

# Kémiai technológia

Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

Kun Róbert



# A szervesetlen vegyipar ágazatai

## A nitrogénipar

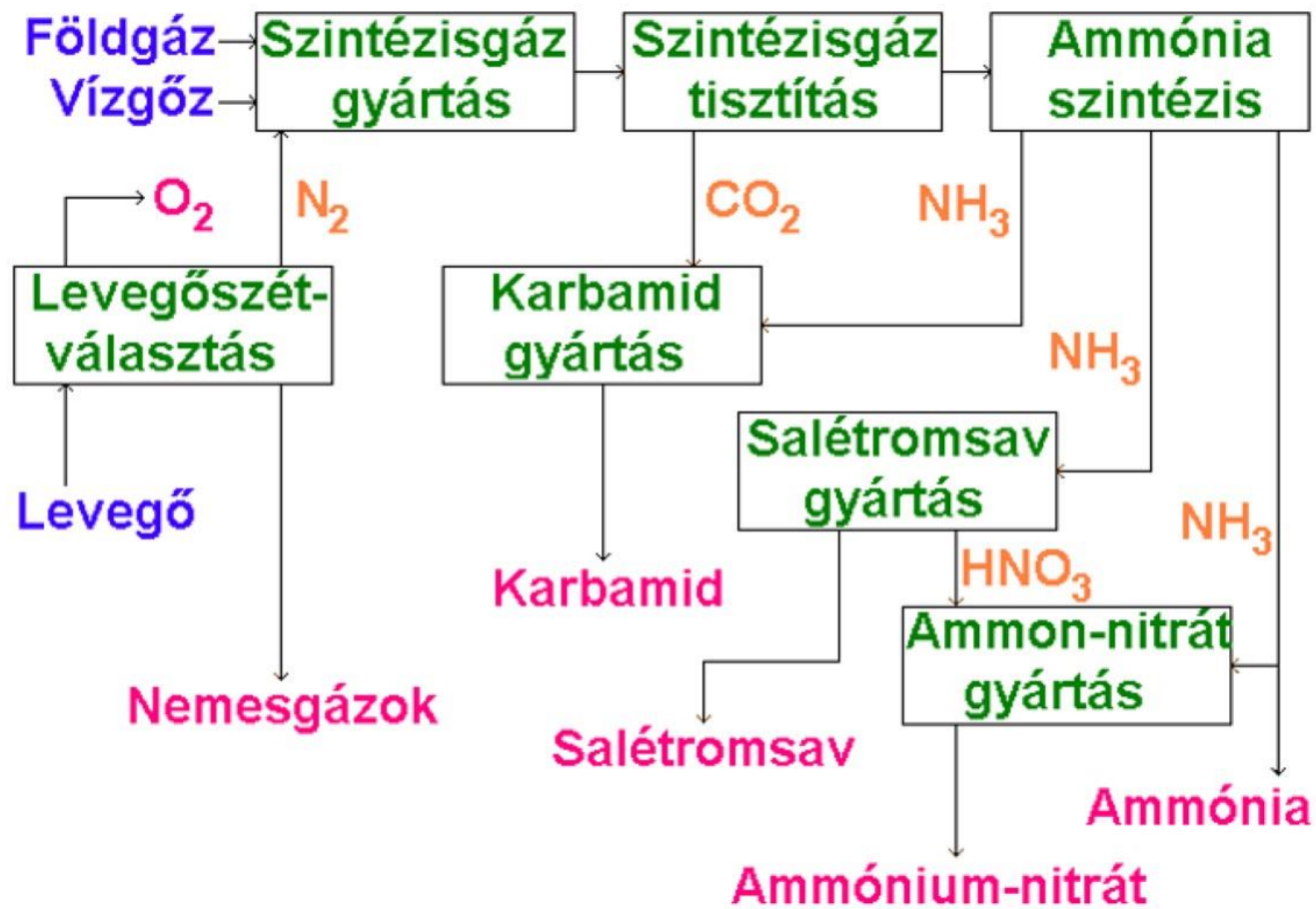
### Ammóniagyártás

---

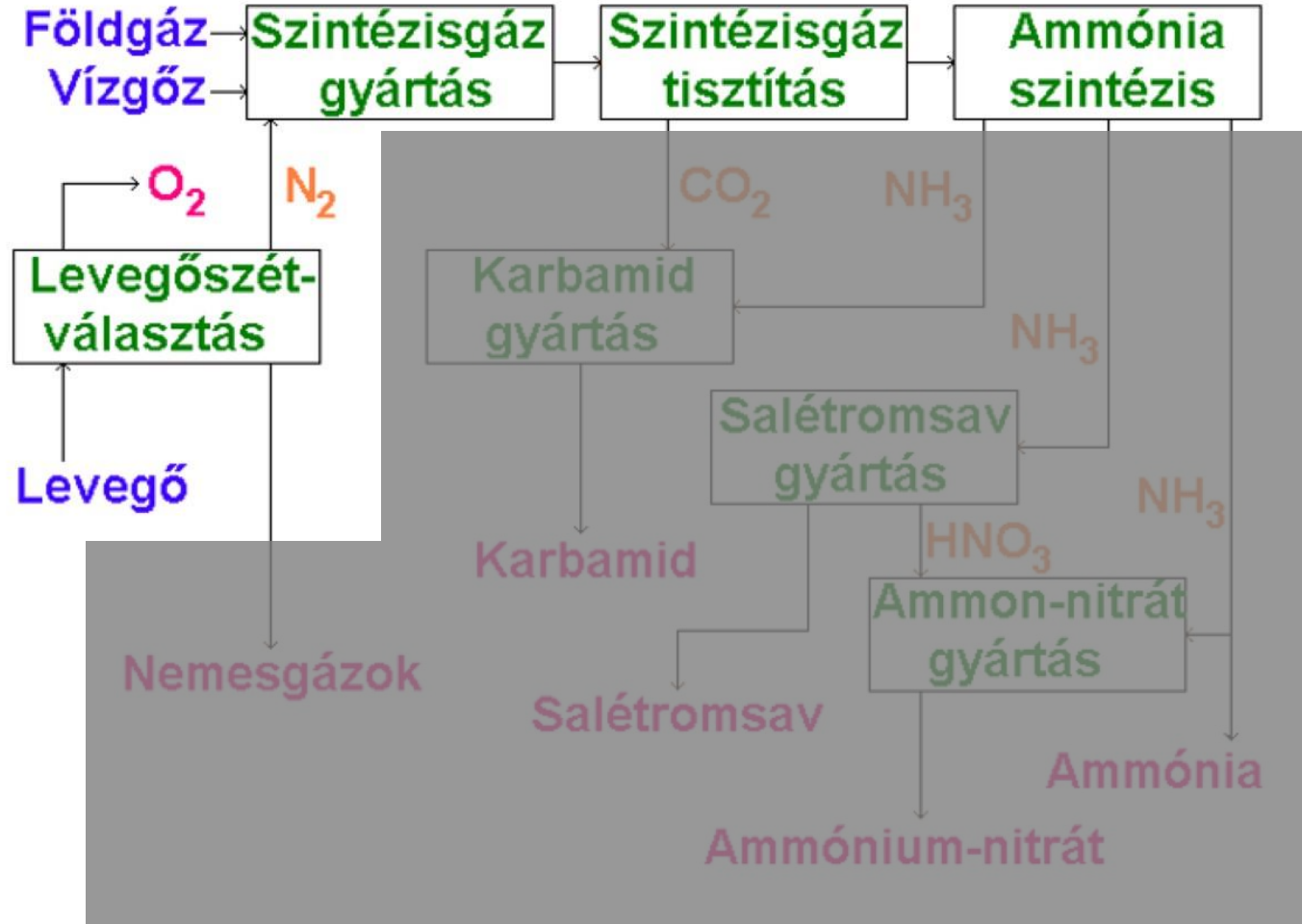
## A szerves vegyipar ágazatai

- **Nitrogénipar** (termékei:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ / $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , karbamid)
- **Műtrágyagyártás** (termékei: N-, K-, P- műtrágyák)
- **Kénsavgyártás** (termékei: kénsav és származékai, pl.  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )
- **Kősó termékek** (termékei:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NaOCl}$ )
- **Vas- és acélgyártás, alumínium gyártás**
- **Szilikát- és építőanyagipar** (termékei: mész, gipsz, cement, üveg)
- **Ipari gázok** (termékei:  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , szintézis gázok, nemesgázok)
- **Korrózió, korróziós folyamatok**

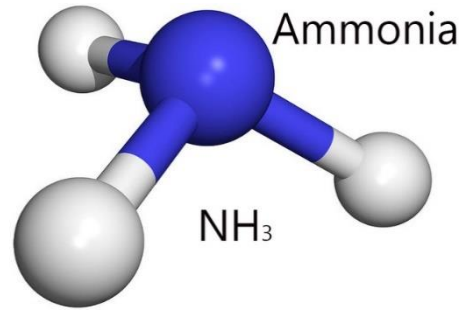
## A nitrogénipar blokskémaja



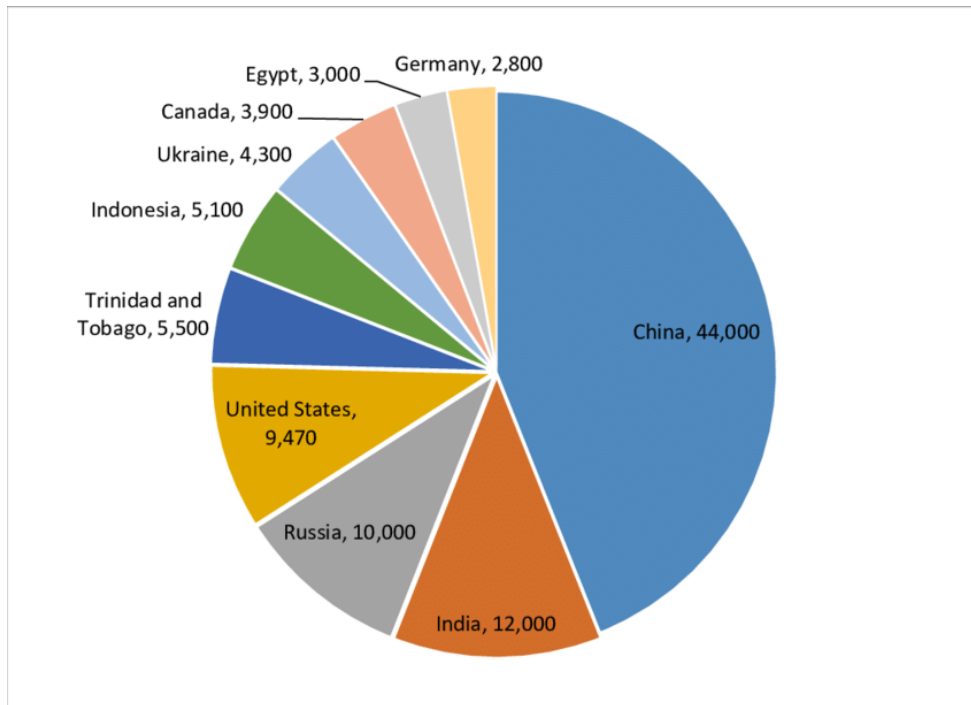
# A nitrogénipar blokské mája



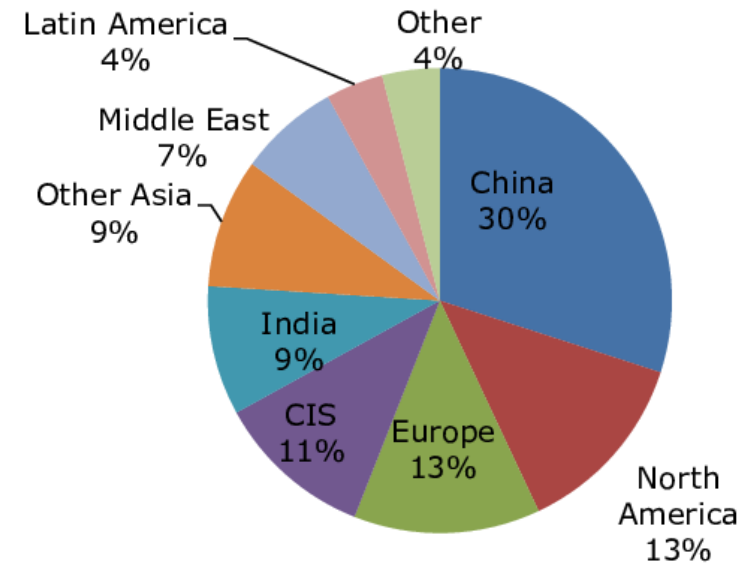
## Az ammónia



- Jellegzetesen szúrós szagú
- Szobahőmérsékleten gáz halmazállapotú anyag
- Mérgező, maró hatású
- A világban előállított NH<sub>3</sub> 75-80%-a műtrágyagyártás veszi fel
- Maradék (20-25%) műanyag, gyógyszer, színezék, robbanóanyag
- Salétromsav-, karbamid-gyártás alapanyaga
- Füstgázból NO<sub>x</sub> kivonás (környezetvédelmi reagens)
- Cseppfolyós NH<sub>3</sub> hűtőgépek töltete és oldószer



