

C₁-KÉMIA

1. A szintézisgáz

- Szintézisgáz: Általánosan elterjedt fogalom olyan gázkeverékek elnevezésére, amelyek egy jellemző szintézis összes, vagy néhány reakciókomponensét tartalmazzák. Ilyen értelemben szintézisgáz a nitrogén-hidrogén elegy az ammóniaszintézis esetében, vagy a metanolgyártás alapjául szolgáló CO:H₂ gázkeverék.
- Szűkebb értelemben szintézisgáznak nevezik a különböző arányban, túlnyomórészt szén-monoxidot (mint a C₁ kémia alapja) és hidrogént tartalmazó gázelegyet.

Alternatív elnevezések a CO:H₂ gázelegyre:

- Eredet szerint:
 - + „vízgáz”: (CO+H₂) vízgőz és szén redukciójából
 - + „bontási gáz” (Spaltgas: CO+3H₂) CH₄ vízgőzös bontásából
- Felhasználás szerint:
 - + „metanol-szintézisgáz” (CO+2H₂): CH₃OH előállítására
 - + „oxogáz” (CO+H₂) hidroformilezésre

1.1 Szintézisgázgyártás

- Legfontosabb kiindulási anyagok szintézisgáz előállítására:
 - Barnaszén.
 - Kőszén.
 - Földgáz és a kőolajat kísérő egyéb gázok.
 - Kőolajfrakciók.
 - Előállítására a magas hidrogéntartalom miatt a földgáz és a könnyű kőolajfrakciók a legalkalmasabbak, azonban az olajválságot követően megindult a szénelgázosítás reneszánsza.

1.1.1 Előállítás szénelgázosítással

- Olyan gáz/szilárd heterogén fázisú reakción alapul, amelyeknek lényege, hogy szén parciális oxidációja és a víz redukciója végbemenjen.

- **Reakciók:**
 - **Parciális oxidáció:**

$$2C + O_2 \rightleftharpoons 2CO \quad \Delta H = -246 \text{ kJ/mol}$$
 - **A vízgőz és a szén heterogén fázisú reakciója:**

$$C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2 \quad \Delta H = +119 \text{ kJ/mol}$$
 - **Boudouard-reakció:**

$$C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO \quad \Delta H = +162 \text{ kJ/mol}$$
 - **Homogén vízgázreakció (CO konverzió):**

$$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2 \quad \Delta H = -42 \text{ kJ/mol}$$
 - **Hidrogénező elgázosítás:**

$$C + 2H_2 \rightleftharpoons CH_4 \quad \Delta H = -87 \text{ kJ/mol}$$
 - **Metanalízis:**

$$CO + 3H_2 \rightleftharpoons CH_4 + H_2O \quad \Delta H = -206 \text{ kJ/mol}$$
- **A folyamat nagy hőbefektetést és magas hőmérsékletet igényel:**
 - A vízgáz képződés erősen endoterm és nagy a folyamat aktiválási energiája.
 - Az ipari méretű előállításnál nagy reakciósebességre van szükség .
- **Fontos tényezők az ipari kivitelezésnél:**
 - A szén fizikai és kémiai jellemzői.
 - A hőszükséglet alloterm vagy autoterm biztosítása.
 - Reaktortípus.
 - Elgázosító közeg.
 - Az elgázosítás körülményei.
- **Konvencionális ipari elgázosítási eljárások:**
 - **Winkler-eljárás:**
 Fluidágyas elgázosítás oxigénnel és vízgőzzel, túlnyomás nélkül. Számos helyen alkalmazzák.
 Változatai pl.: HTW-eljárás (Hoch-Temperature-Winkler Process), magasabb hőmérsékleten (1100°C) és nyomáson (25bar), legfeljebb 6mm szemcseméretű szénrel szintén fluidágyban.
 - **Koppers-Totzek-eljárás:**
 A finoman porított szenet, vagy petrolkokszot túlnyomás alkalmazása nélkül oxigén- és vízgőzzel szálló porként egy generátorba fúvatva 1400-2000°C-on, láng képződése közben gázosítanak el. Ilyen

körülmények között a melléktermékek részaránya jelentősen csökken és 85-90% CO+H₂ tartalmú szintézisgáz nyerhető.

Az első ipari létesítmény 1952-ben készült el, 1984-ben már 17 országban 19 üzem működött ilyen eljárással.

Változatai: Shell-eljárás. Krupp Koppers (PRENFLO-eljárás: Pressurized Entrained Flow Gasification), melyek túlnyomáson, így megnövelt kapacitással működnek.

- *Lurgi-eljárás:*

Elgázosító eljárás csúszóágyas generátorban 20-30bar nyomáson, két jellemző hőmérséklettartományban:

1. 600-750°C-ig kigázosítás
2. 1000-1200°C-on (a O₂/H₂O aránytól függően) elgázosítás

Az eljárás előnye:

A túlnyomáson előállított nyers termék-gáz jól használható további feldolgozásra pl.: SNG (Substitute Natural Gas-Szintetikus földgáz) előállítására.

