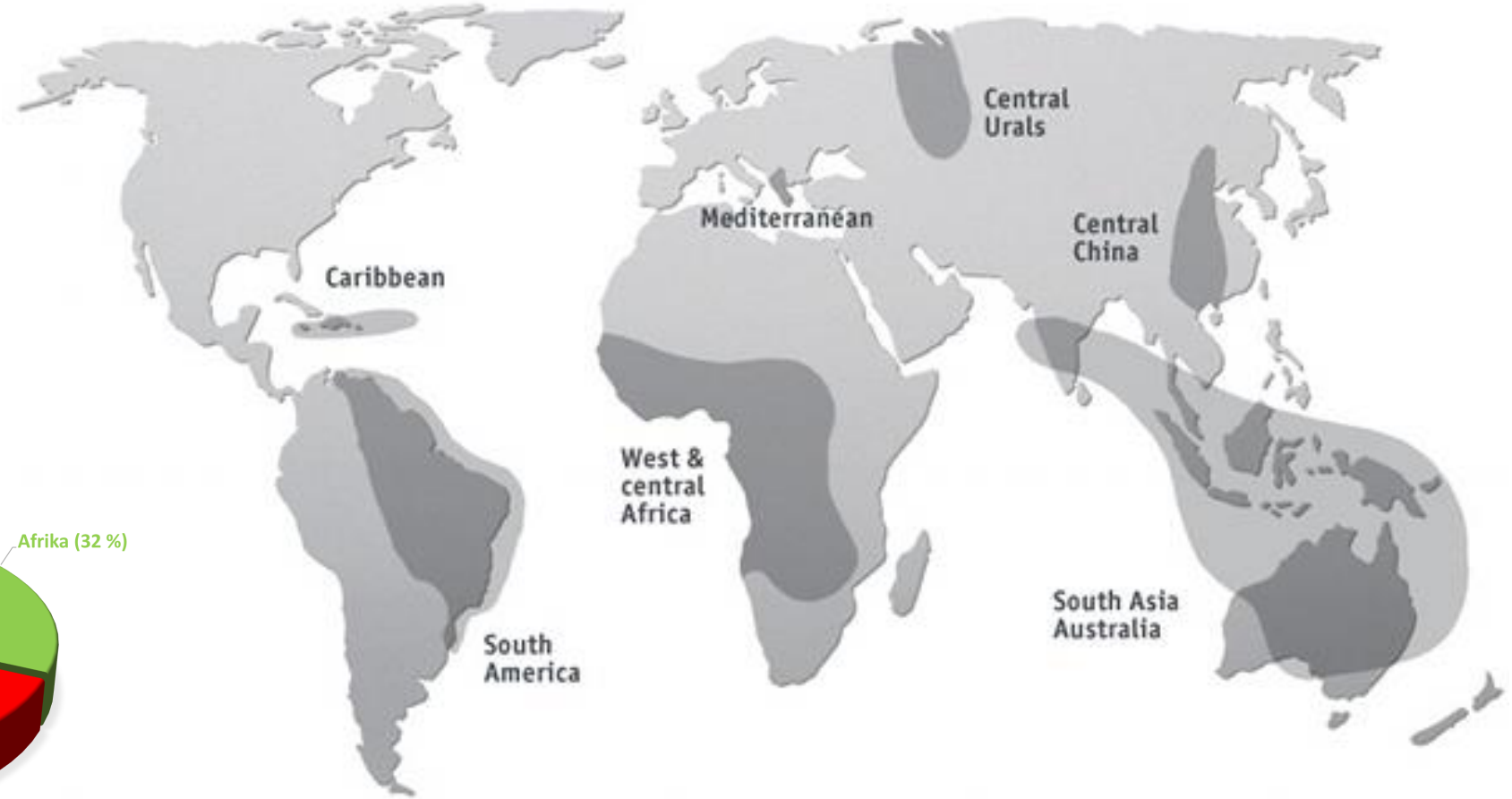
Anatáz ( $\text{TiO}_2$ )



# A Világ bauxitkészlete

**Becsült készlet:  
55-75 milliárd tonna**

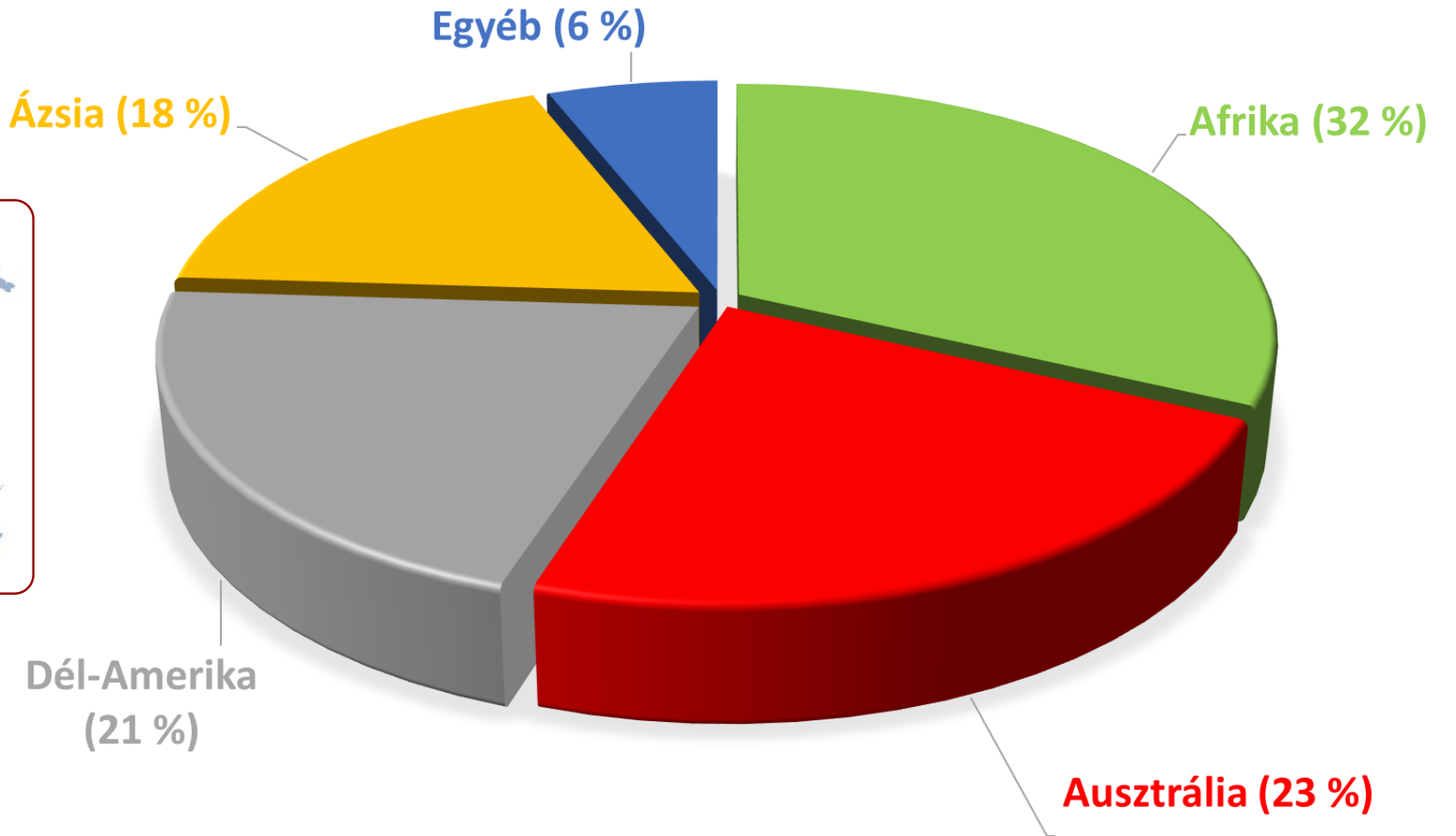
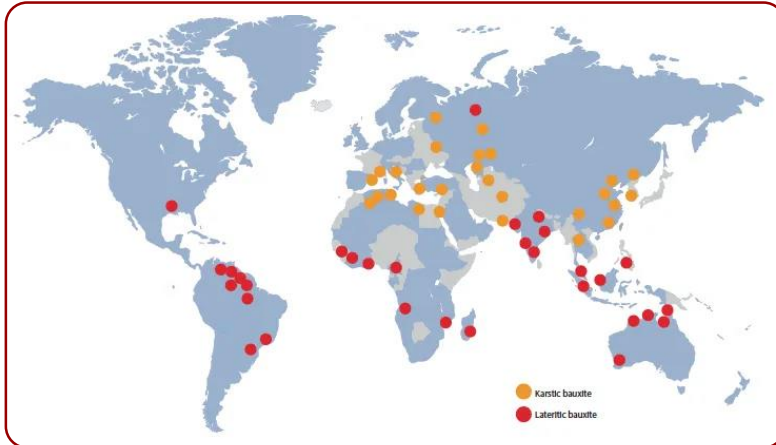
Major Bauxite Areas