10 legfontosabb ammóniatermelő ország 2012 évben (k tonna/év)



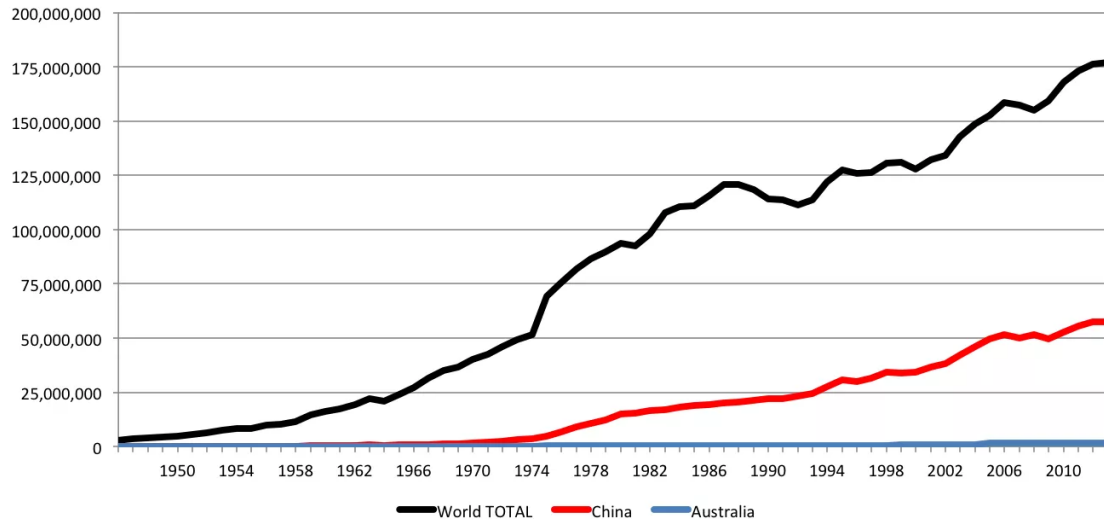
Régiók szerinti ammónia felhasználás 2013-ban



# Az ammónia termelés globális volumene

## Global Ammonia Production, 1947 - 2014

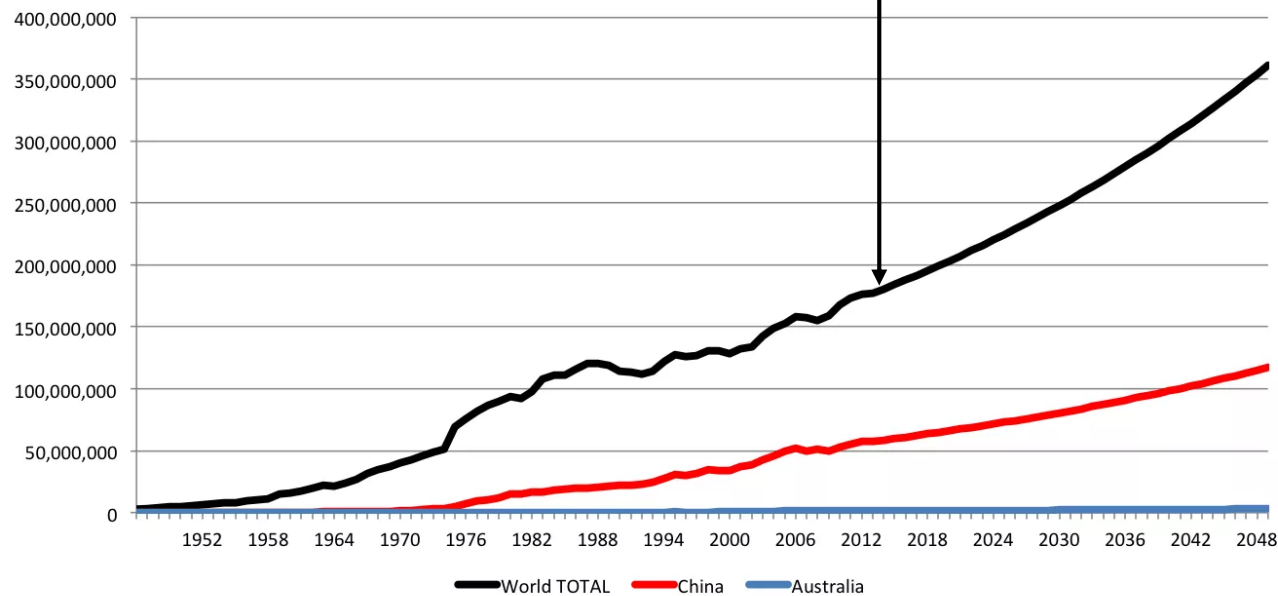
Units: metric tons of ammonia. Source: US Geological Survey (1947-2014) / AmmoniaIndustry.com, March 2018



~ 175 millió tonna NH<sub>3</sub> (2014)

## Global Ammonia Production, forecast to 2050 @ 2% growth

Units: metric tons of ammonia. Source: US Geological Survey (1947-2014) / AmmoniaIndustry.com, March 2018



## Az ammónia felhasználási lehetőségei

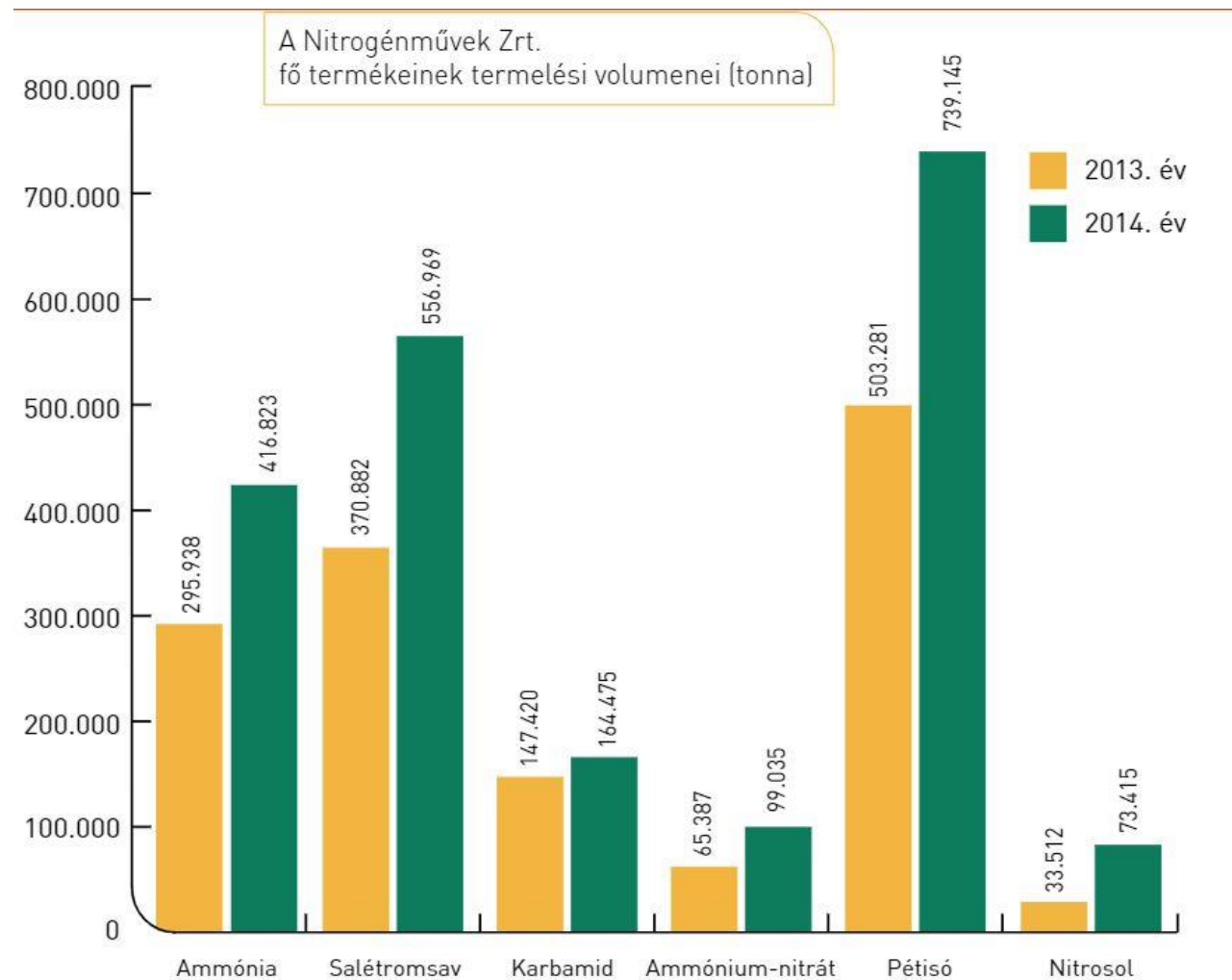
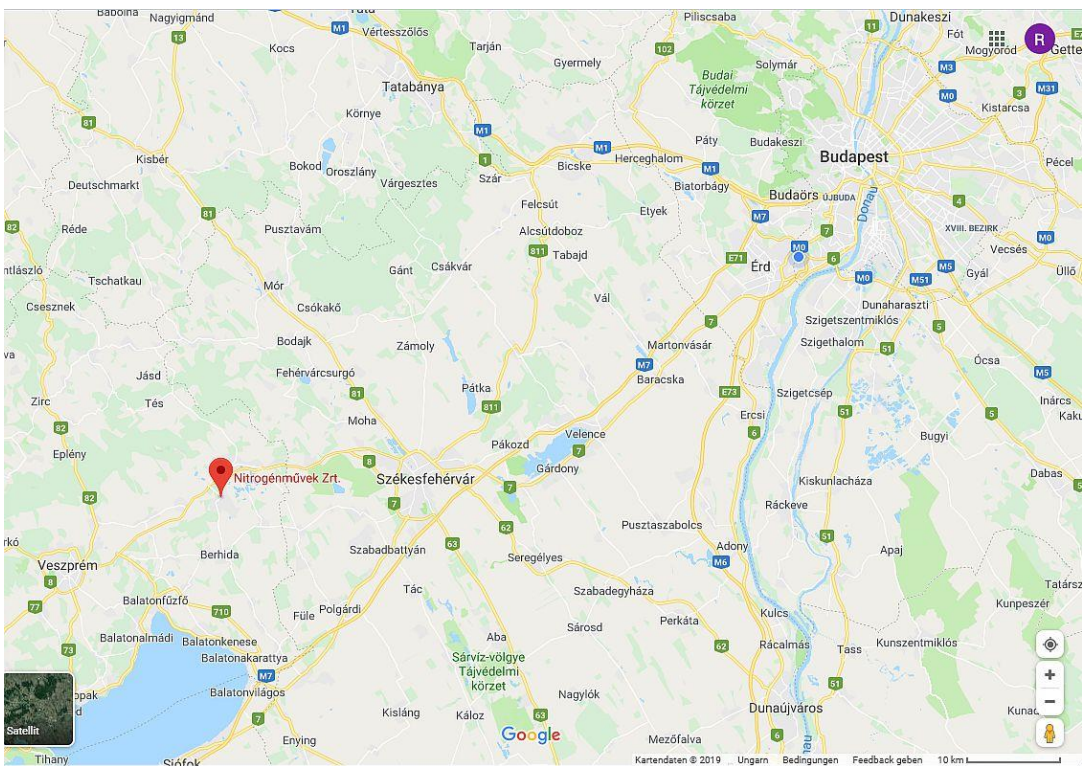
<b>Műtrágyák</b>	Ammónium-szulfát, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ammónium-foszfát, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ ammonium nitrate, $\text{NH}_4\text{NO}_3$ karbamid, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
<b>Vegyszerek</b>	salétomsav, $\text{HNO}_3$ , robbanóanyaggyártás TNT (2,4,6-trinitrotoluol), nitroglicerín (gyógyszer is!) és PETN (pentaeritritol-nitrát). Nátrium-hidrogén-karbonát, $\text{NaHCO}_3$ Mátrium-karbonát, $\text{Na}_2\text{CO}_3$ hidrogén cianid (hydrocyanic acid), $\text{HCN}$ hidrazin, $\text{N}_2\text{H}_4$ (rakéta üzemanyag komponens)
<b>Robbanóanyagok</b>	Ammónium-nitrát ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )
<b>Műanyagok- műszálak</b>	nylon, $-\text{[(CH}_2)_4\text{-CO-NH-(CH}_2)_6\text{-NH-CO]}-$ , és más poliamidok
<b>Hűtőközeg</b>	Jégyártásnál, nagy kapacitású hűtőházak, légkondicionálás
<b>Gyógyszergyártás</b>	Szulfonamid gyógyszerek (bakteriosztatikumok), melyek <i>p</i> -aminobenzoésavat (PABA) igényelnek, malária elleni készítmények, vitaminok (B, nikotinamid (niacinamid) és tiamin)
<b>Papíripar</b>	Ammónium-hidrogén-szulfit, $\text{NH}_4\text{HSO}_3$ , keményfák felhasználásához
<b>Bányászat- Fémkohászat</b>	Nitridáláshoz felületi kezelés, cinc és nikkal extrakciónál
<b>Mosás-tisztítás</b>	
<b>Környezetvédelem</b>	Füstgázok $\text{NO}_x$ mentesítése



# Hazai ammónia termelés



Pétfürdő



**Pétisó:** nitrogén tartalmú műtrágya ( $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )

**Nitrosol:** Folyékony nitrogénműtrágya, karbamid és  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  vizes oldata.