Az eljárás teljesítménye növelhető:

- Reaktorátmérő növelése (általában 5m)
- A nyomás növelése (kb.: 50-100 barig)
- O₂/H₂ arány csökkentése 1:1 értékre

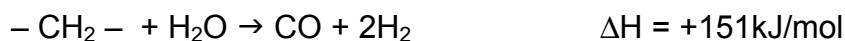
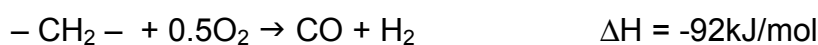
• Félüzemi méretben kipróbált újabb eljárások:

- Rheinbraun (H₂) eljárás (hidrogénező elgázosítás)
- Bergbau-Forschung (vízgőzös eljárás)
- Kellogg (Na₂CO₃ –olvadékos eljárás)
- ExxonMobil (alkáli karbonátok mint katalizátorok)
- Sumimoto/Klöckner-Humboldt-Deutz (Fe-ömlékben lejátszódó reakció)

1.1.2 Előállítás földgáz és kőolajbontással

- Hasonlóan a szén-elgázosításhoz vízgőz jelenlétében lejátszódó exoterm és endoterm elgázosítási reakciókon alapul.

• Reakciók:



Ezek mellett természetesen számolni kell a Boudouard és a metánképződési reakciókkal, melyeket a szénelgázosítás alatt ismertettünk.

- A kőolajfrakciókból és a földgázból kiindulva két különböző reakcióúton haladó eljárással lehet a szintézisgázt előállítani:
 - Alloterm, katalitikus vízgőzös bontással. Az endoterm reakció hőszükségletét külső forrásból kell fedezni.
 - Autoterm bontással. A kiindulási anyagot vagy annak egy részét parciális oxidációval alakítják át, a maradék szénhidrogéneket pedig a felszabaduló hő felhasználásával vízgőzzel, esetleg szén-dioxiddal bontják a megfelelő CO/H₂ arány elérése végett.
- A legismertebb vízgőzös bontás az ICI-eljárás, melynek kiindulása vegyipari benzin.

Az eljárás három lépcsőből áll:

1. Kéntelenítő hidrogénezés CoO-MoO₃/Al₂O₃-, vagy NiO-MoO₃/ Al₂O₃- katalizátoron, 350-450°C-on. Végső kéntartalom <1ppm Párhuzamos reakciókban olefintelítés megy végbe.
2. Katalitikus vízgőzös bontás a primer reaktorban Ni-K₂O/Al₂O₃-on 700-830°C, 15-40 bar nyomáson.
3. A maradék metán utólagos autoterm bontása a szekunder reaktorban, a nagy hőszükséglet fedezésére további részleges elégetés.

A művelet műszaki megoldása: Tűzálló bélelésű reaktor, hőálló Ni-katalizátorral (>1200°C), a metán tartalmat 0.2-0.3%-ra csökkentik. A hőtartalmat gőzfejlesztésre hasznosítják.

Az ICI eljárás előnye: a folyamat során nem válik ki korom és így a katalizátor aktivitása közel állandó marad.

- Ismert autoterm eljárások:
 - BASF/Lurgi
 - Texaco
 - Hydrocarbon Research
 - Shell

1.2 A szintézisgáz tisztítása

A fosszilis tüzelőanyagokból előállított szintézisgázok olyan szennyező komponenseket tartalmazhatnak, amelyek a további felhasználás során különböző zavarokat okozhatnak.

Ilyen szennyeződések pl.: H₂S, COS, CO₂ (A kén-hidrogén és a szén-oxi-szulfid erős katalizátorméreg, a szén-dioxid nem kívánt mellékreakciókat eredményezhet). A szintézisgáz tisztítása többféleképpen történhet:

- Nyomás alatti mosás oldószerekkel

A szennyező gázokat elnyeletik, majd az abszorbenst regenerálva visszavezetik a rendszer elejére /lásd abszorber-deszorber rendszerek/.

- CH₃OH (Rectisol-eljárás)

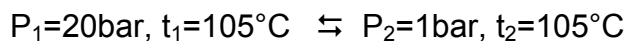
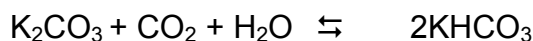
H₂S, COS, CO₂ metanolban történő elnyeletésén alapszik túlnyomás alatt. Széles körben elterjedt pl.: Lurgi és a Linde

- Selexol-eljárás
poliglikol-dimetiléter alkalmazása
- Sulfinol-eljárás
szulfolán/diizopropil-amin/H₂O elnyelető alkalmazása: Shell
- Purisol-eljárás
N-metil-pirrolidon alkalmazása
- Alkacid-eljárás
N-metilamino-propionsav alkálisóinak felhasználása

- Benfield-eljárás

K₂CO₃-oldattal túlnyomáson végzett abszorpció (Benfield, Catacarb) vagy molekulaszitán végzett adszorpció.