## A Világ bauxitkészlete

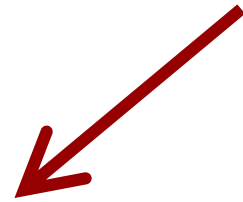
**Becsült készlet:**

**55-75 milliárd tonna**

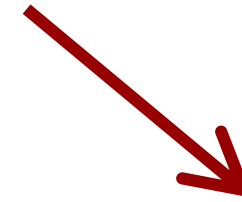


# Alumíniumgyártás

(2 főbb lépés)



$\text{Al}_2\text{O}_3$  (timföld) előállítása bauxitból  
**Bayer eljárás**



$\text{Al}_2\text{O}_3$  (timföld) redukciója fém Al-má  
**Hall-Héroult eljárás**

# $\text{Al}_2\text{O}_3$ (timföld) előállítása bauxitból **Bayer eljárás**

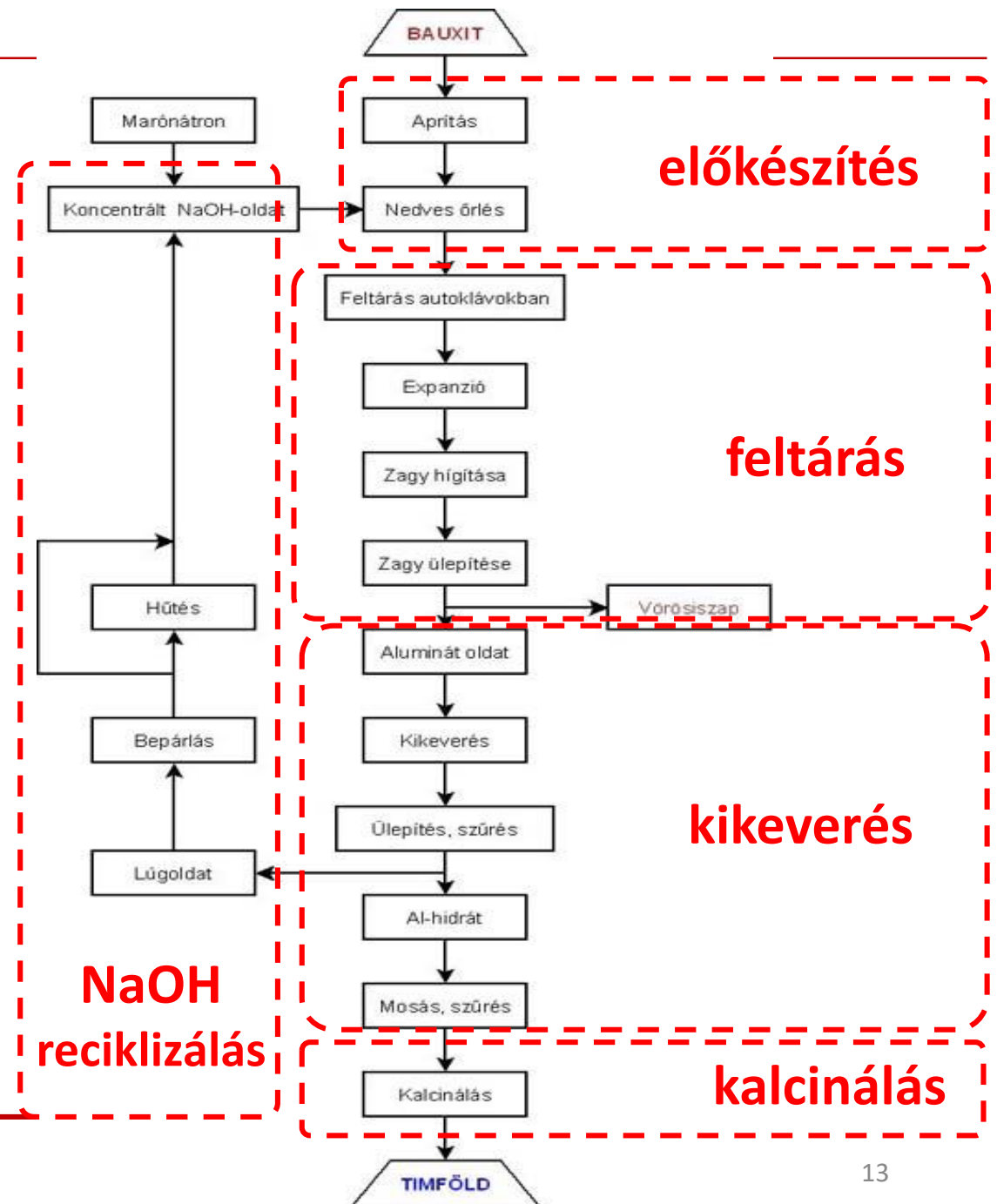
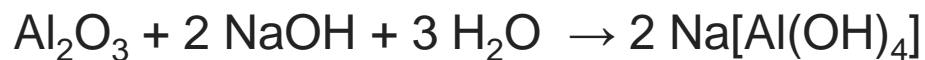
## Timföldgyártás – Bayer-eljárás

A bauxitban lévő alumínium-oxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) **nátrium-hidroxidban (NaOH)** nátrium-aluminát ( $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]$ ) alakjában kioldódik.

A bauxit egyéb összetevői nem oldódnak. →  
**Vörösiszap**

### Lényege:

Finomra őrölt bauxitot tömény NaOH-ban tárják fel autoklávban, emelt hőmérsékleten és nyomáson (6-7 bar, 150-240 °C).



## Timföldgyártás – Bayer-eljárás

**Előkészítés:** aprítás, őrlés. Az őrlésre pofás törőket, hengereket, kalapácsolos vagy golyós malmokat használnak. A szemcseméret a bauxit összetételéhez igazodik 0,07–1 mm között.

**Feltárás:** A feltárást egymáshoz kapcsolt *autoklávok* sorában végzik. Az autoklávok légmentesen záródó, vastag falú, túlnyomással működő tartályok. Az első autoklávba nagynyomású zagyszivattyú tölti be a feltárandó zagyot (bauxit és lúg keveréke). Zagyot melegítik  $\sim 200$  °C-ra és bekövetkezik az alumíniumtartalom kioldódása. Az utolsó expanziós tartályosoron átáramolva 120 °C-ra hűl, végül a hígító tartályba jut.

Megj.: Az alkalmazott hőmérséklet a bauxit ásványos összetételétől függ. A *gibbszites* bauxitok kisebb hőmérsékletet ( $\sim 140$  °C), a *böhmites* és *diaszporos* bauxitok magasabb ( $\sim 250$ - $280$  °C) hőmérsékletet igényelnek.

A feltárás során oldatba megy a bauxit alumíniumtartalmának nagy része, ez az **aluminátlúg** ( $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]$ ) (*magas szilikát-tartalmú bauxit esetén a feltárás során mészkövet adnak  $\rightarrow \text{CaSiO}_4$* ).

A maradék szilárd fázist – ülepités és gyakran szűrés után – az ún. **vörösiszap** formájában távolítják el. Elválasztás *Dorr-ülepítő*kben történik.