## Az ammóniaszintézis

- Haber-Bosch katalitikus eljárás (Mittasch-féle  $\text{Fe}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$  katalizátor), 1913-ból. *(megszületik a magas hőmérsékletek és nagy nyomások technológiája)*
- Elemeiből állítják elő.
- Az  $\text{NH}_3$  szintézis költségeit a szintézisgáz előállítási költségei határozzák meg.
- Szintézisgáz előállítása sokat fejlődött az elmúlt évszázadban.

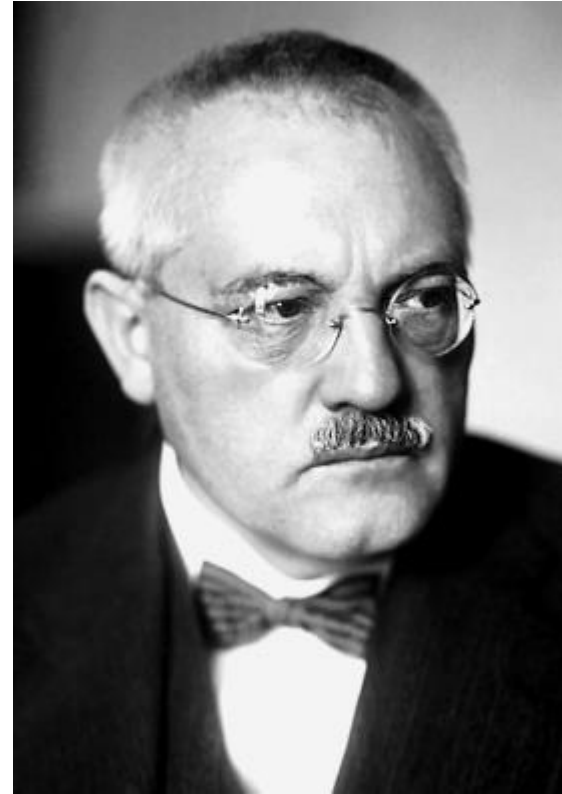
**Összefoglalva az ammónia gyártást:**  $\text{N}_2/\text{H}_2$  gázelegy reagáltatása, Fe-katalizátor,  $300\text{ }^\circ\text{C}$ -nál magasabb hőmérséklet és 100 bar-nál magasabb nyomás, el nem reagált gázelegy recirkulálása, ammónia kondenzáltatása és elválasztása, inert gázok lefúvatása

**1 kg ammónia előállításához szükséges  $2,4\text{ m}^3\text{ H}_2$  és  $0,8\text{ m}^3\text{ N}_2$ , keletkező hő  $3,27\text{ MJ}$**

## Az ammóniaszintézis – Haber-Bosch eljárás



**Fritz Haber (1919)**  
1868.12.09 (Wrocław, Lengyelo.)  
1934.01.29. (Basel, CH)



**Carl Bosch**  
1874.08.27. (Köln, DE)  
1940.04.26. (Heidelberg, DE)

---

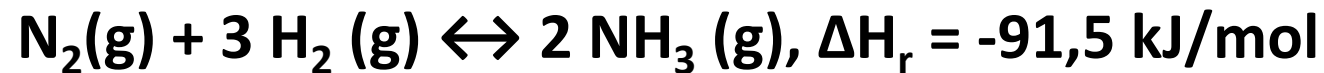
## Az ammóniaszintézis ipari megvalósításának feltételei

- 1) A reakció termodinamikai jellemzőinek és egyensúlyi viszonyainak ismerete**
- 2) Kellő aktivitású katalizátor előállítása**
- 3) Nagynyomású reaktor alkalmas konstrukcióval, nagynyomású- és keringtető kompresszorok**
- 4) Hatékony szintézisgáz előállítási eljárások (levegő frakcionálás, H<sub>2</sub>-előállítás)**

## Az ammóniaszintézis

Technológiai kihívások megoldandó problémák:

- megfelelő reaktorok kialakítása
- optimális katalizátor készítés kidolgozása
- robbanásveszélyes gázelegy kompressziója/recirkulációja
- a katalizátor és az acél reaktorkomponensek H<sub>2</sub>/CO okozta korróziója
- ammónia elválasztása a szintézisgáz elegytől
- a fejlődő hő elvezetése
- inert (feldúsuló) gázok lefúvatásának módszere



- *reverzibilis reakció*
- *molekulaszám csökkenés*
- *exoterm reakció*

# LeChatelier elv



Növelve a hőmérsékletet...

...elősegítjük az endoterm reakciót (az ellen reakciót) melynél a hőmérséklet emelését hőelnyeléssel ellensúlyozza.

Növelve a nyomást...

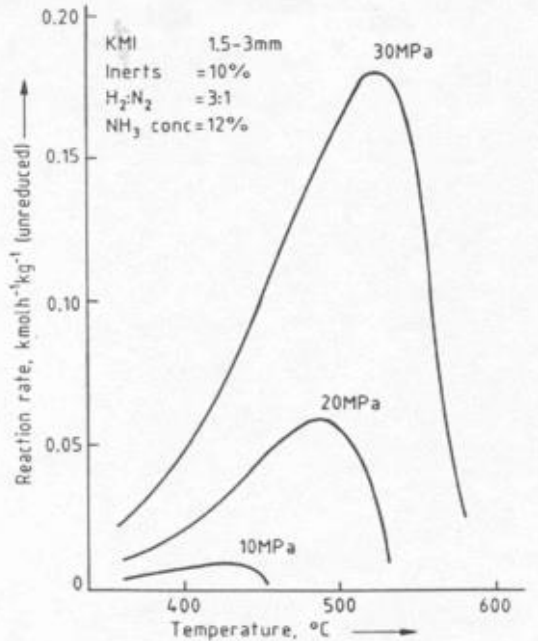
...az ammónia képződést segítjük, mert 4 mol gázmolekulából 2 mól hozunk létre és ez csökkenti a térfogatot, így a nyomást.

Csökkentve az  
NH<sub>3</sub> koncentrációt...

...az ammónia képződést segítjük, hogy pótoljuk az eltávolított ammóniát.



## NH<sub>3</sub> Synthesis



F. Haber won the 1918 Noble Prize In Chemistry for his work.

Drivers:  
-Fertilizer  
-Refrigerant

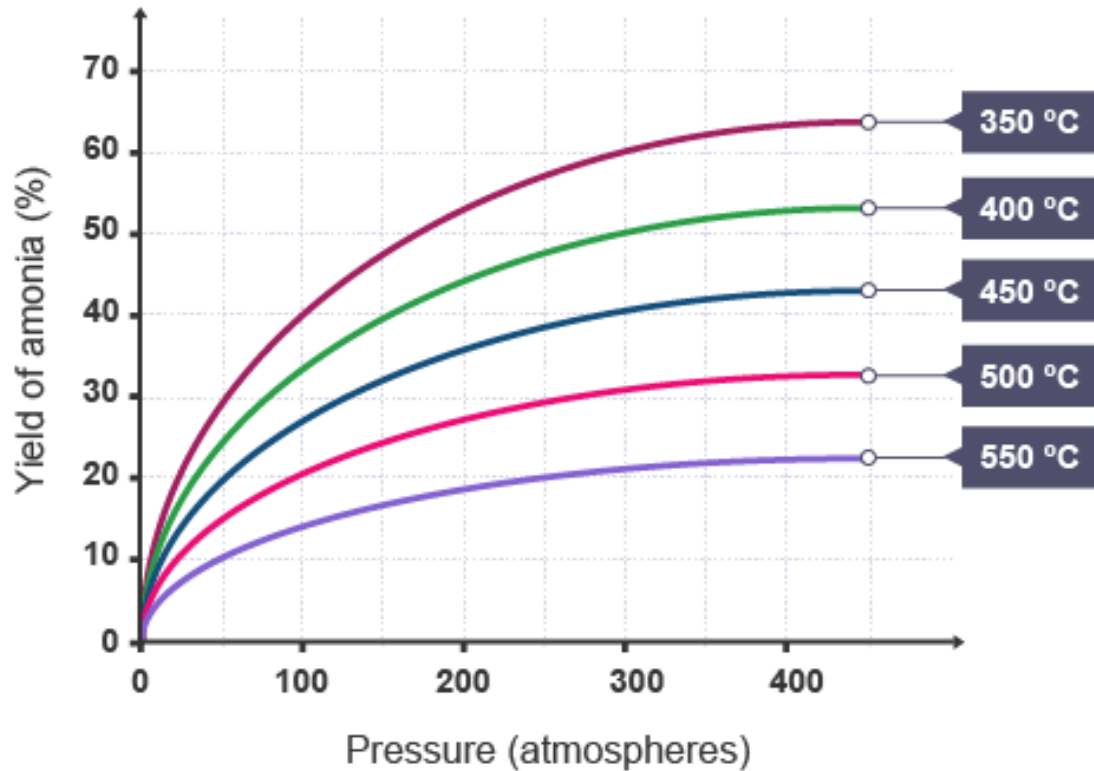
- Alacsony T-en a reakció nem játszódik le kielégítő sebességgel.
- Gyakorlatban katalizátor alkalmazása mellett, kompromisszumos T-en.
- Nem törekednek a 100%-os konverzióra.
- Át nem alakult reaktánsok recirkulációja.
- 100%-os konverzió csak extrém körülmények között lenne lehetséges.

Reaction rate for NH<sub>3</sub> synthesis. Dependence on the temperature at various pressures.

*Az ammóniaképződés sebessége a hőmérséklet és a nyomás függvényében*

T (°C)	NH <sub>3</sub> (tf%)		
	100 bar	300 bar	1000 bar
300	81,5	89,9	98,3
400	25,1	47,1	79,3
500	10,6	26,4	57,5
600	4,5	13,8	31,4

## Az ammóniaszintézis hőmérséklet és nyomásfüggése



200 °C körül és 750 bar fölött ~100% konverzió várható.

A nagy nyomás problémás a nagy mennyiségű anyag kezelésénél.

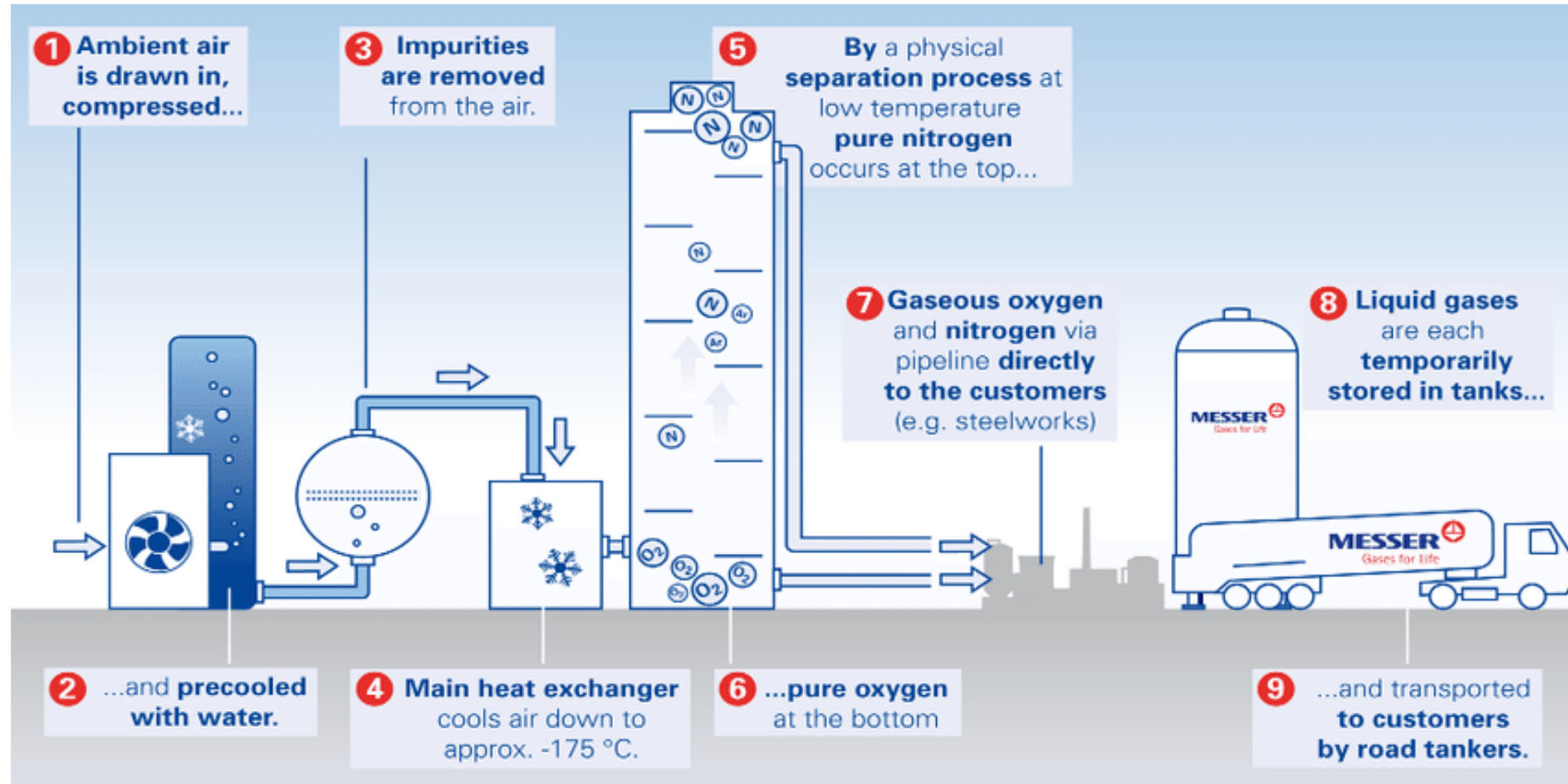
200 bar nyomás és 400-500 °C hőmérsékleten végzik a műveletet, katalizátor alkalmazása mellett; kb. 15-25%-os konverzió várható.