Reakció:



- Az eljárások során felszabadult kén-hidrogént többnyire a Claus-eljárással elemi kénné alakítják.

A kívánt CO/H₂ arány beállítása a szintézisgázban:

- A bontási folyamatok során , az O₂/H₂O-arány változtatásával
- Utólagos CO konverzióval:
CO + H₂O \rightleftharpoons CO₂ + H₂
majd a keletkezett CO₂ eltávolítása
- Speciális katalizátorok alkalmazása
 - Fe-Cr oxid, 350-400°C, végső CO tartalom 3-4%
 - CuO-ZnO, 190-260°C, végső CO tartalom 0.1%

1.3 A szintézisgáz felhasználása

- A vegyipari szintézisek alapanyaga
 - Metanolszintézis
 - Formaldehidszintézis
 - Aldehidek és alkoholok előállítása
 - Szénhidrogének Fischer-Tropsch szintézise
 - Olefinszelektív Fischer-Tropsch szintézis
- CO és H₂ előállítása
- Nagy metántartalmú mesterséges földgáz (SNG) előállítása az energiaellátás céljából
- Az energiátanszport egy lehetséges megoldásának bázisa, pl.: „ADAM-EVA” körfolyamat:

Az atomerőművek hélium-hűtőgáz által elvezetett hulladékhőjének hasznosításával metánt endoterm reakcióban vízgőzzel bontanak (EVA). A CO/H₂ –gázelegyet távvezetéken át viszik a felhasználás helyére, ahol exoterm folyamatban metanizálják (ADAM) és a felszabaduló hőt hasznosítják. A metánt azután visszavezetik a vízgőzös bontóreaktorba.

1.4 A szintézisgáz egyes komponenseinek kinyerése és felhasználása

1.4.1 Szén-monoxid

- A szén-dioxid izolálás két különböző alapelve:
 1. Fizikai: parciális kondenzáció és desztilláció
 2. Kémiai: Cu(I)-CO komplex képzése majd elbontása

1. *Elválasztás alacsony hőmérsékleten*

Előkészítés:

- Az előkezelés első lépésében etanolaminos CO₂ abszorpció (a hőmérséklet változtatásával reverzibilis karbonátképzés). A CO₂ mennyisége ekkor már alacsonyabb mint 50ppm.
- Második lépésben a maradék szén-dioxidot és a vizet molekulaszítással kötik meg (a hőmérséklet változtatásával reverzibilis).

Elválasztás:

- A CO és a CH₄ parciális kondenzációja

- A CO és a CH₄ elválasztása desztillációval. A szén-monoxid a fejtermékben jelenik meg.

Alkalmazás: pl: Linde féle CO előállítás

2. Kémiai elválasztás

A CO abszorpciót kb. 300 bar nyomáson, 40-50°C-on végzik sósavas CuCl oldatban, vagy ammonalkálikus Cu(I)-karbonát, illetve –formiát oldatban.

A reverzibilis komplexképzést így az eljárástól függően többféleképpen végzik:

- *Uhde-eljárás*: Cu-só / NH₃-H₂O és [Cu(CO)]⁺
 - *Cosorb-eljárás (Teneco Chemicals)*: CuCl és AlCl₃ keverék alkalmazása. A CO és a toluolos Cu[AlCl₄] komplex képzésének hőmérsékletfüggését használják ki.
- A szén-monoxid felhasználása:
 - Hidrogénnel együtt:
 - „Szintézisgáz-kémia” (CH₃OH ...)
 - Hidroformilezés (oxoaldehidek, oxoalkoholok)
 - Nukleofil reakciópartnerrel:
 - Reppe-féle karbonilezés (akrilsav, propionsav...)
 - Koch-reakció (elágazó láncú karbonsavak...)
 - Közvetlen átalakítások:
 - Foszgén előállítása klórgázzal
 - Fémkarbonilok előállítása