Ajkai timföldgyár  
(Dorr-ülepítők)



**Kikeverés:** A kikeverés célja a timföldhidrát ( $\text{Al(OH)}_3$ ) leválasztása az *aluminátlúgból* ( $\text{Na[Al(OH)}_4(\text{H}_2\text{O})_2]$ ).

A kikeveréshez az oldatot álló oszlopszerű keverőtartályokba szivattyúzzák, majd kristályos alumínium-hidroxidot ( $\text{Al(OH)}_3$ ) adnak az oldathoz (**beoltás**), miközben erősen keverik.

A kikevert zagyot vízzel keverve többszörösen mossák és szűrik.

Az alumínium-hidroxid ( $\text{Al(OH)}_3$ ) az oltóanyag. A kikeverés során a hőmérséklet szabályzásával kontrollálják a leváló timföldhidrát ( $\text{Al(OH)}_3$ ) mennyiségét és a csapadék minőségét.



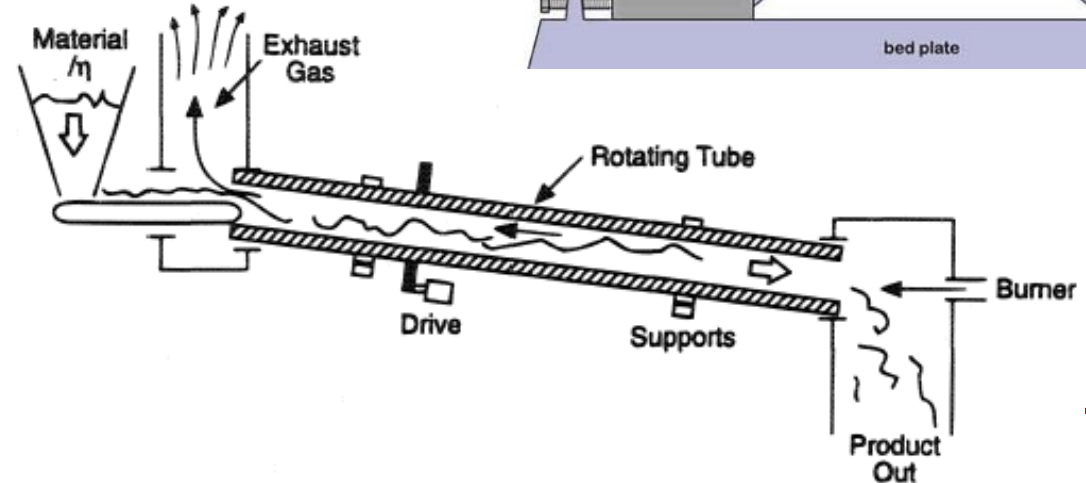
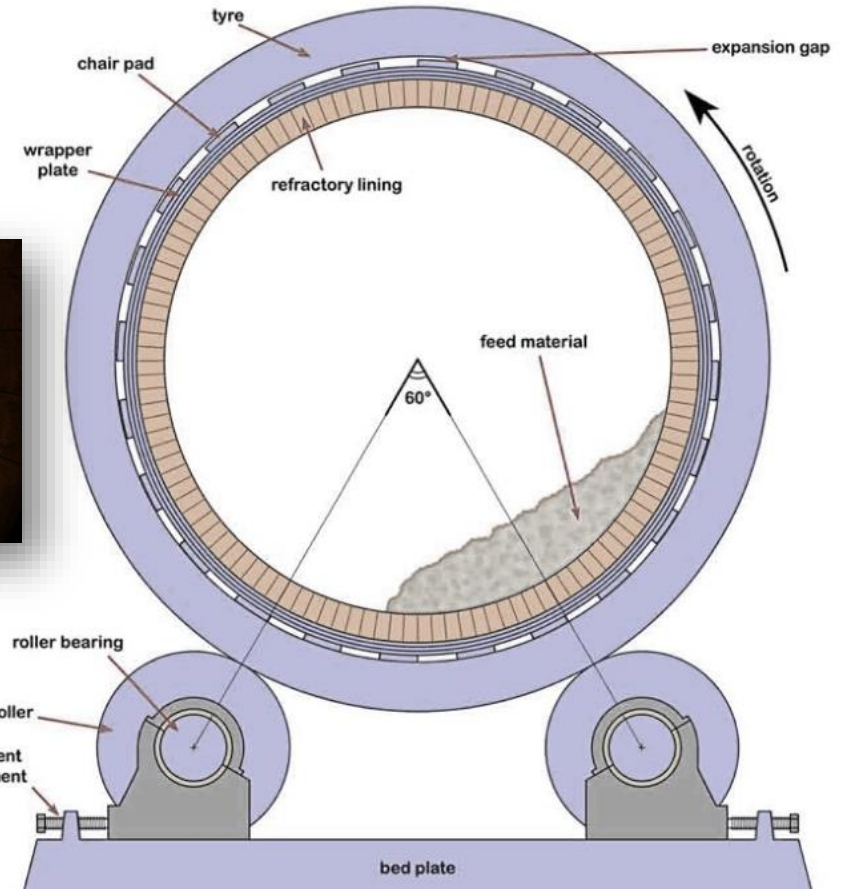
**Kalcinálás:** A timföldgyártás befejező művelete során a 34,6% szerkezetileg kötött és mintegy 10% fizikailag kötött vizet távolítják el a timföldhidrát kiizzításával (kalcinálásával).

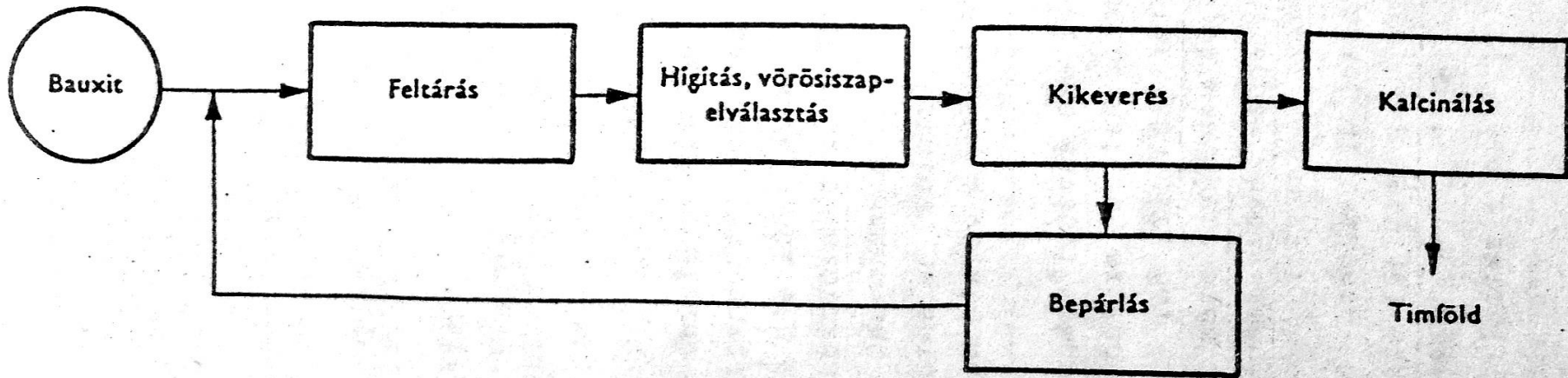
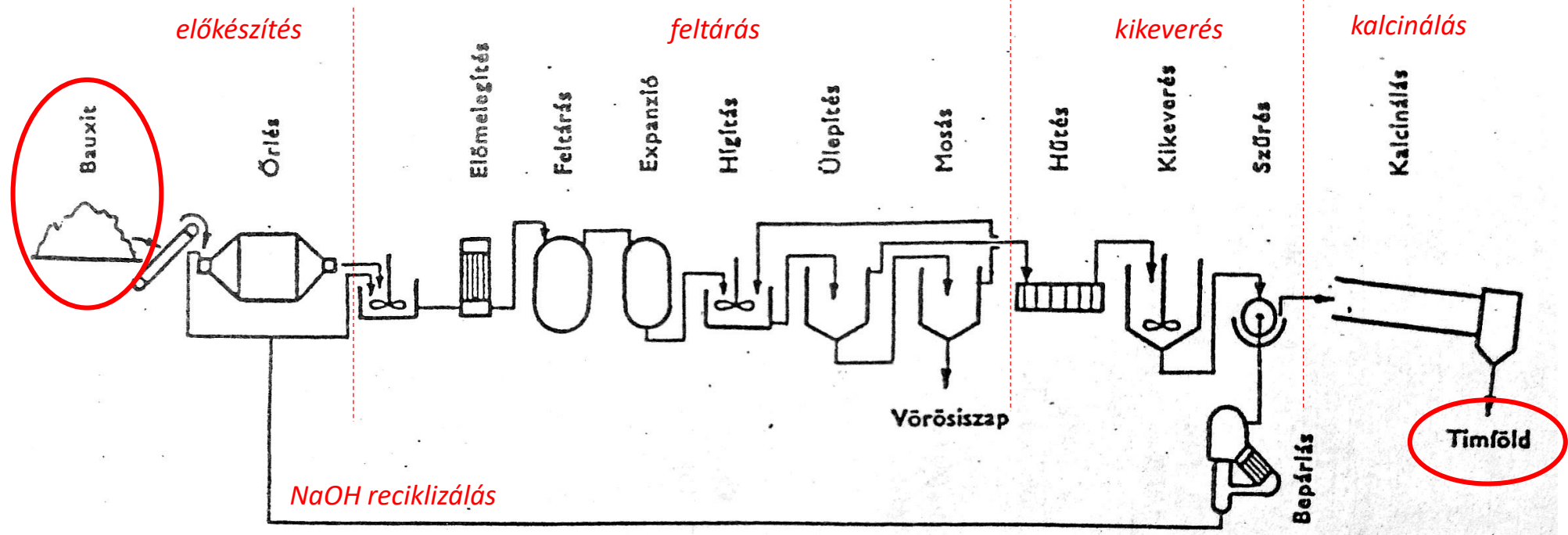
A kalcinálást *forgó csőkemencében* végzik, amelynek a hossza 40–100 m, átmérője 2,5–4,0 m. A kemence lejtése mintegy 2%, fordulatszáma pedig 0,8–1,5 1/min. A *timföldhidrátot* a kemence felső, hidegebb végén adagolják be, és a meleg alsó végén távolítják el 850–1150 °C hőmérsékleten.