**1) Szintézisgáz előállítása**

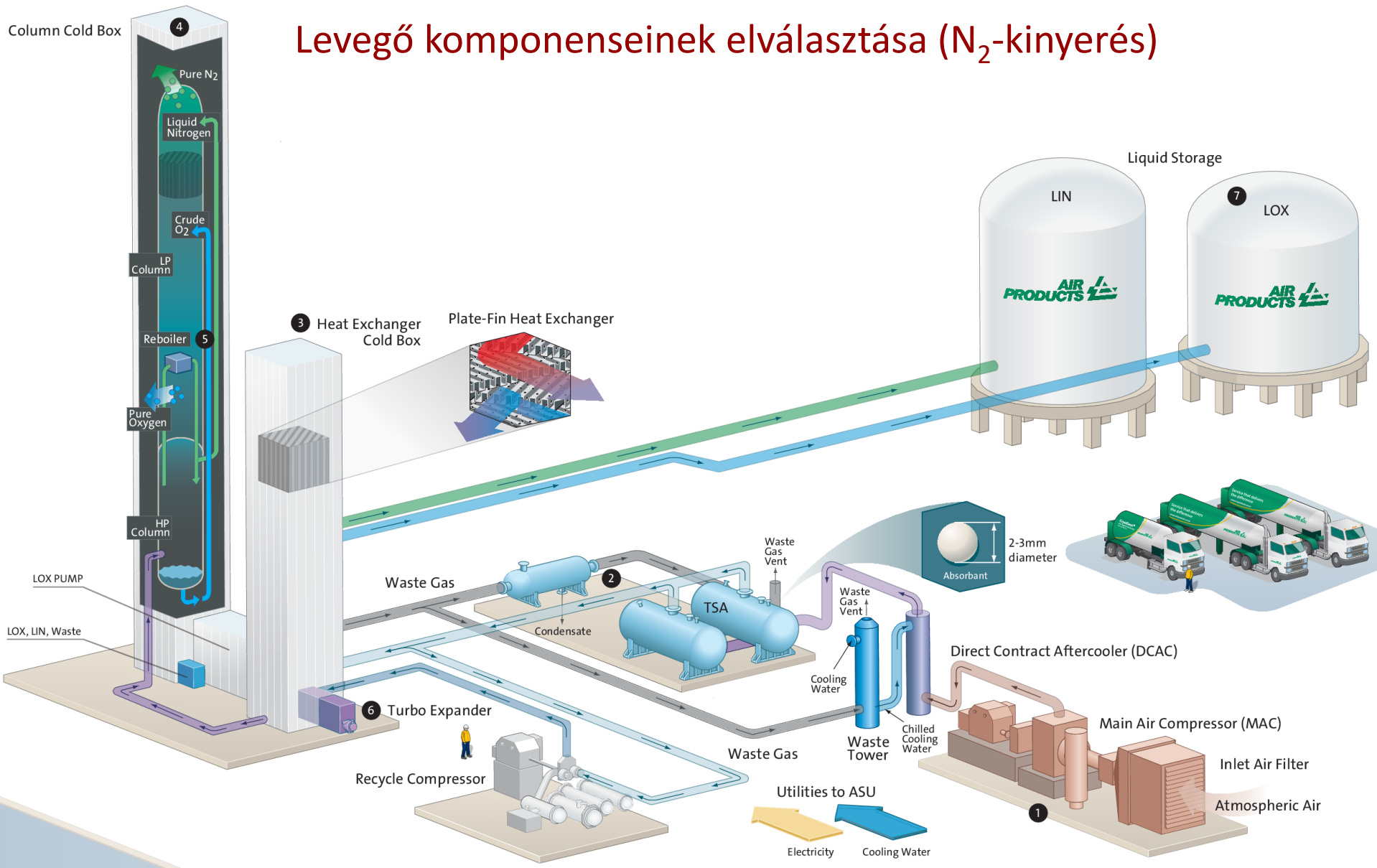
**2) Szintézisgáz tisztítása**

**3) Ammónia szintézise**

## Levegő komponenseinek elválasztása (N<sub>2</sub>-kinyerés)



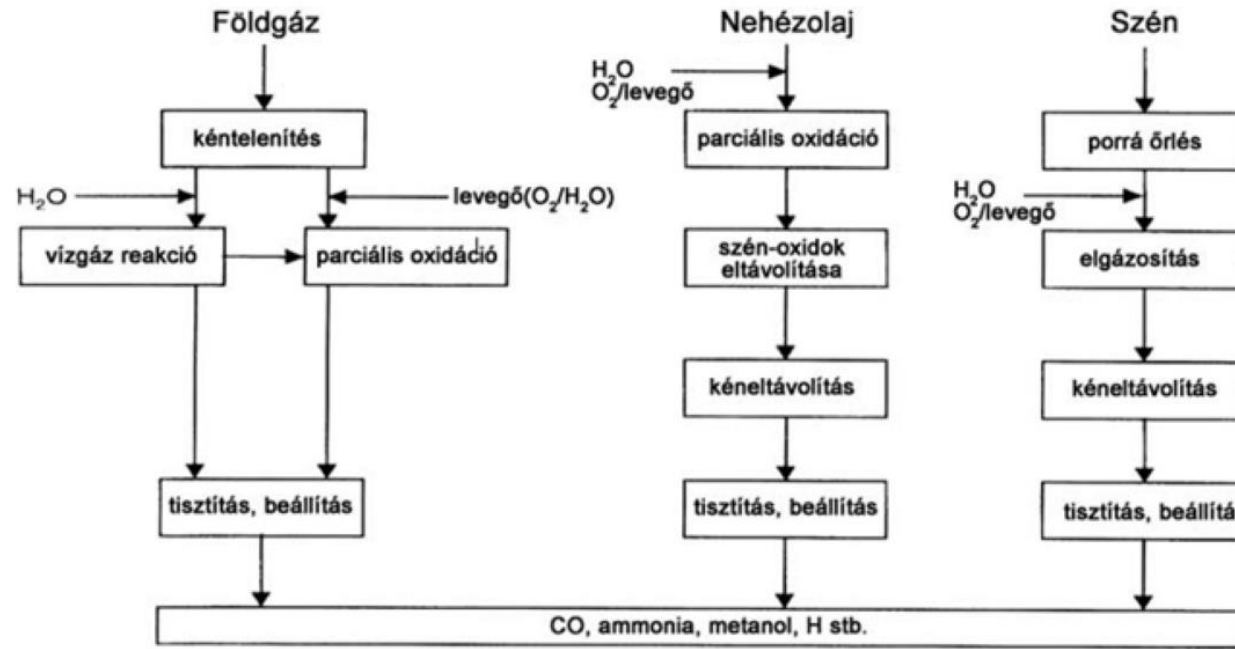
# Levegő komponenseinek elválasztása (N<sub>2</sub>-kinyerés)



- 1 Main Air Compressor (MAC)**
  - Creates differential pressure to enable flow through the process
  - Also used to provide energy that drive turbines to produce refrigeration
- 2 Temperature Swing Adsorbers (TSA)**
  - Zeolite material used to adsorb molecular impurities using polarization of beads as temperatures change
- 3 Main Heat Exchanger**
  - The heart of an air separation plant
  - Used to cool down the main air process stream
  - Also used to recover refrigeration from the product streams (economizer)
- 4 Cold Box**
  - Houses the distillation columns used to separate air into components - nitrogen (N<sub>2</sub>), argon (Ar) and oxygen (O<sub>2</sub>) at vapour-liquid equilibrium (VLE)
- 5 Reboiler**
  - Equipment used to keep LP column sump liquid oxygen (LOX) at bubble point temperature
  - Also used to keep gaseous nitrogen (GAN) at dew point temperature in the HP column
- 6 Turbo Expander**
  - Provide refrigeration to the ASU via Joule-Thomson expansion
- 7 Liquid Storages**
  - Liquid stored for supplying the merchant market
  - Liquid stored for backup purposes



# Szintézisgáz előállítása



## gőzreformálás

Földgázból

## parciális oxidáció

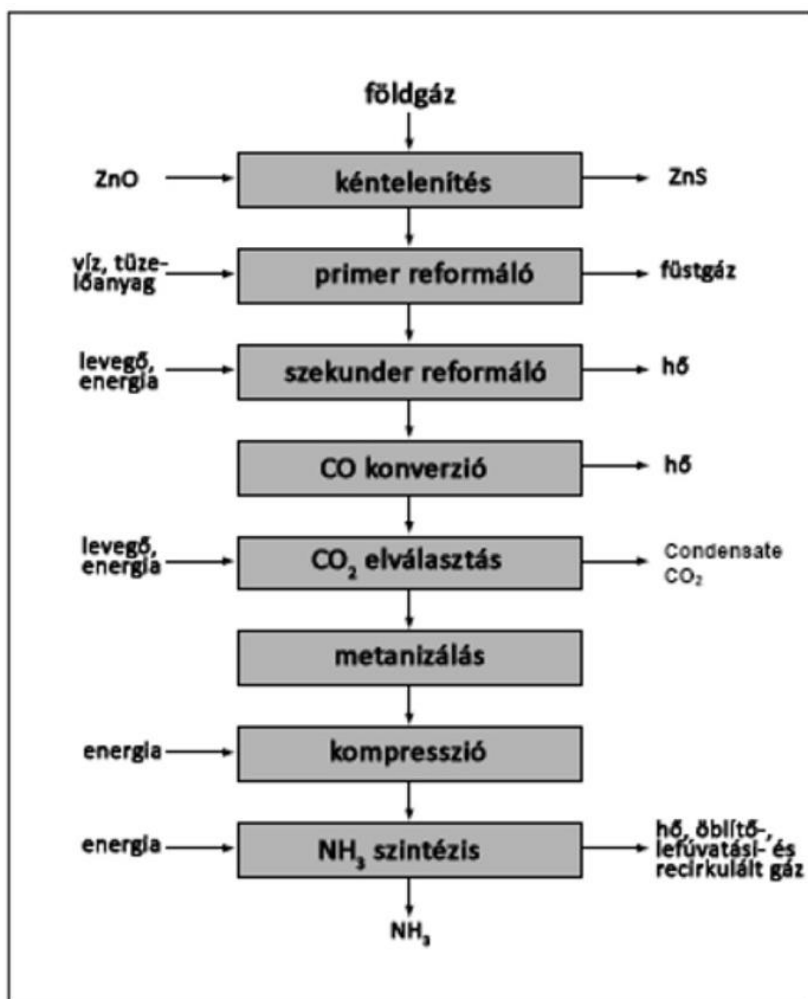
nehézolaj frakcióból

szénből

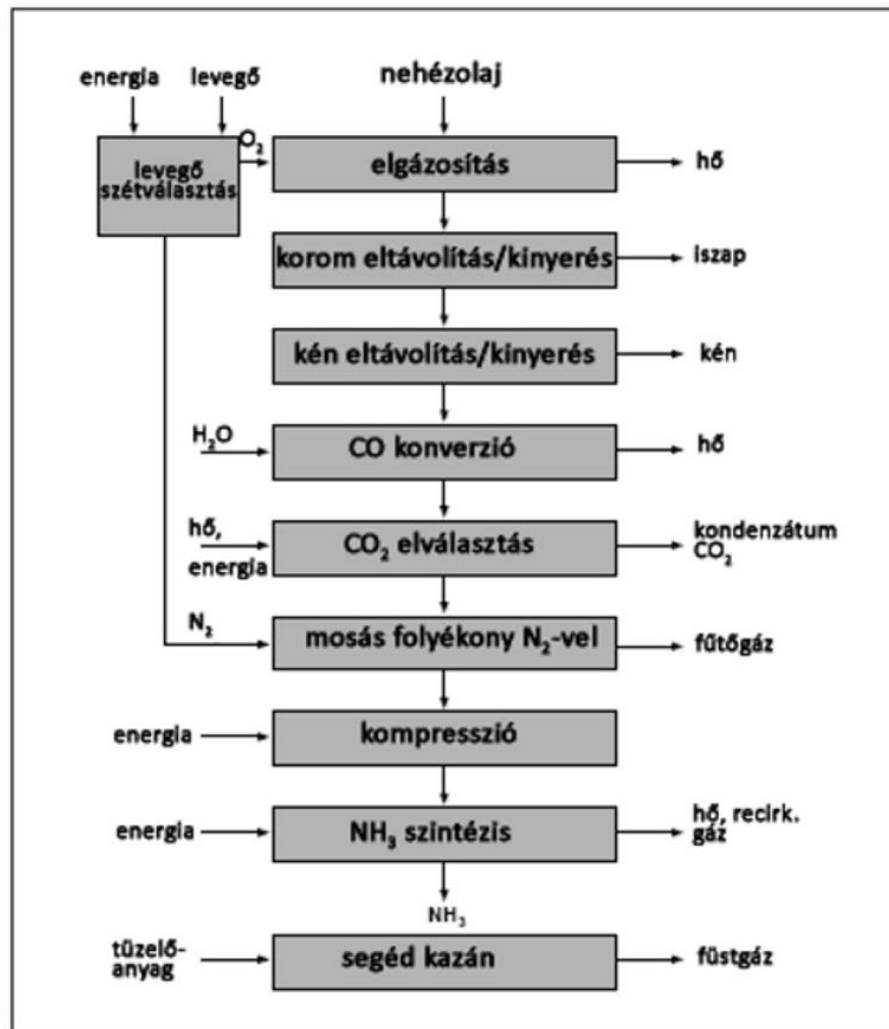
Ha földgázból indulnak ki, akkor a **gőzreformálásos eljárást**, ha nehezebb szénhidrogén frakciókból, vagy szénből, akkor a **parciális oxidációs eljárást** alkalmazzák az ammónia szintézisgázának előállításához. Kismértékben állítanak elő hidrogént víz elektrolízisével is (Egyiptom, Izland, Peru). Nagyon tiszta (kevés  $O_2$ ) szintézisgáz, de drága.