1.4.2 Hidrogén

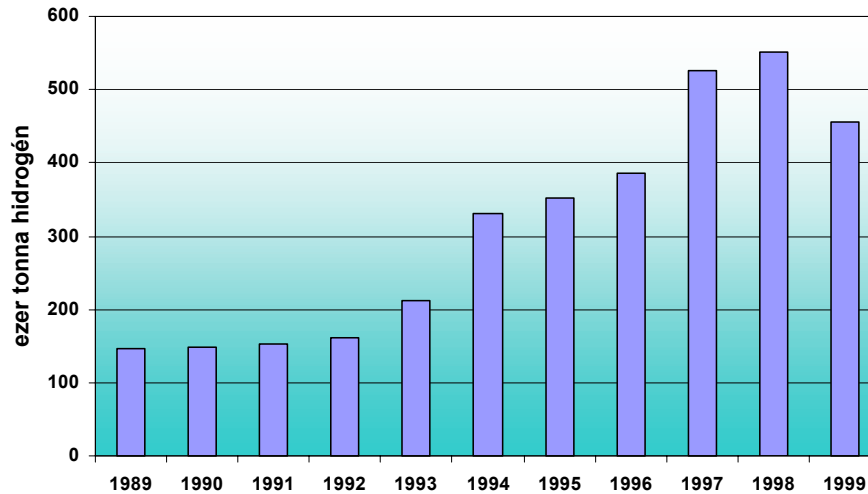
- A hidrogén izolálás szintézisgázból szintén többlépcsős eljárással történik:
 1. H₂S és COS eltávolítása
 2. CO konverzió
 3. CO₂ eltávolítása
 4. finomtisztítás a maradék CO eltávolítására metanizálással, Ni-katalizátoron:

$$\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$$

A finomítói gázból a hidrogén eltávolítása történhet:

- Alacsony hőmérsékletű frakcionálással
- Adszorpcióssal eljárással (zeolit, molekulaszita)

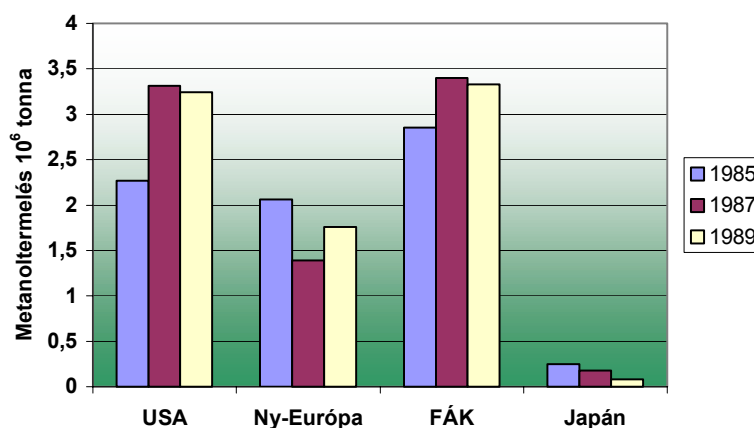
- PSA (Pressure Swing Adsorption) alkalmazásával
- Membrántechnikával (Monsanto: poliszulfon, Japán UBE: poliimid-membrán alkalmazása)
- A világ hidrogéntermelése [Chem. & Eng. News, June 26. 2000]:



2. Metanol

A metanol egyike a legjelentősebb és leggazdaságosabb szintézis-alapanyagoknak, melynek mintegy 90%-át a vegyiparban, a többi 10%-ot pedig energiahordozóként hasznosítják.

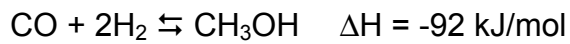
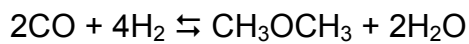
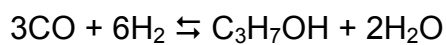
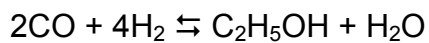
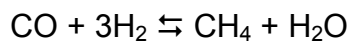
A metanoltermelés egyes országokban ill. régiókban:



Jellemzők: Szintelen folyadék, szaga az etanoléhoz hasonló. Atmoszférikus nyomáson 64.51°C-on forr. -97.88°C-on olvad. Vízzel és a legtöbb szerves oldószerral korlátlanul elegyedik. Rendkívül toxikus, gőzei levegővel robbanóelegyet képeznek.

Előállítás:

1. Mittasch a BASF-ben 1913-ban figyelt fel arra, hogy az ammóniaszintézis során, oxigéntartalmú termékek is keletkeznek. A további rendszeres kutatás és fejlesztés vezetett az 1923-ban elsőként alkalmazott metanolszintézishez.

• **Reakciók:***Fő reakció:**Melléreakciók:*

Ezen mellékrakciók azonban csak kis mértékben érvényesülnek, a szén-monoxidra számított metanolkitermelés >80%.