A kész timföldet silókban tárolják.

**NaOH reciklizálás:** A Bayer-eljárás során felhasznált lúgot (**NaOH**) a gazdaságosabb műveletvégzés érdekében körfolyamat-szerűen alkalmazzák. Az elhasznált és vízzel hígult lúgot tisztítják és bepárolják, így vezetik vissza a folyamat elejére.

# Timföldgyártás – Bayer-eljárás (forgó csőkemence)





# $\text{Al}_2\text{O}_3$ (timföld) redukciója fém Al-má **Hall-Héroult eljárás**

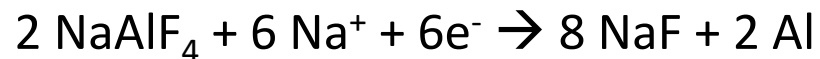
## Timfödelektrolízis

Az igen magas olvadáspontú (~2000 °C) és olvadékként is szigetelő tulajdonságú timföldet 15-20%-nyi mennyiségben, **olvadt kriolitban (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>)** oldják fel, így már 1000 °C körül elektrolízissel fel lehet dolgozni.

### Anód (+):



### Katód (-):



### Bruttó reakció:



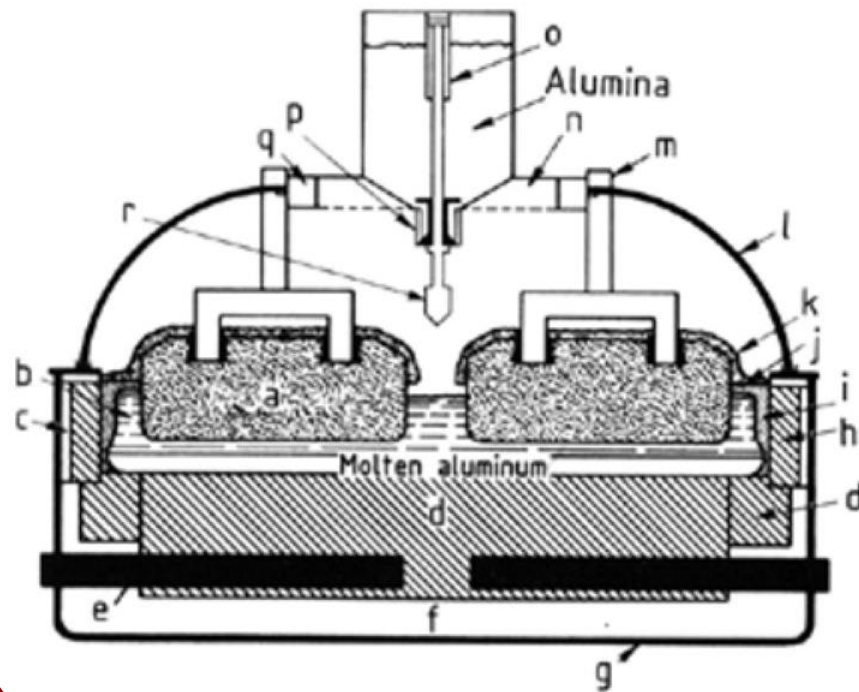
*Kriolit természetben is előfordul, de szintetikus terméket használnak zömében.*

**Az elektrolízist elektrolizáló kádakban végzik:**

- Szakaszos eljárás (Hall-Héroult cella)
- Folyamatos üzem (Söderberg cella)