## Gőzreformáló eljárás



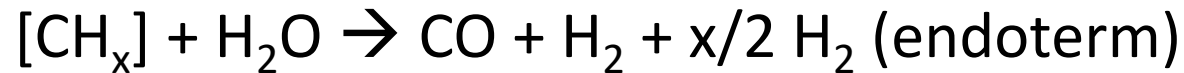
## Parciális oxidációs eljárás



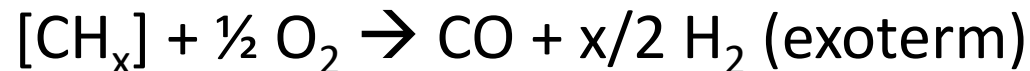
**Parciális oxidációs eljárás:** nehéz szénhidrogénekből, vagy szénből állítják elő a szintézisgázt.. Flexibilis eljárás, földgáztól kezdve, aszfalt, vagy hulladék szénhidrogén is felhasználható. Részei:

- **Levegőszétválasztás** Folyékony levegőből desztillációval, vagy molekulaszitálás gázszeperációval
- **Nehéz szénhidrogének elgázosítása**  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bevonatú tartályba szénhidrogéneket, oxigént és vizet vezetnek  $1400\text{ }^\circ\text{C}$ -on, 81 bar nyomáson és  $\text{CO}$  és  $\text{H}_2$  keletkezik  
 $2\text{CH}_n + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + n\text{H}_2$  A gázelegyben 3-5%  $\text{CO}_2$ , 0,2%  $\text{CH}_4$  és 0,5% korom van.
- **Korom eltávolítása** A hűtés után a kormot benzinnel, vagy könnyű-gázolajjal extrahálják és az első esetben a benzint desztillációval, a másodikban pedig a koromszemcséket szűréssel választják el és a kormot visszavezetik.
- **Kéneltávolítás** A nyersanyagban lévő (max 7%) kén főleg  $\text{H}_2\text{S}$  formában a termék-gázban van, melyet hűtés után  $-30\text{ }^\circ\text{C}$ -on hűtött metanollal mossák, majd az elválasztott  $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$  frakciót a Claus kéntelenítőbe vezetik.
- **CO konverzió** Hasonló a gőzreformáló eljáráshoz, vas-króm katalizátor helyett újabban Co-Mo-bázisú, kéntűrő katalizátorokat alkalmaznak, így a megelőző kéntelenítés nem szükséges, így a  $\text{H}_2\text{S}$  az itt keletkező  $\text{CO}_2$ -vel együtt távozik a gázelegyből.
- **$\text{CO}_2$  elválasztás** A gázelegy lehűtése után hideg metanollal kimossák a  $\text{CO}_2$  és (Co-Mo konverziós katalizátoros CO konverzió esetén a  $\text{H}_2\text{S}$ ) gázokat
- **Mosás folyékony nitrogénnel** A maradék CO és  $\text{CH}_4$  nyomokat és az argon zömét folyékony ( $-185\text{ }^\circ\text{C}$ ) mossák ki és a mosott gázhoz nitrogént kevernek

### 1. lépés: fosszilis tüzelőanyagok reakciója vízgőzzel és oxigénnel:

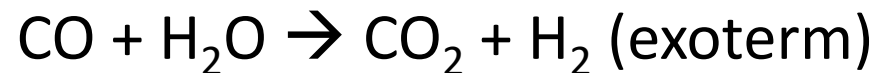


*Katalizátor: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hordozós Ni katalizátor*



Az endoterm reakció hőszükségletét a szénhidrogén megfelelő hányadának elégetésével fedezik (**autoterm üzemmód**), vagy a katalizátort tartalmazó fémcsöveket kívülről fűtik.

### 2. lépésben CO konverziója katalizátorral:



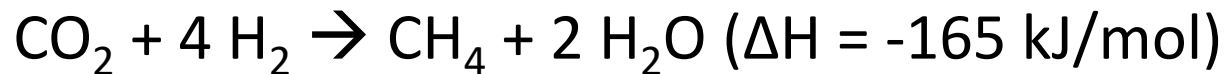
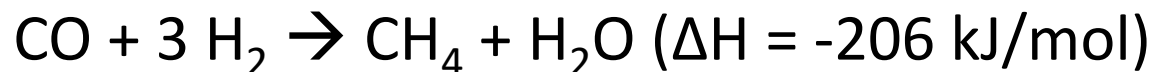
*Katalizátor:*

- 1) 400-500 °C működő Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-dal aktivált Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (gáz kéntelenítése szükséges)
- 2) 200-250 °C hatékony CuO/ZnO (rendkívül kén és klorid érzékeny)
- 3) Co/Mo katalizátor (kéntűrő) a kén-tartalmú gázok konvertálására

Alacsony hő kedvez a H<sub>2</sub> keletkezésnek. Katalizátor nélkül 900 °C fölött játszódna le a reakció megfelelő sebességgel. Vízgőzfelesleget alkalmaznak, H<sub>2</sub>O/CO = 2-4/1 (*koromképződés!*).

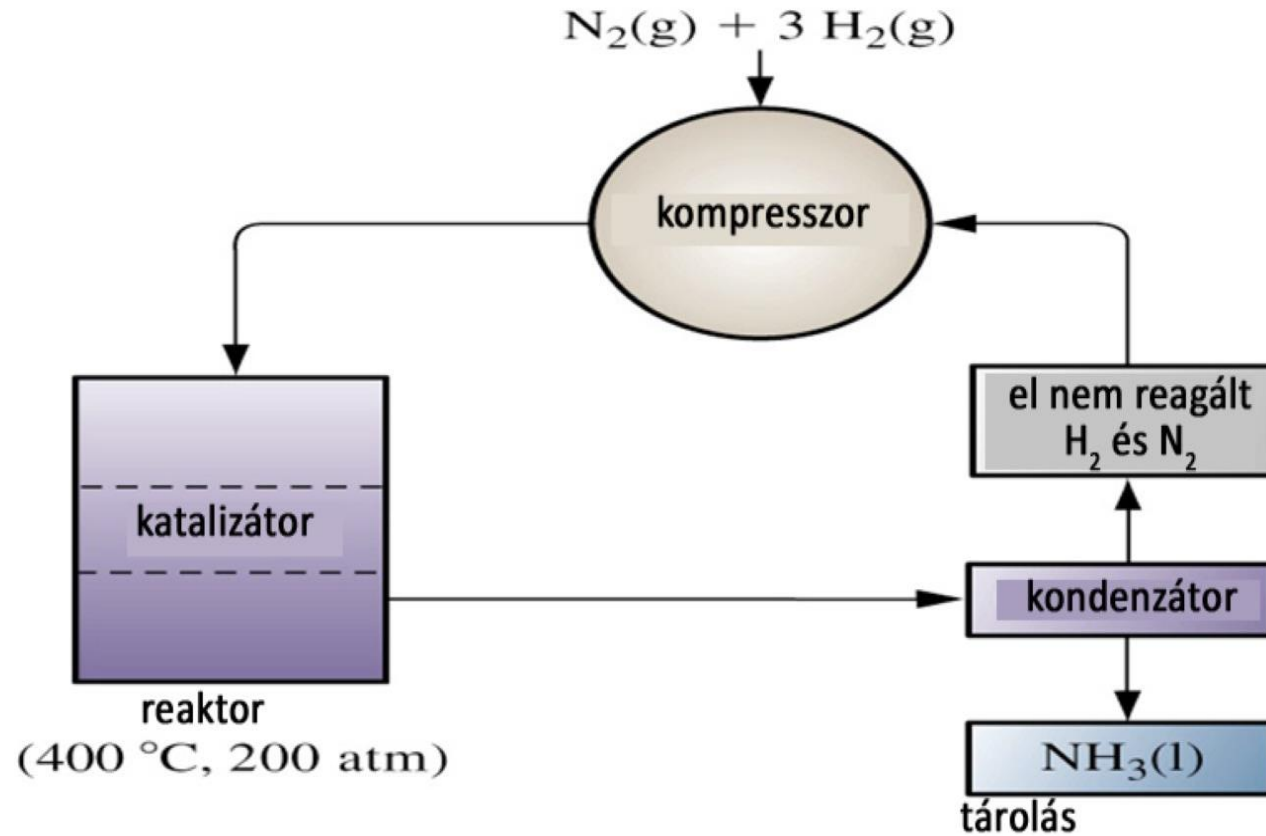
### 3. lépésben CO<sub>2</sub> eltávolítása:

- a) mosás, pl. lúgos kémhatású oldatok/anyagok felhasználásával (etanolamin, NMP) a CO<sub>2</sub> nagy hányada eltávolítható
  
- b) nyomnyi mennyiségű CO és CO<sub>2</sub> eltávolítása metanizálással (*Ni-katalizátor, 20-40 bar, 350 °C*)



*A keletkező metán a szintézis szempontjából inert gáz (nem mérgezi a katalizátort sem).*

## Az ammóniaszintézis (Haber-Bosch eljárás)



A kompresszió centrifugálkompresszorokkal történik



### A katalizátorral szemben támasztott követelmények:

- Alacsonyabb hőmérsékleten is kellő aktivitást mutasson
- Hosszú ideig maradjon aktív (egyenletes aktivitás)
- A szintézisgázban maradt nyomnyi mérgezők ne károsítsák számottevően a katalizátort
- Nagytömegű felhasználás miatt olcsó/gazdaságos legyen



---

## Az ammóniaszintézis katalizátora

A katalizátor fém vas (Fe) (*ill. Ru, Os*), amely kb. 2%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 1%  $\text{K}_2\text{O}$  és 1%  $\text{CaO}$  tartalmú.

Oxidok összekeverésével készítik, megolvasztás,  $\text{H}_2$ -es redukció.