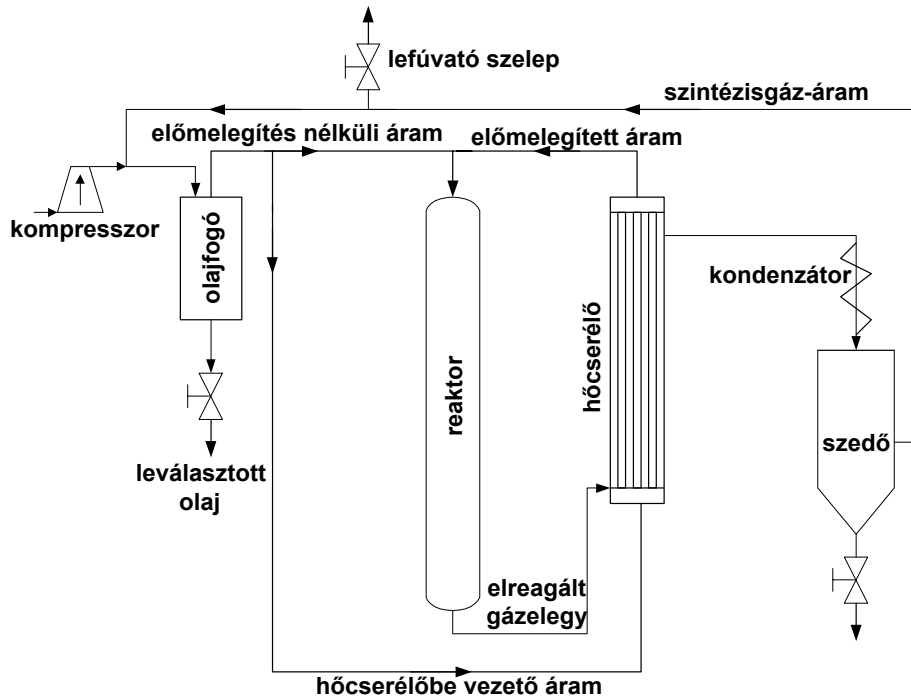
• **Katalizátor**

ZnO-Cr₂O₃ rendszer ami 70:30 Zn/Cr arány mellett a leghatékonyabb.

A katalizátort tálcákon helyezik el a reaktorban.

Megfelelő működése: 300-350°C hőmérsékleten 200-300 bar nyomáson.

- Folyamatábra:



- A mellékreakciók visszaszorítására rövid 1-2 másodperces tartózkodási időt állítanak be (konverzió 12-15%).
- A felmelegedés kedvezőtlenül hat a metanolkonverzióra. Az erősebb felmelegedés elkerülése végett a reaktorba több ponton hideggázt vezetnek be.

2. ICI középnyomású eljárás:

- Ipari mértékben először 1966-ban alkalmazták, ma már a világ metanoltermelésének egyharmada ezzel az eljárással készül.
- Katalizátora: Cu-Al-Zn oxid rendszer, melyek élettartama 50%-al hosszabb mint a BASF-nél alkalmazott katalizátoroké.
- A nagytisztaságú metanol előállításához S- és Cl-mentes szintézisgáz szükséges.

3. LURGI-féle középnyomású eljárás:

- Katalizátor: CuO-ZnO, 50-80bar nyomáson.
- 1973-óta egy 200000t/év kapacitású üzemet egy 415000t/év kapacitású ammóniaüzemmel együtt működtetnek. Ez a kombinált technika rohamosan elterjedt, manapság már ezek részaránya ~50%.

3. Formaldehid

A formaldehid szobahőfokon szintelen gáz, mely már csekély szennyezés hatására is polimerizál. Kereskedelemben az alábbi formákban hozzák forgalomba:

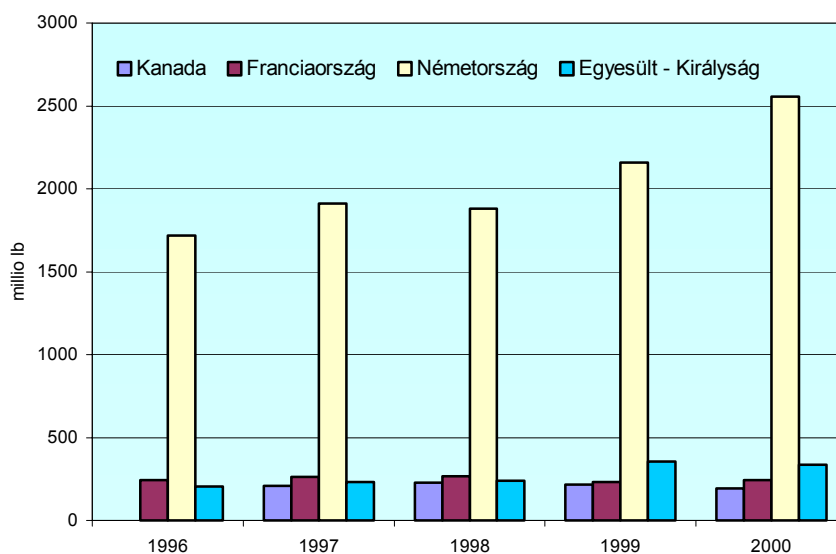
- 35-55%-os vizes oldat, amely a formaldehidet mintegy 99%-ig oximetilén-glikol-oligomerek formájában tartalmazza.
- Trioxán: gyűrűs szerkezetű trimer.
- Paraformaldehid: A formaldehid polimer formája

A formaldehid előállítására szolgáló legfontosabb ipari eljárás alapja 1888-óta mindmáig világszerte a metanol dehidrogénezése.