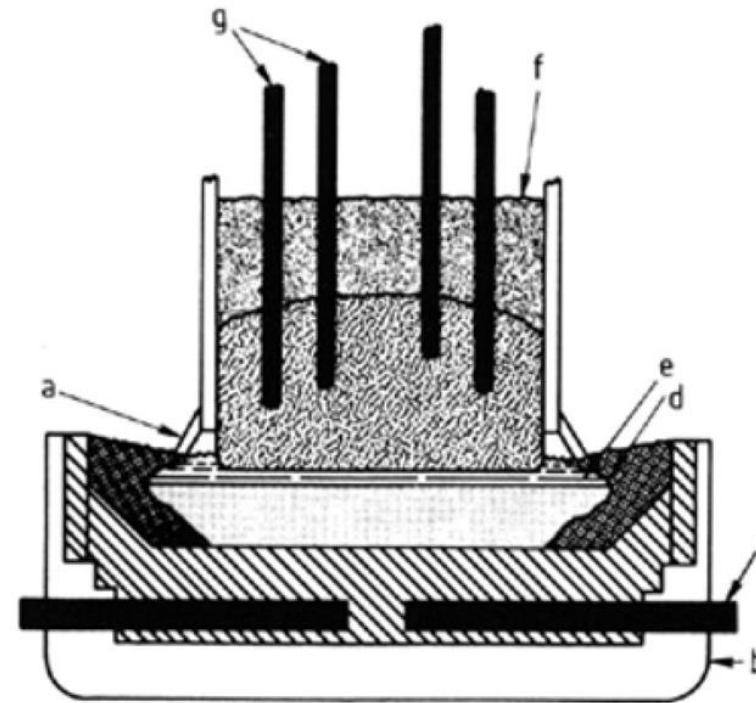
## Hall-Héroult cella

Összesütött elektród,  
szakaszos üzem



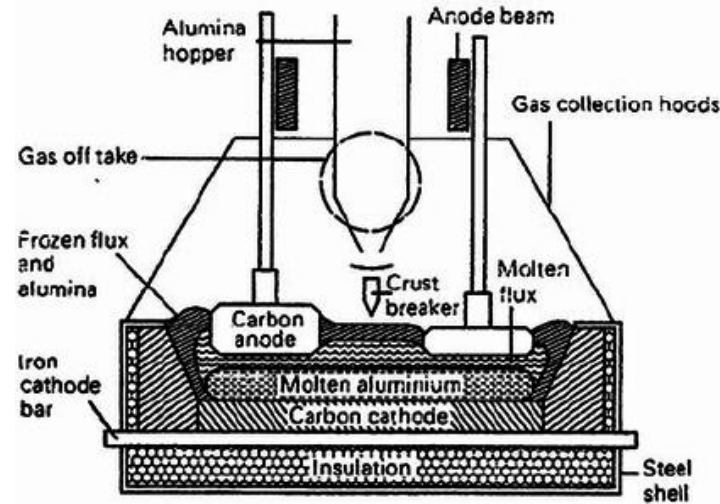
## Söderberg-anóddal szerelt cella

Önsülő elektród, folyamatosan  
keletkezik

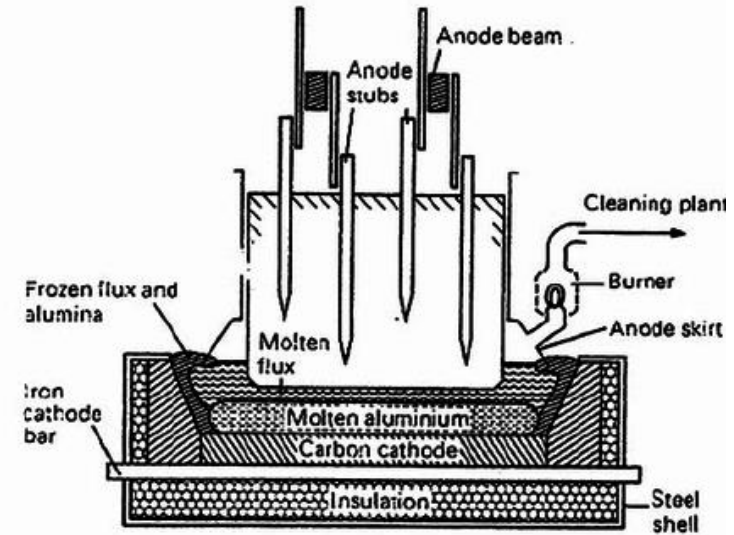


# Összesütött- (Hall-Héroult) és önsülő anódos (Söderberg) berendezések

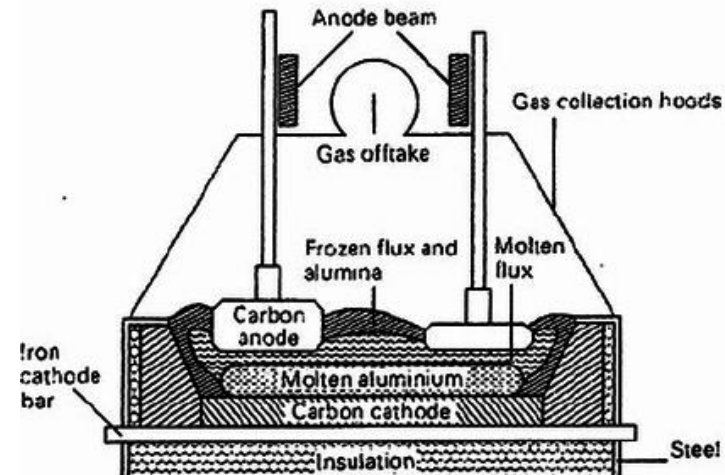
Center break prebake anode cell



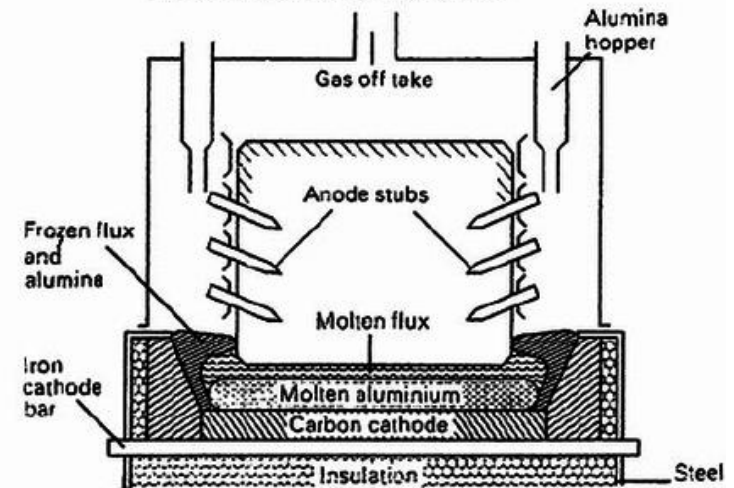
Vertical stud Soderberg cell



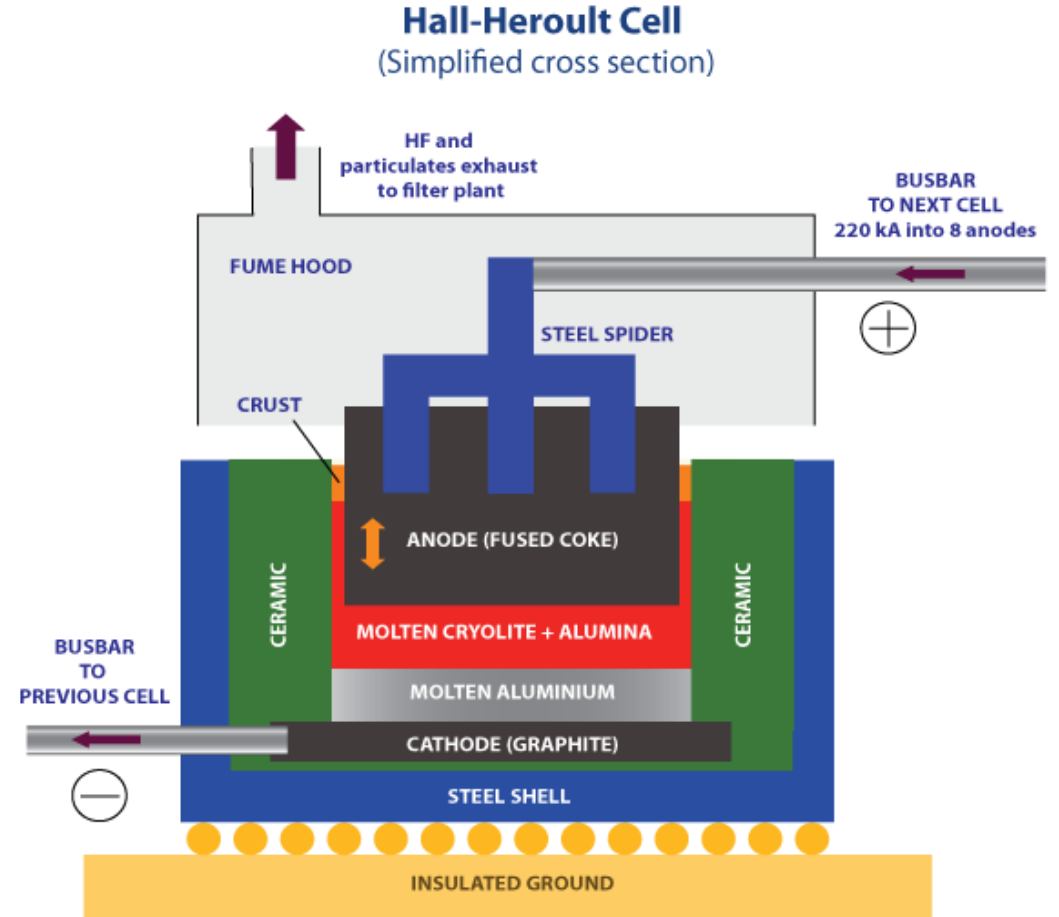
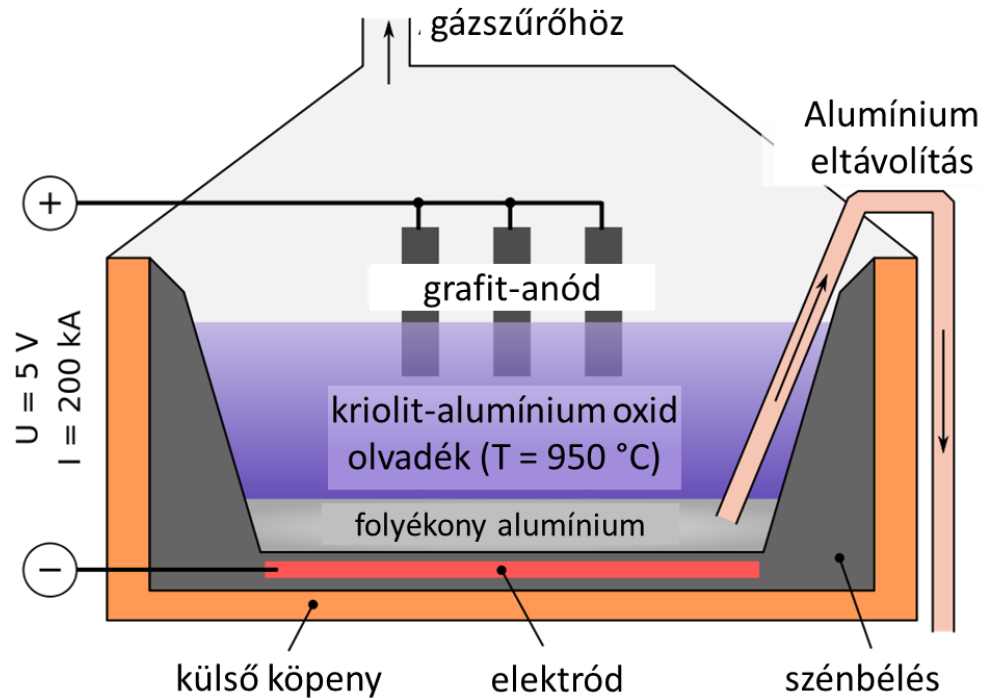
Side break prebake anode cell