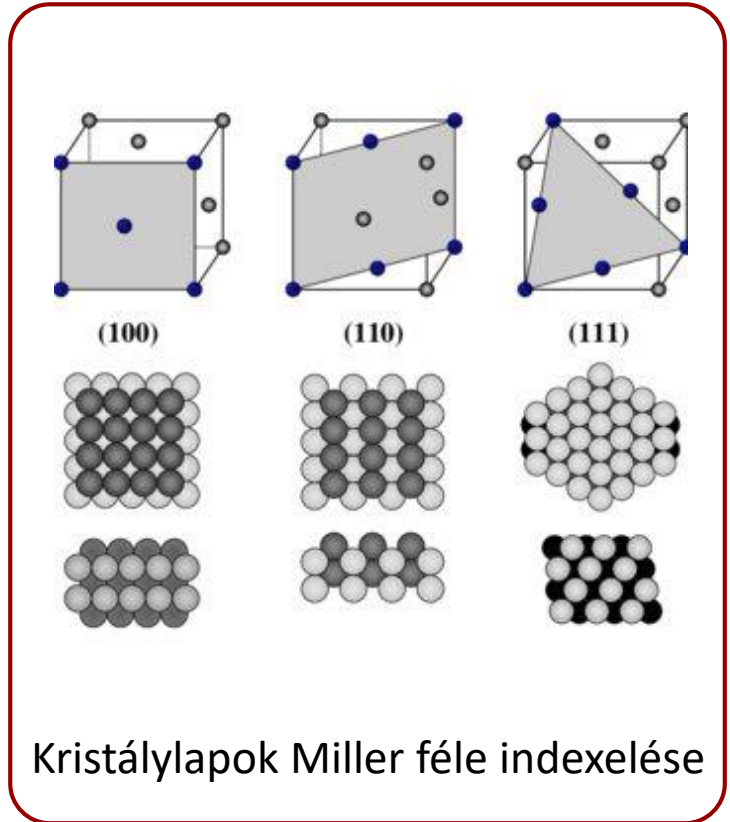
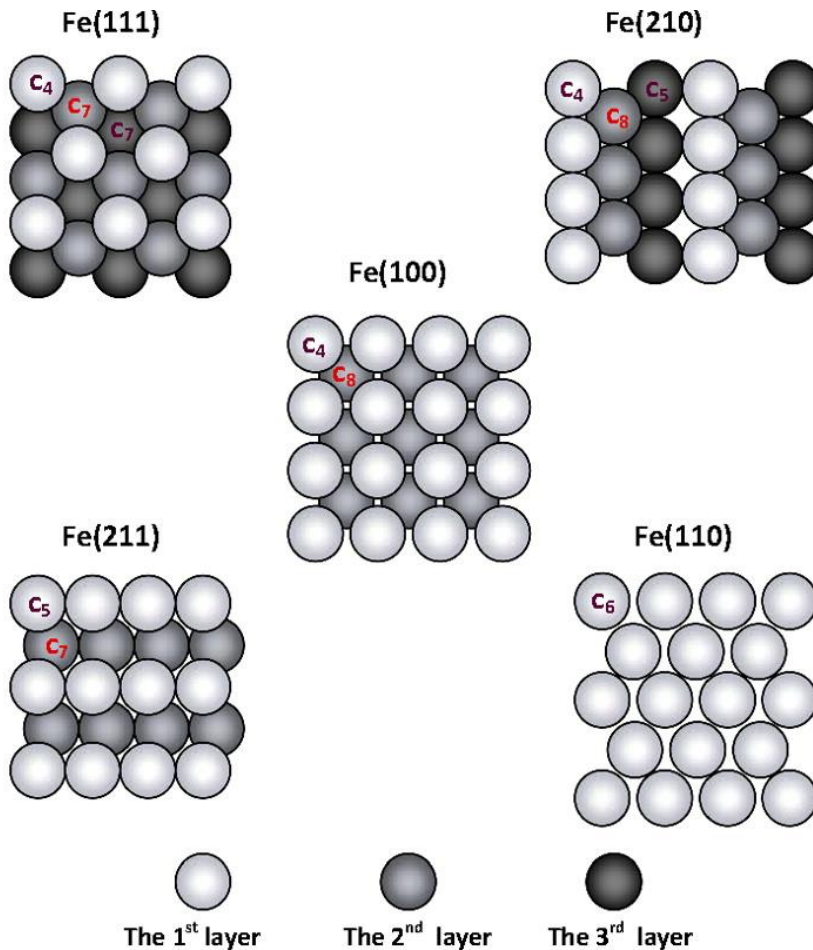
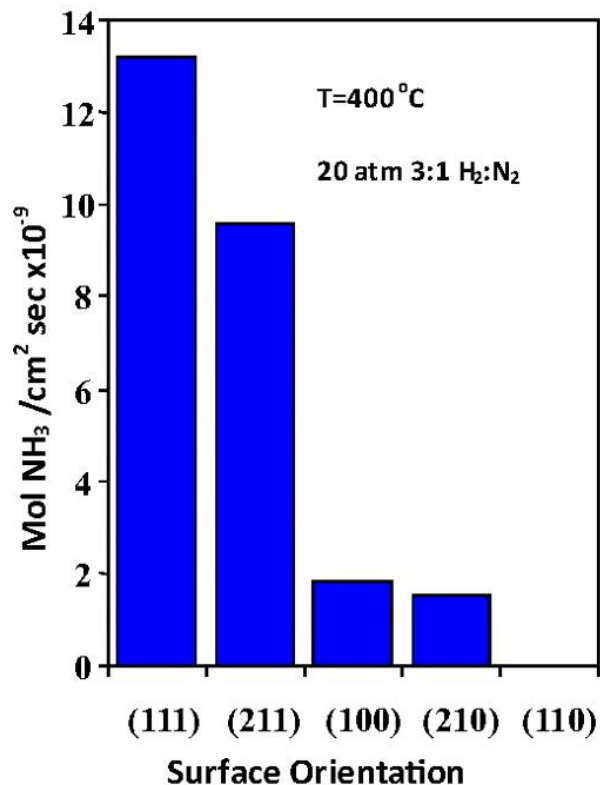
$\text{Al}_2\text{O}_3$  stabilizálja az  $\alpha$ -vasat és megakadályozza a vas kristallitok növekedését (katalizátorfelület csökkenne) – **szerkezeti promotor**

$\text{K}_2\text{O}$  és  $\text{CaO}$  adalékok a katalizátor elektroneloszlását befolyásolják, ezzel elősegítik az optimális adszorpciót, csökkenti a termékgátlást, azáltal, hogy csökken a bázikus jellegű ammónia adszorpciója a katalizátor felületén ( $\text{H}_2$  és  $\text{N}_2$  jobb adszorpcióját segíti elő) – **kémiai promotor**

A katalizátor érzékeny a mérgezőkre (S, P, As,  $\text{O}_2$ , CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , Bi, Pb, Sn), ezért a szintézisgázt tisztítani kell.

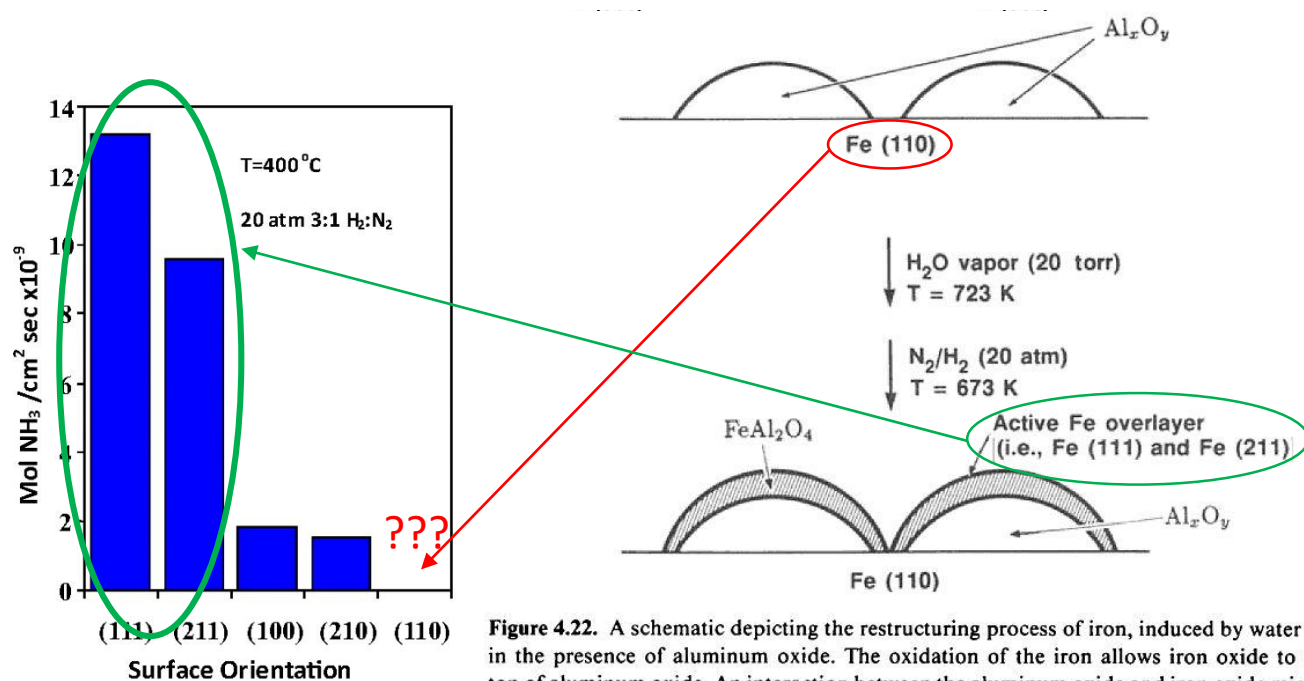
# Az ammóniaszintézis katalizátora

A felületi kémiai/kristályszerkezeti minőségének szerepe:  
*egykristály felületek katalitikus aktivitása*



## Az ammóniaszintézis katalizátora

A felületi kémiai/kristályszerkezeti minőségének szerepe: egykristály felületek katalitikus aktivitása,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  hordozó hatása a vas kristallitokra (felületi rekonstrukció)



**Figure 4.22.** A schematic depicting the restructuring process of iron, induced by water vapor, and in the presence of aluminum oxide. The oxidation of the iron allows iron oxide to migrate on top of aluminum oxide. An interaction between the aluminum oxide and iron oxide might enhance this step. Upon reduction in nitrogen and hydrogen the iron is left in active and stable orientations for ammonia synthesis. The formation of iron aluminate might be responsible for this stability.

Az (110) koordinációjú felületi vasatomok átalakíthatók (111) koordinációjúvá a felületre felvitt  $\text{Al}_2\text{O}_3$  segítségével, vízgőzös kezeléssel. Az oxidált vas atomok kidiffundálnak az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  szigetek felületére ( $\text{FeAl}_2\text{O}_4$  keletkezése közben), majd a redukciót követően ( $\text{N}_2/\text{H}_2$  @  $400^\circ\text{C}$ ) kialakul az (111) orientáció.

164

D. R. STRONGIN AND G. A. SOMORJAI

The formation of iron aluminate (i.e.,  $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ ) in the presence of an oxygen source was also postulated<sup>(51)</sup> on the basis of microelectron diffraction data.

While 20 torr of water vapor was needed to restructure clean iron single crystals, only 0.4 torr of water vapor is needed to restructure an  $\text{Al}_x\text{O}_y/\text{Fe}$  surface. It therefore seems that  $\text{Al}_x\text{O}_y$  provides an alternate and apparently more facile mechanism for the migration of iron. Upon reduction, metallic iron is left in a highly active orientation [such as Fe(111) and Fe(211)] for the ammonia synthesis reaction, and the  $\text{Al}_x\text{O}_y$  stabilizes the active iron, since if the  $\text{Al}_x\text{O}_y$  were not present the iron would move to positions coincident with the bulk periodicity (see Fig. 4.22 for a schematic representation of the restructuring).

The formation of an iron aluminate during reconstruction of the iron surface may be responsible for the stability of the restructured  $\text{Al}_x\text{O}_y/\text{Fe}$  surfaces. The presence of iron aluminate has been postulated from XPS studies on Fe- $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  systems<sup>(52,53)</sup> as well as in numerous studies on the industrial ammonia synthesis catalyst.<sup>(54-56)</sup> The volume of an  $\text{FeAl}_2\text{O}_4$  molecule is approximately equal to the volume of seven iron atoms in a bcc lattice<sup>(54)</sup> so that  $\text{FeAl}_2\text{O}_4$  can exist as a skeleton in the iron lattice with little distortion. The low coverages of  $\text{Al}_x\text{O}_y$  on the restructured surfaces suggest that the support effect might be coming through inclusions of  $\text{FeAl}_2\text{O}_4$  in the near-surface region. This is supported by the fact that ions sputtering the restructured surfaces reveal subsurface  $\text{Al}_x\text{O}_y$ .

## Catalytic Ammonia Synthesis

Fundamentals and Practice

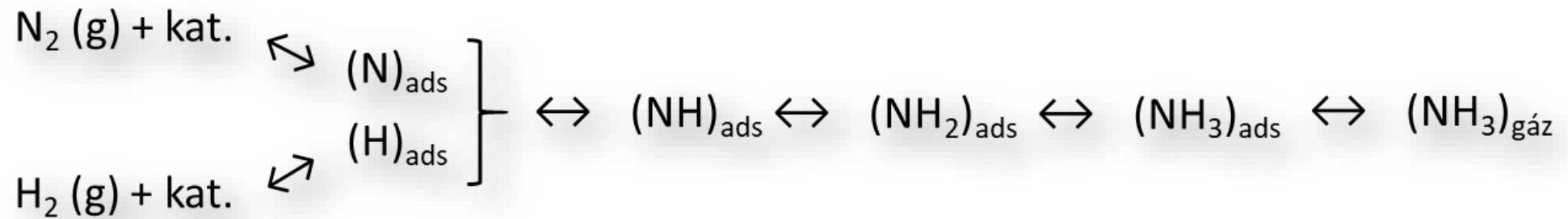
Edited by J. R. Jennings

## Az ammóniaszintézis katalizátora

Reakció mechanizmus alapja: disszociatív kemisorpció ( $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) a katalizátor felületén.