Kiindulási anyagok HCHO előállítására:

- Jelenleg: CH₃OH
- Korábban: C₃/C₄ – alkánok, CH₃OCH₃
- Távlatilag: esetlegesen CH₄

Formaldehidtermelés :



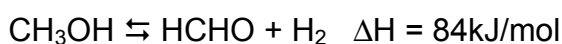
Előállítása:

Metanolból két különböző úton állítanak elő formaldehidet:

- Dehidrogénezéssel vagy oxidatív dehidrogénezéssel Ag- vagy Cu katalizátorn.
- Oxidációval Fe-tartalmú MoO₃-katalizátor jelenlétében.

1) Dehidrogénezéses eljárás

- Reakció:



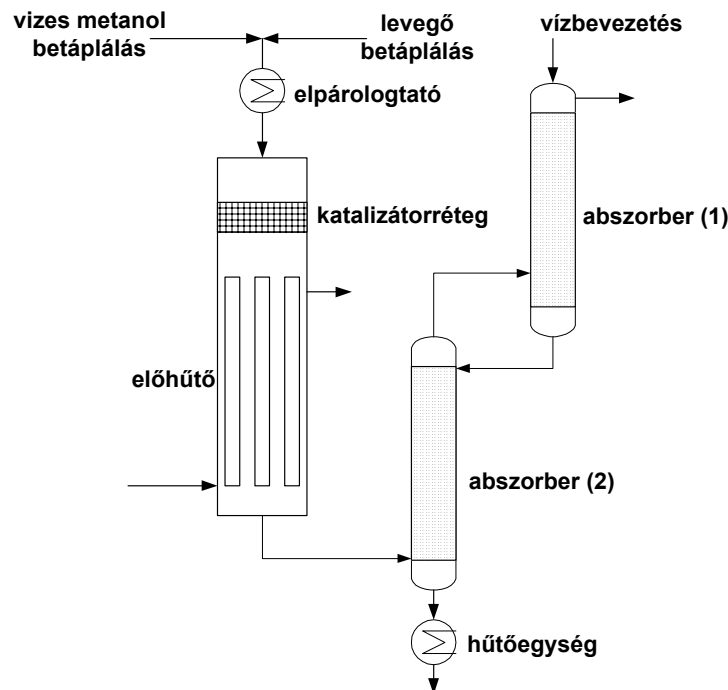
Ezt követően a hidrogén levegő jelenlétében elég, így az oxidehidrogénezés az alábbi bruttó egyenlettel írható le:



- Katalizátor

SiC-szemcsékre felvitt ezüstkatalizátor, amelyet kristályos formában néhány cm-es rétegekben helyeznek el a reaktorban. Érzékeny a halogénekre, kénre és idegen fémnyomokra.

- Folyamatábra



- Reakciókörülmények

Az ipari megvalósítás során a sztöchiometrikus mennyiségű levegőnél kevesebbet adnak a rendszerbe, hogy a reakcióhőmérséklet 600-720°C tartományban +5°C intervallumon belül állandó legyen. Ezen a hőmérsékleten nem teljes az átalakulás, ezért a maradék metanolt vissza kell vezetni a reaktorba. Ezzel szemben 680-720°C-on, különösen víz hozzáadásakor teljes átalakulás érhető el egyszeri áthaladásakor is.

A vízgőz hozzáadása a katalizátor élettartalmát is növeli, a víz jelenléte késlelteti a dezaktiválódást.

A katalizátor átlagos élettartama 2-4 hónap.

- Az előállított termék 37-42%-os vizes oldat, amely 1-2% metanolt tartalmaz (ez megakadályozza a formaldehid polimerizációját).

A formaldehidre számított hasznos konverzió >92%, szelektivitása legalább 98%.

- Az eljárást alkalmazó főbb cégek:
Bayer, Borden, DuPont, ICI, Mitsubishi Gas, BASF, Borden

2) Oxidációs eljárás

- Az eljárás lényege a gyakorlatilag megvalósított teljes metanol oxidáció.

- Reakció



- Katalizátor

18-19% Fe₂O₃ és 81-82% MoO₃ keverék, melyet szigorú körülmények között in situ alakítanak át Fe(III)-molibdenáttá. Promotorként Cr- és Co-oxidot lehet alkalmazni.

- Ipari megvalósítás

A metanol gőzét nagy levegőfelesleggel 350-450°C-on csőköteges reaktorban elhelyezett katalizátoron vezetik át. A hűtést a reaktorcsövek külső falán vezetett hűtővízzel biztosítják. A gáznemű terméket 100°C-ra hűtik, majd buborékoltató adszorpciós oszlopban elnyeletik. A formaldehid koncentrációja a vízmennyiségtől függően 37-50% közé állítható be.