Horizontal stud Soderberg cell

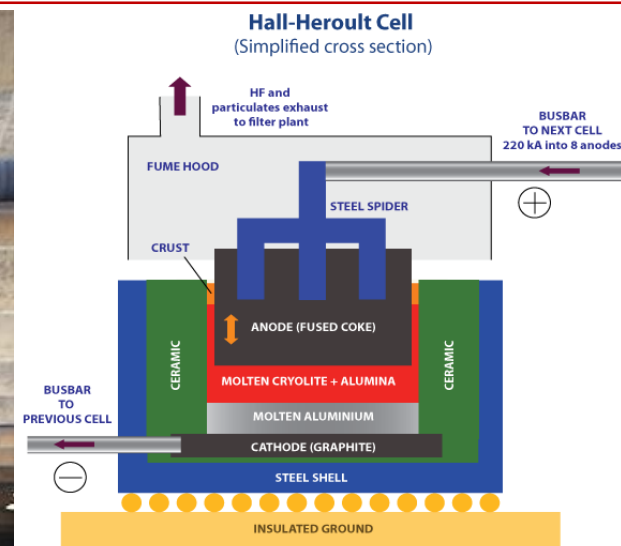
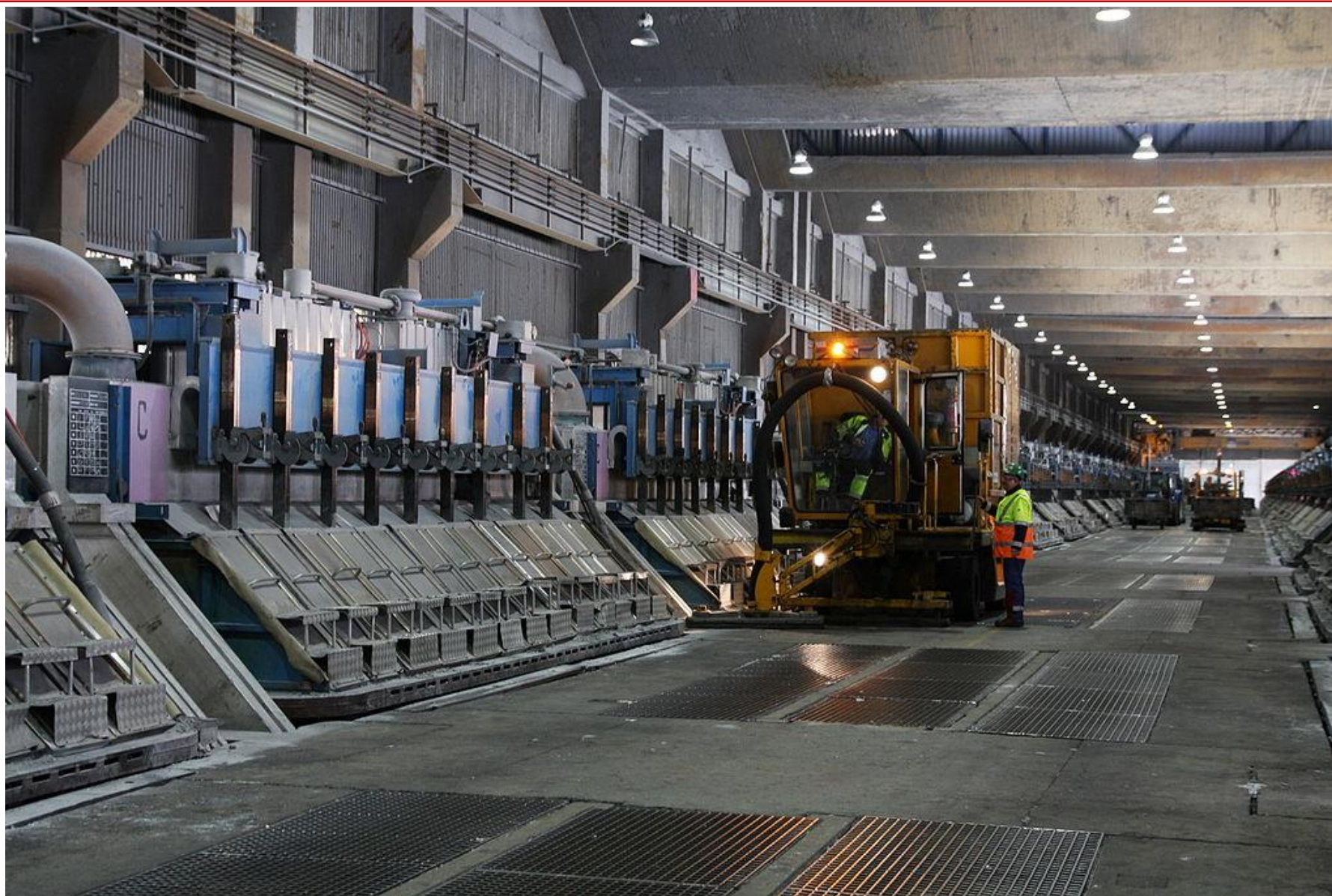