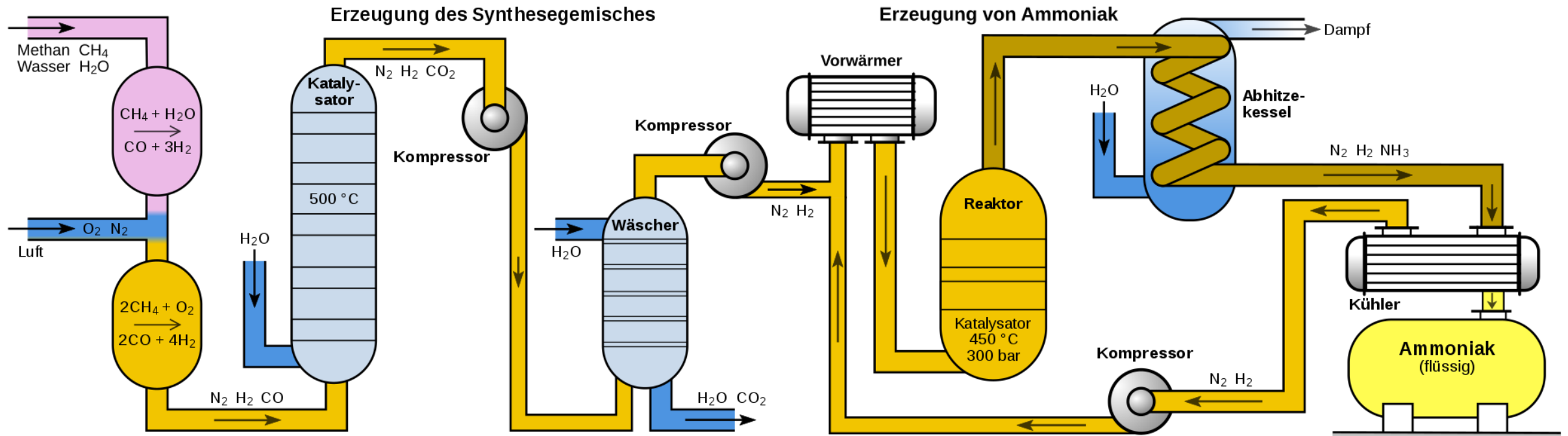
Vas szerepe: 200 °C felett a  $\text{N}_2$  atomosan kemisorbeálódik (a  $\text{H}_2$  már sokkal alacsonyabb hőmérsékleten)

Lépcsőzetes mechanizmus:



**Sebességmeghatározó lépés:**  $\text{N}_2$  molekula 3-as kötésének megbontása (N atomos kemisorpciója)

# Az ammóniaszintézis (Haber-Bosch eljárás)



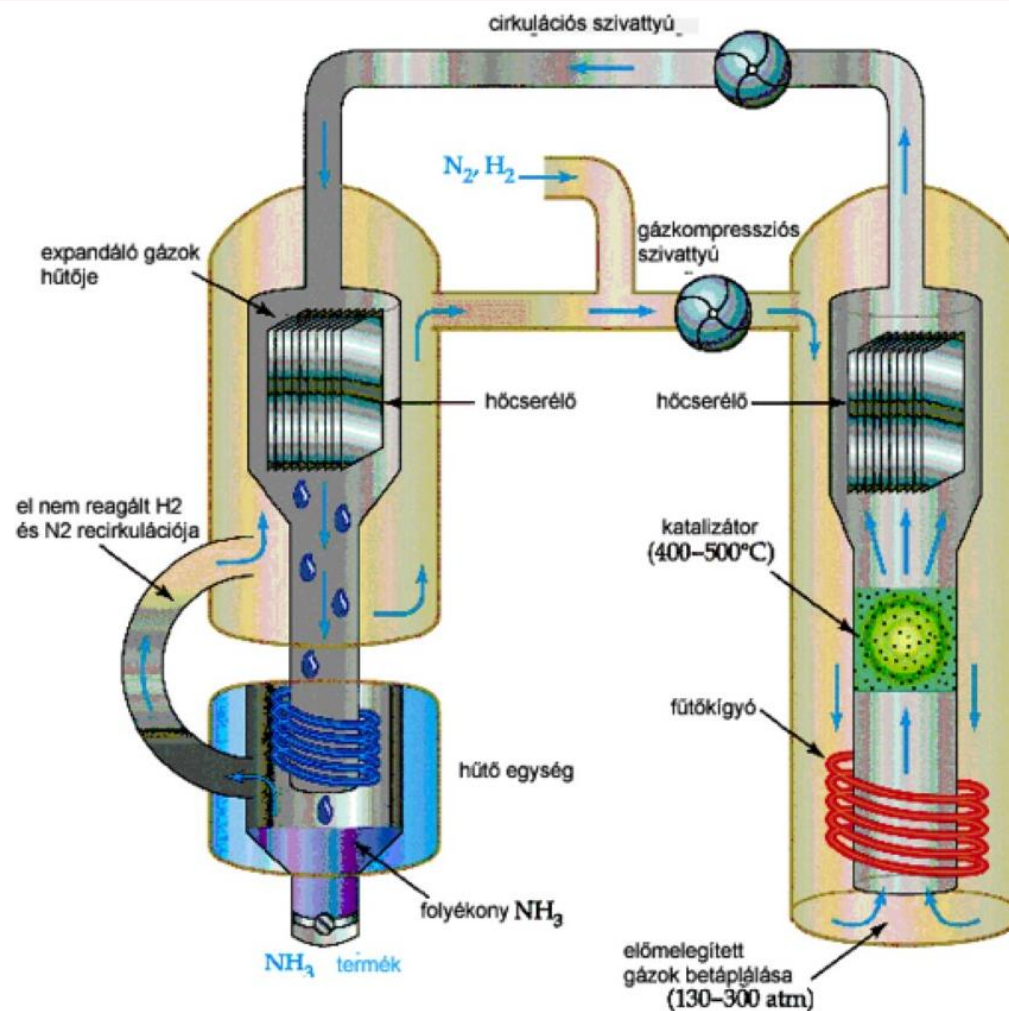


## Az ammóniaszintézis (Haber-Bosch eljárás)

A  $H_2$  ridegedést okoz ( $H+C\rightarrow CH_4$ ). A reaktor belső falát hidegen tartják vagy Ti, V, W, Cr, Mo ötvözeteket alkalmaznak.

Tekercselt reaktorokat is alkalmaznak, a belső 1-2cm belső réteg gáztömör (lágyszénacél) és ezt 6mm-es acéllemezzel tekercselik körbe, melyen gázdifúziós lyukak vannak.

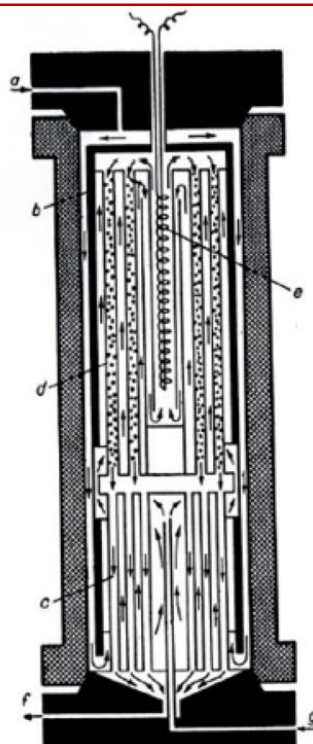
A belépő gázokat előmelegítik.



Az ammóniát hűtéssel választják le az el nem reagált hidrogéntől és nitrogéntől. **Nagy nyomáson az ammónia már 10-20 °C-os hűtővízzel is cseppfolyósítható!** Az ammóniát néha vízben nyeletik el és ammónia oldatként ( $NH_4OH$ ) forgalmazzák.



A historical (1921) high-pressure steel reactor for production of ammonia via the Haber process is displayed at the Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Germany



Jelölések

- a: hideg gázelegy belépési pontja:
- b: hőszigetelő réteg
- c: belső csövezetékek
- d: reaktorcsövek
- e: elektromosan fűtött tér
- f: kilépési pont
- g: a friss gázelegy egy részének bevezetési pontja, helye

## AMMÓNIA SZINTÉZIS Ipari reaktortípusok

### Haber-Bosch ammónia reaktor

*A konverter acélból készült cső alakú reaktor. A nagynyomású hidrogén káros hatása miatt Cr-Ni- vagy Cr-Mo-acélból készítik és rendszerint lágyvasbetéttel látják el. Ezt a hidrogén nem támadja meg.*

A hőmérséklet káros hatása ellen konstrukciós megoldással védekeznek:

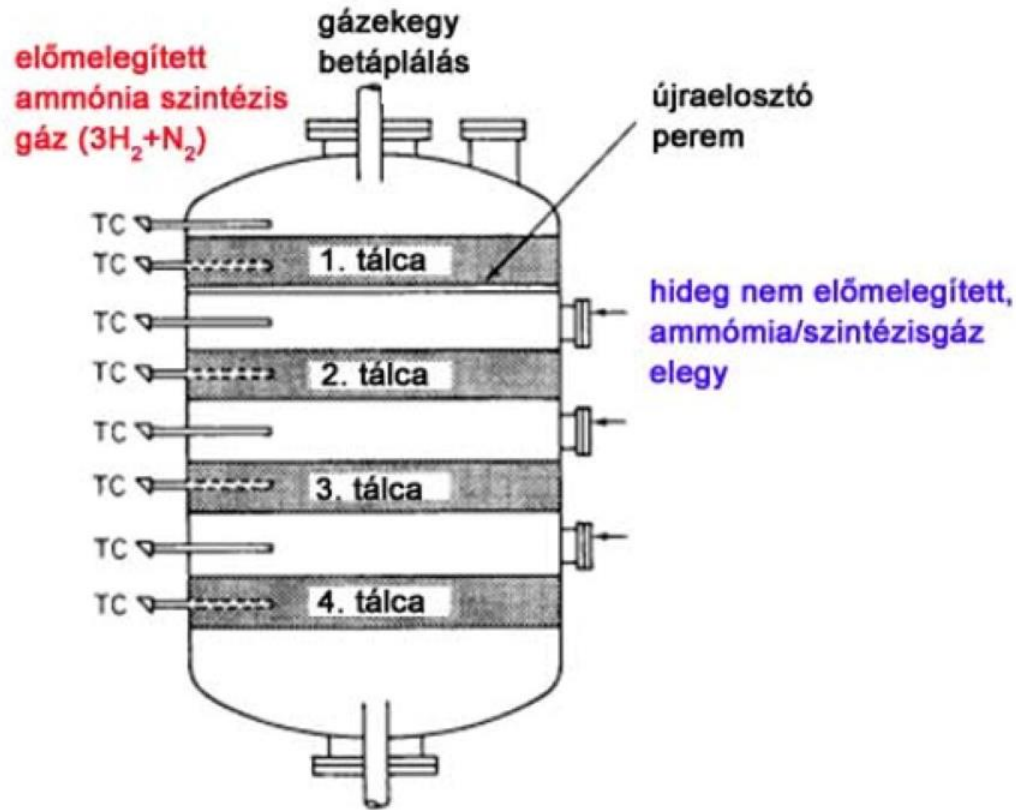
- A belépő hideg gázelegyet a reaktor belső fala mentén vezetik végig.
- A katalizátort tartalmazó csőköteget hőszigetelő köpennyel burkolják.
- A konverterbe hőcserélőt építenek: a katalizátorból kilépő gázelegy átadja melegét a belépő hideg gázkeveréknek.

A reaktor valóságos méretei:

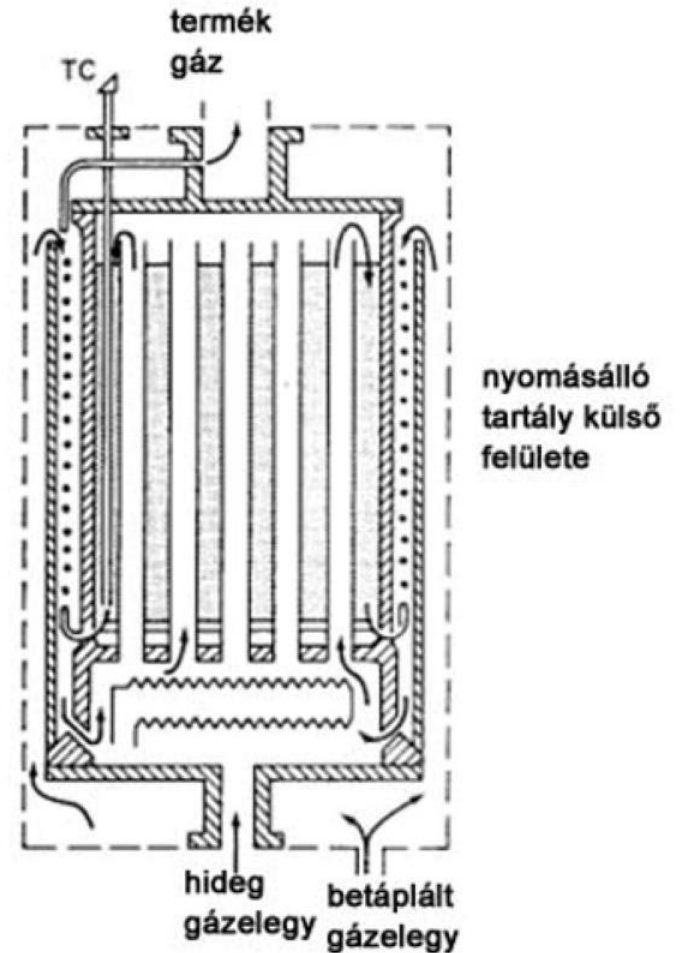
- Magasság: 10-18 m
- Átmérő: 0.6-1.1m



# Az ammóniaszintézis (Haber-Bosch eljárás) - reaktortípusok



TÁLCÁS KONVERTER



CSÖVES KONVERTER

## Híres reaktorgyártók:

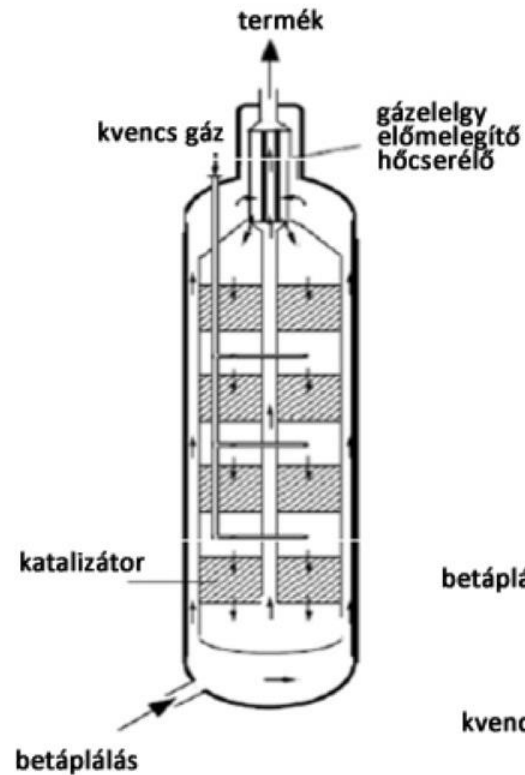
- 1) Haldor Topsoe (DK)
- 2) ThyssenKrupp Industrial Solutions GmbH of (DE)
- 3) Ammonia Casale (CH)
- 4) Kellogg Brown & Root (USA)