- A metanol konverziója 95-99%, a formaldehid szelektivitás 91-94%.
- Melléktermékként CO, CO₂ és hangyasav keletkezik. Az utóbbit ioncserélő oszlopok beiktatásával lehet eltávolítani.

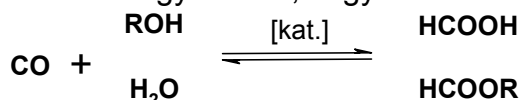
4. Hangyasav

A hangyasav mind a növény- mind az állatvilágban jelentős mennyiségben előforduló, legegyszerűbb karbonsav.

Technikai jelentősége egyrészt mint karbonavnak, másrészt mint redukáló hidroxialdehydnek van.

Előállítása:

Közvetlenül hangyasav előállítására szén-monoxidból indulnak ki, melyet vagy hidratálással hangyasavvá, vagy alkoholokkal hangyasavészterré alakítanak át:



A szén monoxid és víz reakciójában bázisok – pl.: NaOH vagy Ca(OH)₂ – jelenlétében a folyamat az egyensúlyi formiát képződés irányába tolódik el, és az átalakulás 8-30 bar nyomáson más 155-150°C-on végbemegy.

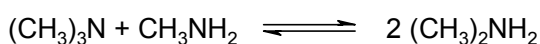
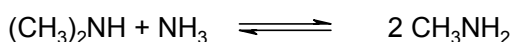
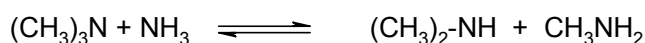
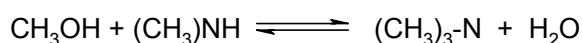
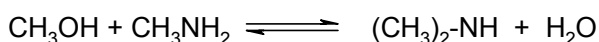
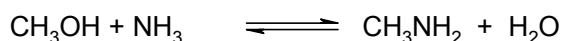
A legismertebb metil-formiát eljárást a BASF, a Halcon-SD és a Leonard fejlesztette üzemi szintre.

5. Metil - aminok

A gyártott szintésalapanyagok mennyi vonatkozásában a metil-aminok és az etil-aminok állanak az első helyen.

A metil-aminok előállítása:

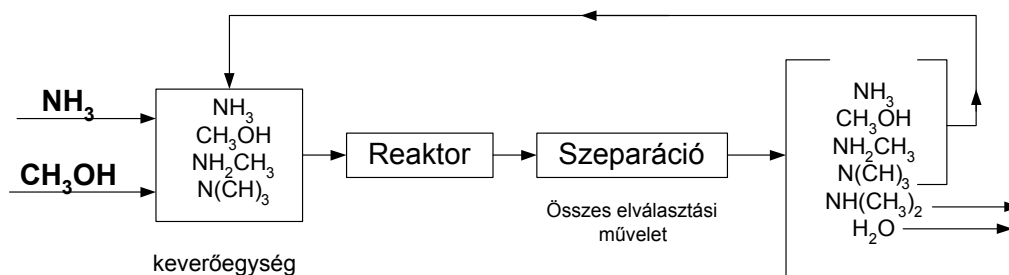
- Reakciók:



Tehát egyidejűleg több reakció vezet primer-, szekunder- és tercier aminok keletkezéséhez. Természetesen emellett az ammónia és az aminok is reagálnak egymással egyensúlyi reakciók útján.

A kiindulási anyagok arányának változtatásával befolyásolható a keletkező elegy összetétele, de kizárólag ebben a rendszerben egyfajta amin nem állítható elő. Természetesen ez előnyökkel is jár: A melléktermékként keletkező amin visszavezethető a reaktorba, amely egyensúlyi reakcióban reagálhat céltermékké.

- Elvi folyamatábra

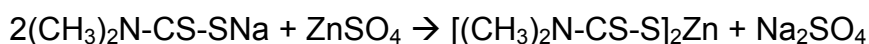


A gyártás alapreakcióiban nincs térfogatváltozás, így az egyensúlyi helyzet nem befolyásolható a nyomás megváltoztatásával. A reakciókat a nagyobb kapacitás érdekében azonban mégis nyomás alatt végzik.

A keletkező víz és a céltermék kivételével a komponenseket visszavezetik a reaktorba. A második ábra a dimetil-amin gyártás elvi folyamatábrája.