## Hall-Héroutt elektrolizálócella



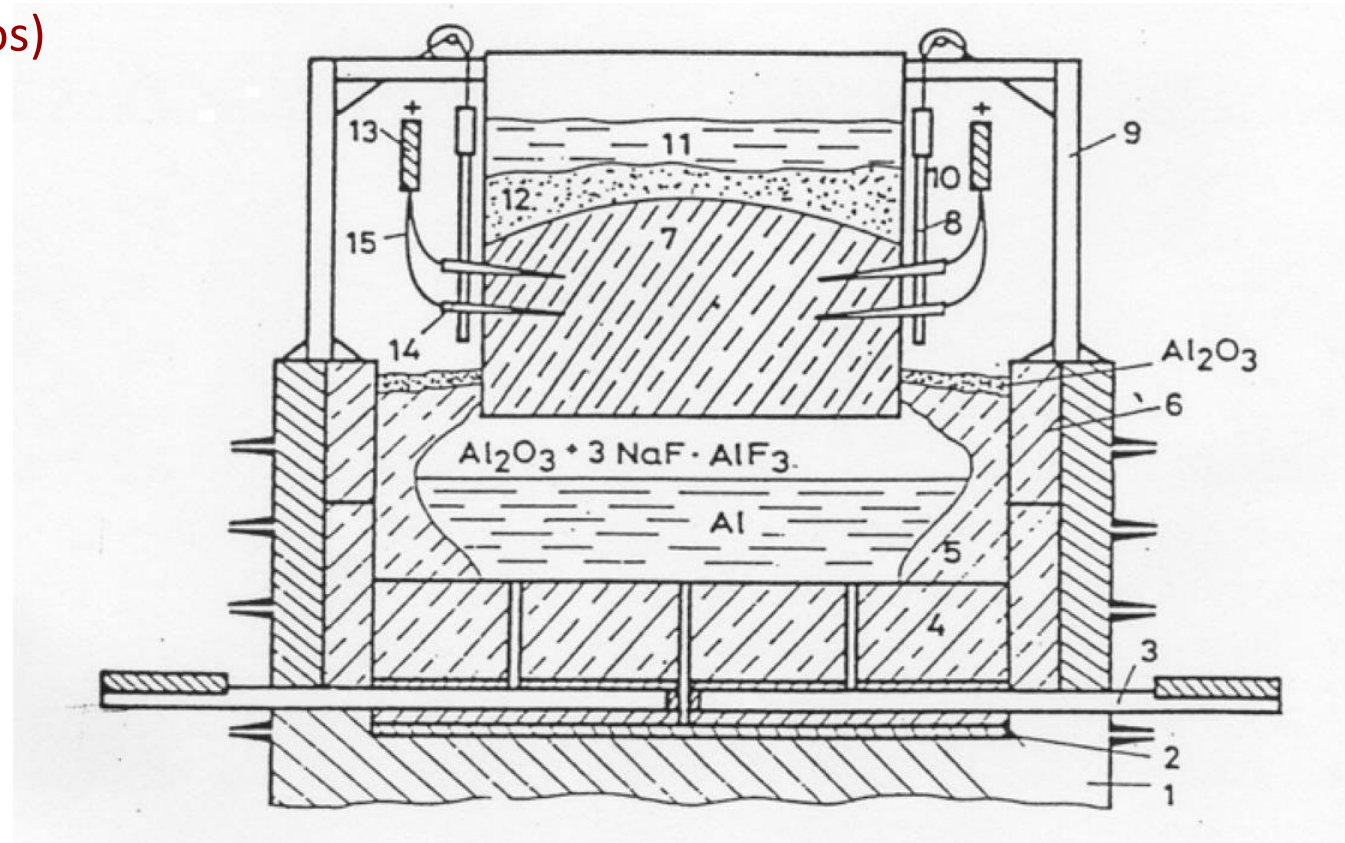
- A cellán belül a hőmérsékletet elektromos ellenállásfűtés segítségével biztosítják.
- Az Al elvételével párhuzamosan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -at adagolnak a cellába.
- Az elektrolit az átfolyó áram hatására keveredik.
- Anódon gázok (fogyóanód)  $\text{CO}_2$  és HF (folyasztószerből,  $\text{AlF}_3$ ).
- HF-et NaF-dá; szállóport porleválasztókkal távolítják el.





Hall-Héroult  
elektrolizáló üzem

## Söderberg (önsülő anódos) elektrolizálócella

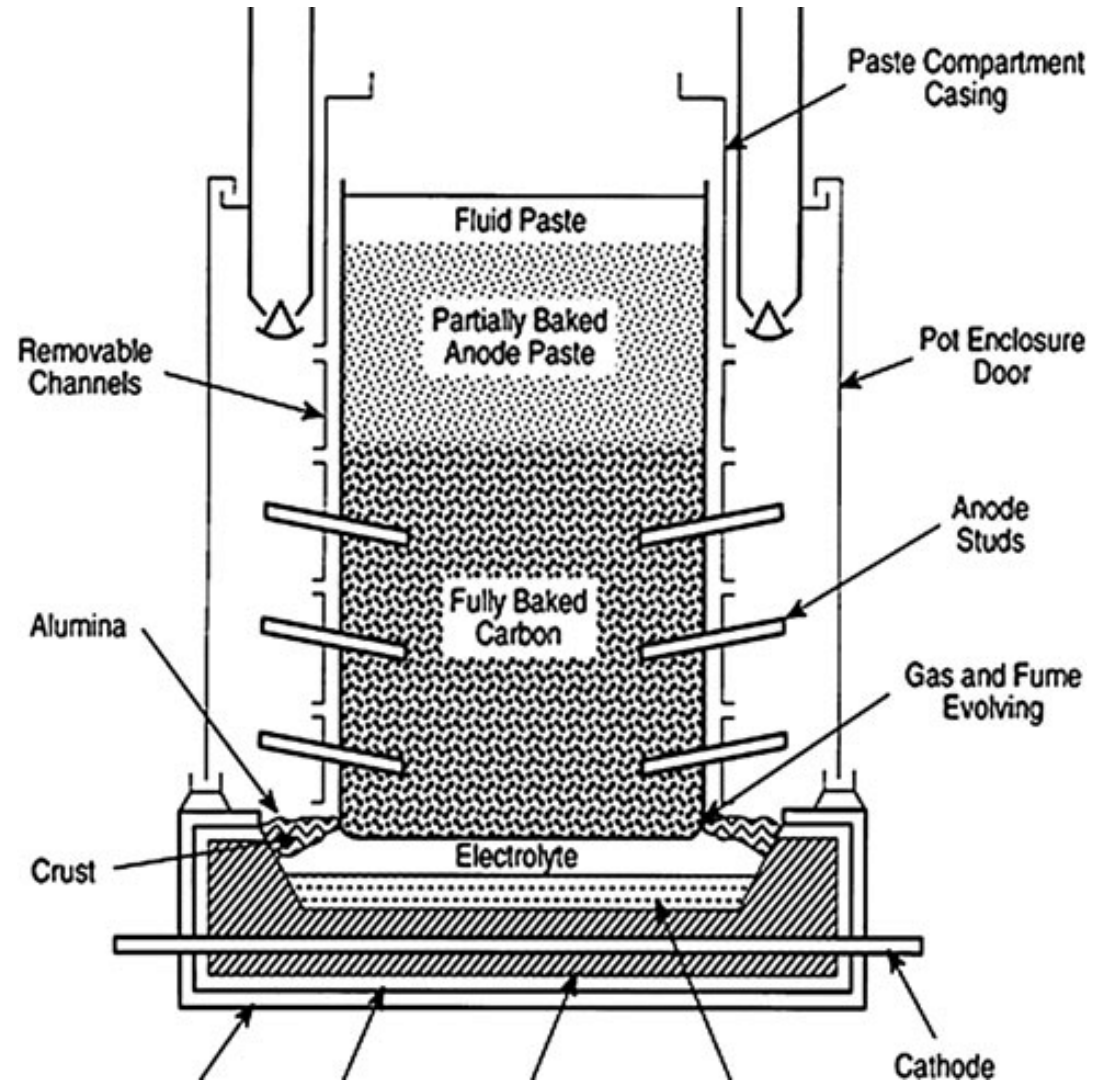


Az ábra jelölései: 1. samott téglafal, 2. öntöttvas alap, 3. katódhoz árambevezető, 4. szénblokk, 5. elektrolit lefagyás, 6. műgrafit téglafal, 7. anód, 8. ellensúly, 9. anódtartó, 10. anódszekrény, 11. anódmassza, 12. olvadt massa, 13. anód-sín, 14. tüskék, 15. hajlékony áramcsatlakozók