## Az ammóniaszintézis (alternatív eljárások, -katalizátorok)

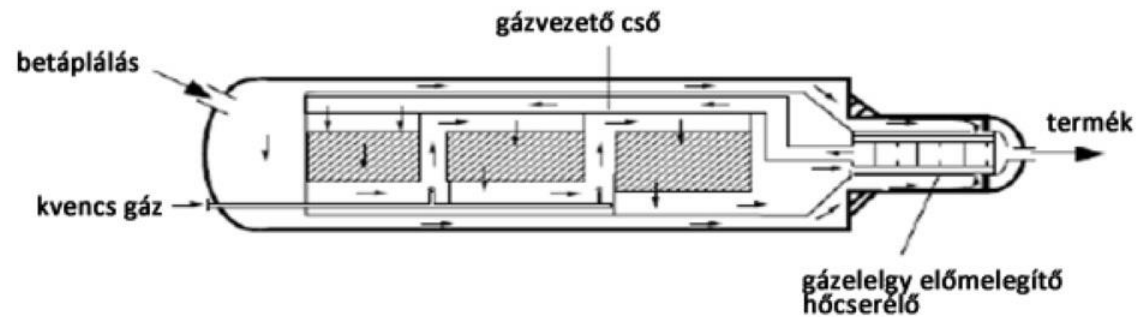
In 1992, **M.W. Kellogg and the Ocelot Ammonia Company** started ammonia production using a **new ruthenium catalyst deposited on an active carbon support**. It is referred to as the ***Kellogg Advanced Ammonia Process (KAAP)***. This new technology can be retro-fitted to existing ammonia plants and operates at lower temperatures and pressures, giving considerable savings in both money and energy. Typically, a pressure of 40 atmospheres can be used, instead of 100 - 250 atmospheres. The newer catalyst is more expensive, but this is outweighed by other cost reductions.

In 2000, scientists at the **Danish company Haldor - Topsøe** announced the discovery of a new commercially viable catalyst for the Haber reaction. These involve **ternary nitrides such as  $Fe_3Mo_3N$ ;  $Co_3Mo_3N$  and  $Ni_2Mo_3N$** . These compounds, with caesium promoters, appear to have catalytic activities 2 or 3 times greater than present commercial iron based catalysts at the same operating conditions. They are also considerably cheaper than ruthenium based catalysts of the KAAP process. The same Haldor - Topsøe team have produced ruthenium catalysts with Barium promoters that are 2.5 times more active than current ruthenium catalysts.

## Kellogg vertical quench reactor



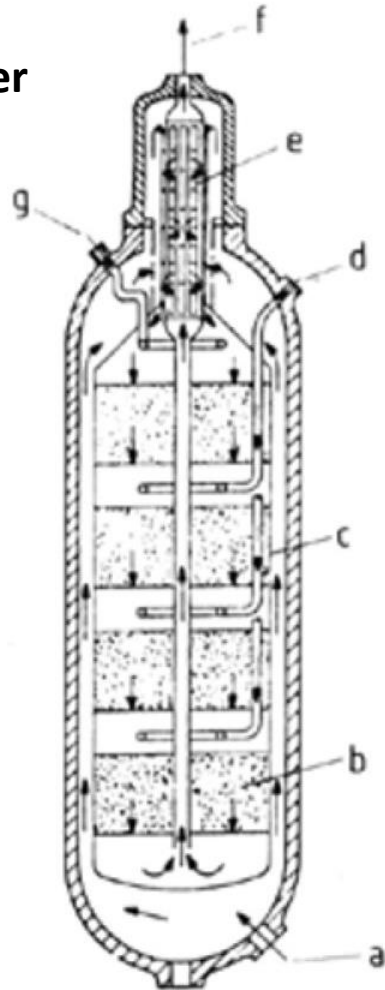
- a betáplálás a fenéken történik és hűti a köpenyt amíg felfelé áramlik
- 4 elválasztott katalizátorágyat tartalmaz
- az ágyak között kvencsgázzal hűtenek





## Az ammóniaszintézis (alternatív eljárások) – Kellogg KAAP

Kellogg konverter

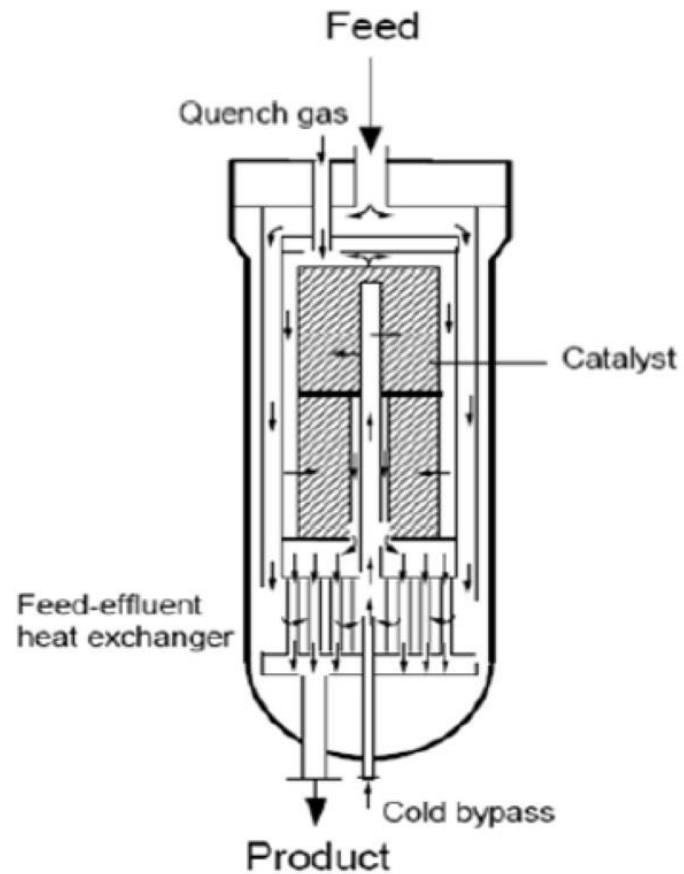


- a) Gáz bevezetés
- b) Katalizátor ágy
- c) Katalizátor kosár
- d) Quench
- e) Hőcserélő
- f) Gáz elvezetés
- g) Bypass-kerülő vezeték

Az üzemi konverterek két csoportba oszthatók:

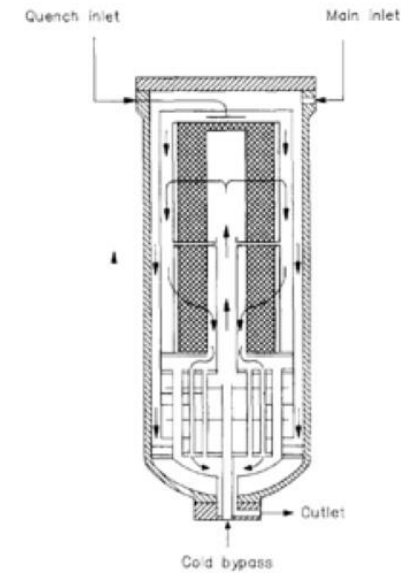
- **belső hűtésűek**, amelyeknél a hűtőközeg (a betáplált hideg gáz) csövekben megy át a katalizátor ágyon, vagy a csövekben lévő katalizátort a csövek között áramolva hűti, ezeket csöves hűtésű reaktoroknak hívják.
- a másik alaptípusban a katalizátorágyat több részre osztják, ezekben a reakció adiabatikusan játszódik le, a képződött hő a szekciók között betáplált hideg gázzal vagy gőzfejlesztésre használt külső hőcserélőkben veszik el. Ezeket hívják **indirekt hűtésű** reaktoroknak.

## Az ammóniaszintézis (alternatív eljárások) – Haldor-Topsøe

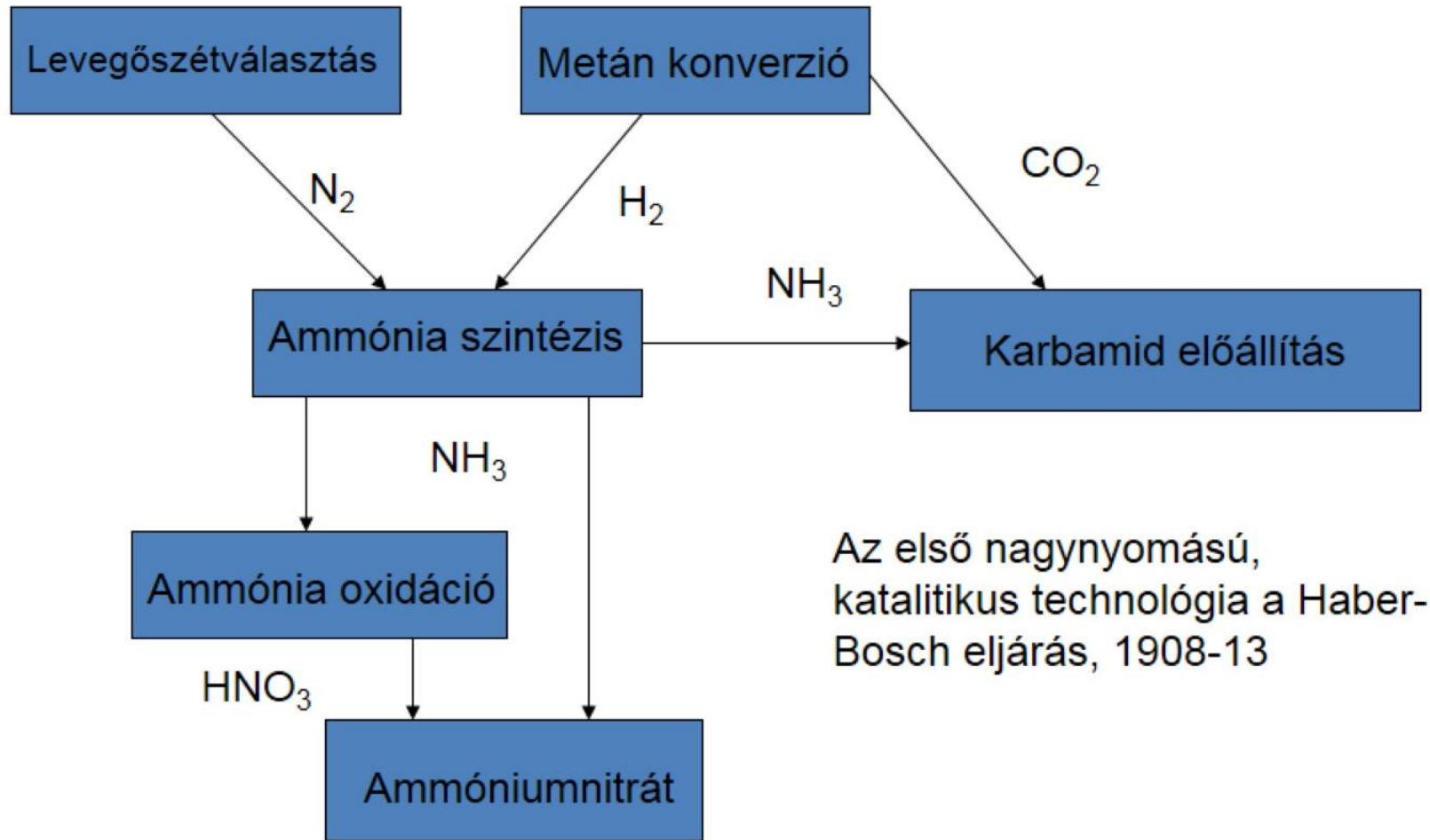


Main difference compared to other reactors:

- radial flow through catalyst bed
- reduces pressure drop
- allows smaller particles
- more catalytic area per unit volume



## Az ammóniaszintézis és kapcsolt technológiák



Az első nagynyomású, katalitikus technológia a Haber-Bosch eljárás, 1908-13