A metil-aminok felhasználása:

- Alkil-amino-csoportok bevitele,
- Gyógyszer- és növényvédőszer- és színezékipari szintézisek fent említett reakciói: pl.: Fungicid hatású dimetil-ditio-karbamid-savas-cink szintézise:



6. Hidrogén-cianid

- A hidrogén-cianid a szerves kémiai szintézisek egyik fontos építőköve, ami indokolja besorolását a C₁-alapanyagok körébe.
- Előállítására a következő két reakcióutat alkalmazzák:

1. Formamid dehidratálása:

Ilyen eljárást fejlesztett ki a BASF, a Degussa és a Knapsach.

- Reakció: $\text{HCONH}_2 \rightarrow \text{HCN} + \text{H}_2\text{O}$ $\Delta H = +75\text{kJ/mol}$
- Hőmérséklet: 380-430°C
- Nyomás: csökkentett nyomás
- Katalizátor: Fe-, vagy Al-foszfát, amelyek promotorként Mg-, Ca-, Zn-, vagy Mn-tartalmú adalékokat is tartalmaznak.
- Reaktor: töltött kontakt csőreaktor.

A 60-70 v/v% HCN-tartalmú gáznemű termékelegy alkalmas a HCN közvetlen cseppfolyósítására.

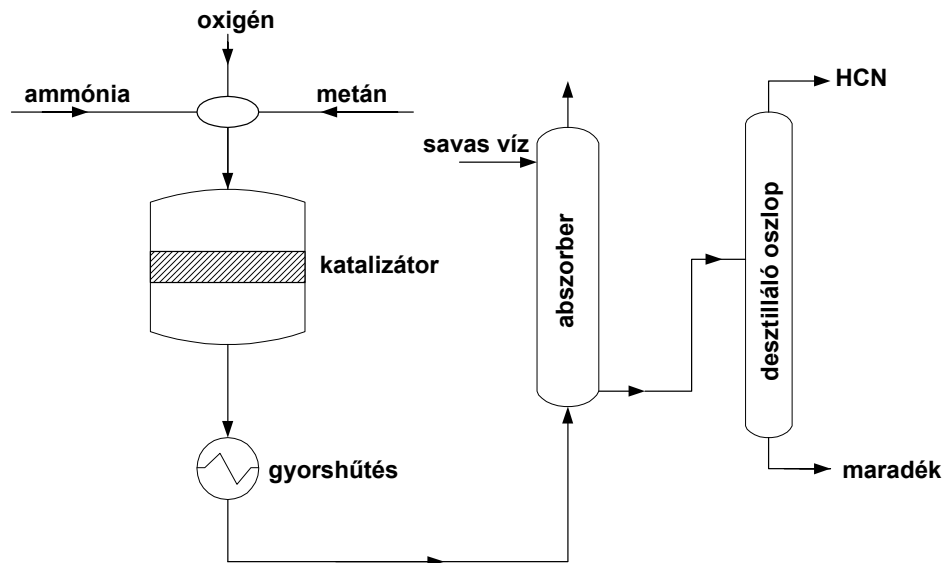
A HCN szelektivitás 92-95%.

2. Ammónia és szénhidrogének – elsősorban metán – együttes oxidációja, vagy dehidrogenezése:

A legnagyobb mennyiségben így a BASF-nél gyártják a HCN-ot, az ún. Andrussow-eljárással.

- Reakció: a metán ammonoxidációja
 $\text{CH}_4 + \text{NH}_3 + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{HCN} + 3\text{H}_2\text{O}$ $\Delta H = -473\text{kJ/mol}$
- Hőmérséklet: 1000-1200°C, nagyon rövid reakcióidő mellett.
- Nyomás: túlnyomás alkalmazása nélkül.
- Katalizátor: Pt-fém, pl.: ródiumadalékkal. Háló formájában, vagy hordozón alkalmazzák.

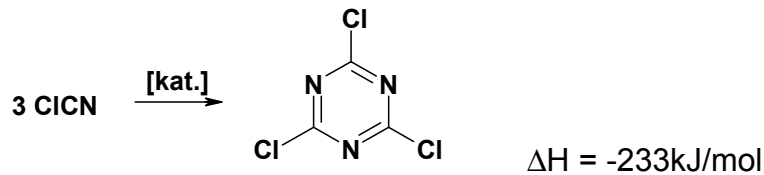
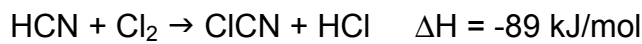
- Folyamatábra:



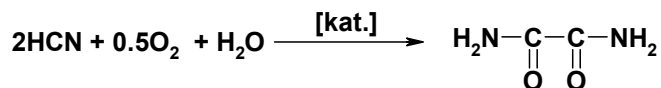
- A HCN szelektivitás metánra vonatkoztatva 88%, ammóniára vonatkoztatva 90%.

• A hidrogén-cianid felhasználása pl.:

○ Klórcián és cianurklorid előállítása:



○ Oxálsav-diamid (oxamid) gyártás



○ Alkáli-cianidok előállítása

○ Cianokomplexek előállítása

○ Stb.