## Söderberg önsülő elektród

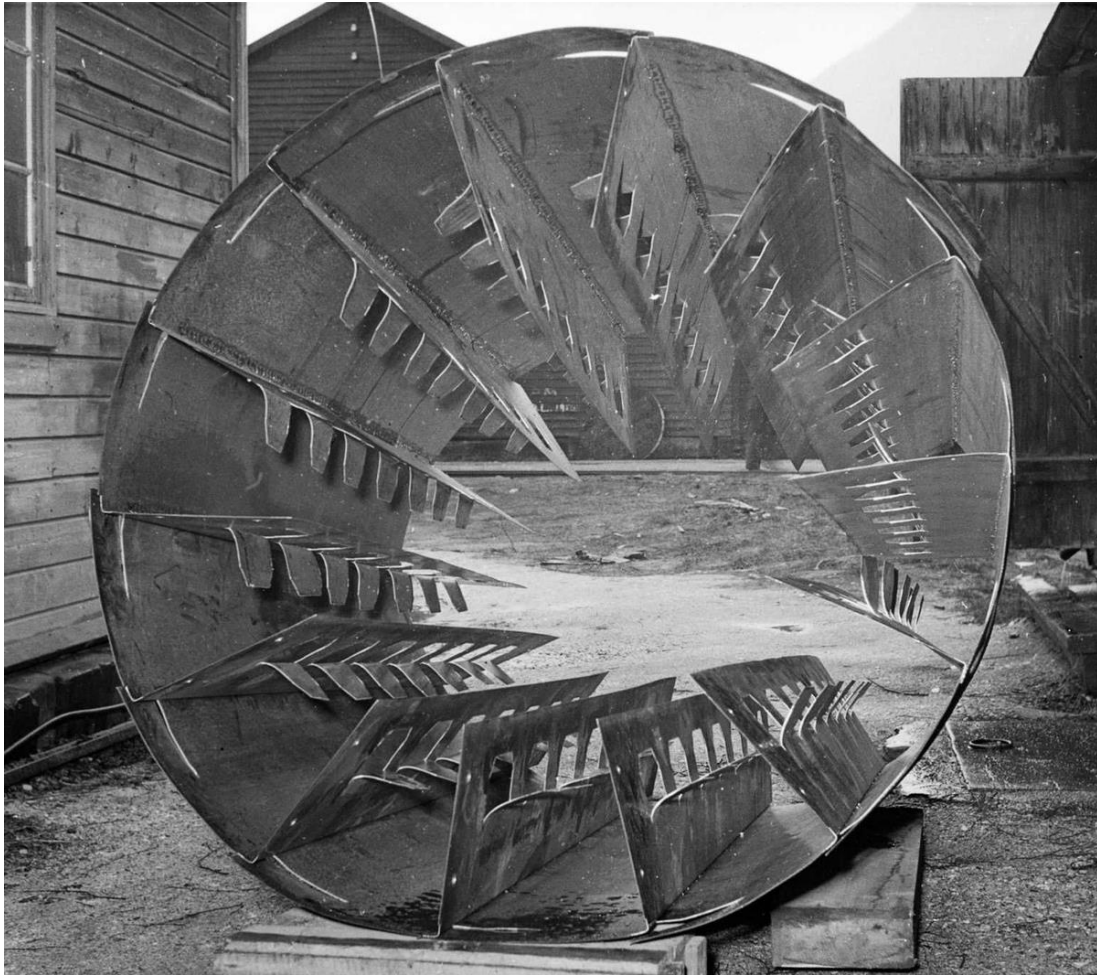
### Anódmassza:

- Antracitpor
- Petrolkoks
- Kátrány



Hő hatására a massa „összesül” elektromosan vezető grafittá. Mivel az össze még nem sült alapanyagmassza elektromosan nem vezet, a külső acélköpenyt használják áramvezetőként.

## Söderberg önsülő elektród



**Söderberg-elektroda acélköpenye az elektródmassza visszatartó bordázattal**

## Al-kohászat nagyon energiaigényes ipar!!!

### Al-gyártás energiaigénye és emissziói:

**1 kg Al** → 13 - 18 kWh elektromos energia (*vízierőművekkel rendelkező országok előnyben, kedvezőbb el. energiaár*)

→ ~10 kg CO<sub>2</sub> emisszió (nyers Al)

→ ~17 kg CO<sub>2</sub> emisszió (Al-késztermékre; transzport, feldolgozás, újra olvasztás, megmunkálás, stb.)

→ 4 kg bauxit (*1 t Al → 4 t bauxit*)

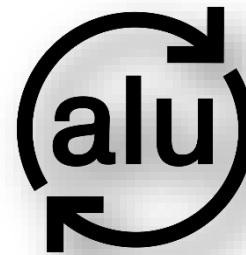
→ 10 kg meddő (*1 t Al → 10 t meddő*)

→ 3 kg vörösiszap (*1 t Al → 3 t vörösiszap*)

**Al konstrukciós anyagok**, ill. Al-habok alkalmazásának köszönhetően (könnyűszerkezetek) a gépek/járművek tömege, ezzel az üzemanyagfelhasználás és a **károsanyag emisszió csökkenthető.**

## Az alumínium újrahasznosítása

- Az **EU-ban** előállított Al kb. 52%-a újrahasznosításból származik, világszinten ez kb. 30% (2017).
- **Németország** (2016) ~723 000 t újrahasznosított Al.
- Az **USA-ban** előállított Al kb. 30%-a újrahasznosításból származik.
- **Világviszonylatban** az Al 40%-a kerül újrahasznosításra.



EU szinten kb. 67% az újrahasznosítási ráta.

A kommunális hulladékba helyezett csomagolóanyagok 66%-a Al.

Ezen hulladék elégetése után az Al fémes formában van jelen a keletkezett hamuban.

EU szinten a hulladékégetők hamujában fellelhető Al 70%-a újrahasznosításra kerül.

Al jobban reciklizálható, mint a műanyagok („downcycling”), de gyengébben, mint az acélok.

Az Al újrahasznosításánál a nyers Al előállításához szükséges **energia** mindössze **5%-a** szükséges!

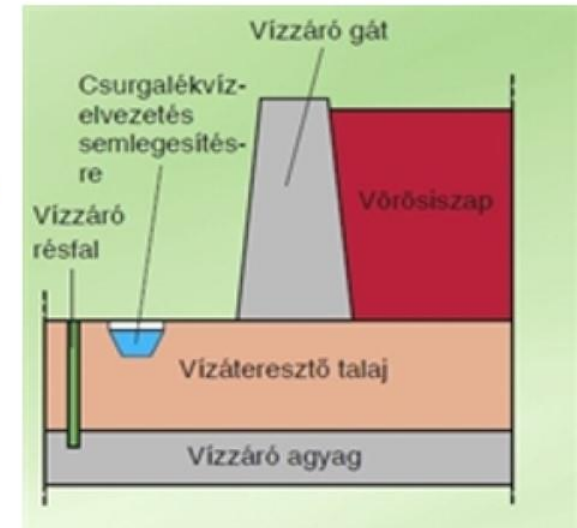


- Nagy fajlagos felületű, tixotróp anyag
- Fő komponensei: 16-18 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 33-48 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 9-15 %  $\text{SiO}_2$ ,  
4-6 %  $\text{TiO}_2$ , 8-12 %  $\text{Na}_2\text{O}$ , 0,3-1 %  $\text{MgO}$ ,  
0,5-3,5 %  $\text{CaO}$ , 0,2-0,3 %  $\text{V}_2\text{O}_5$
- Elvi felhasználási lehetőségek:
  - ülepitőszert gyártása vízderítési célokra,
  - téglagyártáshoz adalékanyag,
  - bitumenes masszákba útépitési célokra,
  - vaskohászati alapanyag.

## Vörösiszap katasztrófa-2010



- VI-VII. 4.5 millió m<sup>3</sup> (7.1 m t) -38 ha- 1967-1974.
- VIII. 6.5 millió m<sup>3</sup> (8.25 m t) -41 ha- 1971-1997.
- IX. 7.1 millió m<sup>3</sup> (11.2 m t) -49 ha- 1980-2008.
- X. 4.2 millió m<sup>3</sup> (6.2 m t) -26 ha- 1998-
- X/a. 0.4 millió m<sup>3</sup> (0.6 m t)

















Az iszap 3-6 perccel a gátszakadást követően öntötte el a 750 m-re lévő első kolontári lakóházakat, 14 órára átvonult a településen, s 13.20 órakor érkezett meg Devecserbe. Somlóvásárhelyen 15 órakor jelent meg (a patak gyakorlatilag fél órával előbb ért oda, mielőtt az elöntések megjelentek- Devecserben és Somlóvásárhelyen már volt egy kis idő a reagálásra)





















AZ EMBERI HANYAGSÁG  
ÉS KAPZSISÁG  
TERMÉSZETI ÉS EMBERI  
ÁLDOZATAIÉRT

2010. OKT. 4

NYÜLI VÁLLALKOZÓK