

# A tisztaszén technológiák fejlődési irányai és gazdasági perspektívái

Dr. Kalmár István

Hazai szénelőfordulások gazdasági perspektíváinak vizsgálata

Nyitókonferencia

MBFSZ Székház Budapest

2017. december 19.

# Miért foglalkozzunk a szénnel ? 1

## ENERGIA ÉS VEGYIPARI NYERSANYAGOK TERMELÉSE A VILÁGBAN

**KŐOLAJ TERMELÉS NAPI 94 MIÓ HORDÓ ÉVI 204 MRD GJ ( 8,33 USD/GJ)**

**FÖLDGÁZ TERMELÉS 3500 MRD M<sup>3</sup> 184 MRD GJ**

**( 3 USD/GJ(USA),5,3 USD GJ EU,9,52 USD/GJ KÍNA)**

**SZÉNTERMELÉS 8 MRD TONNA KB. 119 MRD GJ**

**(1,5 €/GJ NÉMET KÜLFEJTÉS,2,5 €/GJ LENGYEL MÉLYBÁNYA**

**2,4 €/GJ ARA, 2,84 €/GJ KÍNA)**

**MEGÚJULÓ FORRÁSOK KB. 15%**

**SZÉNHIDROGÉNEK ESETÉBEN 80-90%-OS MONOPOLIZÁLTSÁG KERESKEDELMI FORGALOM ÉS KERESKEDELMI ÁRAK**

**SZÉN ESETÉBEN 40% ALATTI MONOPOLIZÁLTSÁG KERESKEDELMI FORGALOM ALACSONY ÉS TERMELŐI ÁRAK**

**MEGÚJULÓK BERENDEZÉSGYÁRTÓI KONCENTRÁCIÓ**



# Miért foglalkozunk a szénnel ? 2

- ELŐNYÖK

- ● A világban egyenletesebben oszlik el és kevésbé monopolizált mint a szénhidrogének és kisebb az áringadozás is
- ● A szénhidrogének ára folyamatosan nő az évek során
- ● Helyi foglalkoztatás, iparpolitikai vonzatok, adóbevételek, importkiváltás

- ELLENÉRVEK

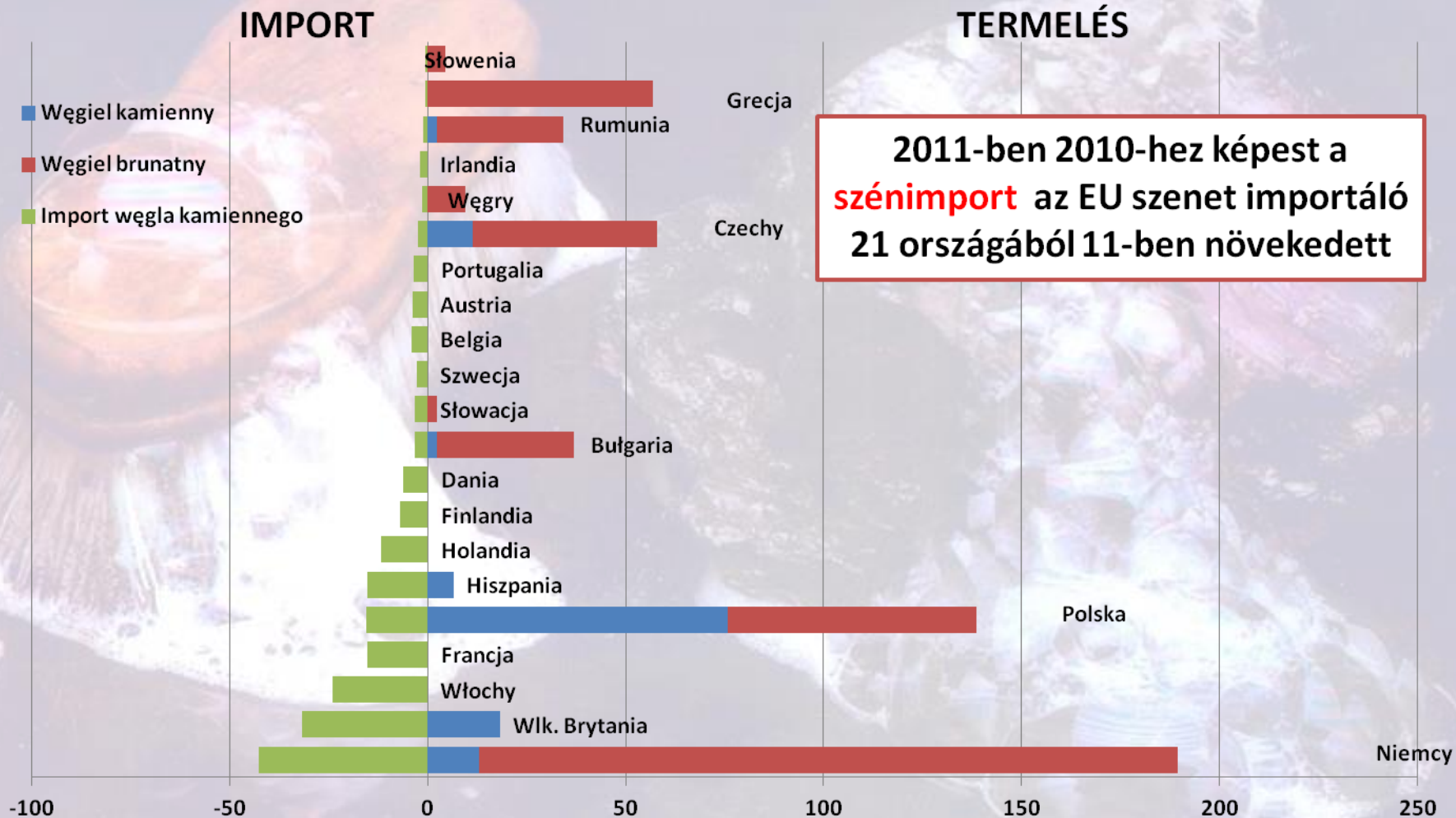
- ● Nagyobb beruházás igény
- ● CO<sub>2</sub> kibocsátás
- ● árkérdés különösen mélybányászat esetében

- VÁLASZ ELLENÉRVEKRE

- ● Igaz a nagyobb beruházási igény, de utána az alapanyag ellátás kiszámítható, és a beruházás is munkahelyeket teremt
- ● Teljes folyamat befizetéseit kell nézni etanolhoz hasonló struktúrában (pl. üzemanyag adókedvezmény)
- ● A tiszta széntekológiák kevesebb CO<sub>2</sub>-t bocsájtanak ki, nagyobb a hatásfok és CO<sub>2</sub> is haszonanyag, bár feldolgozása drágább mint a kvótaár
- ● A CO<sub>2</sub> nemcsak a jövő nyersanyaga, hanem alkalmas a megújuló és nukleáris völgyáramok tárolására meglévő infrastruktúrában
- NÉHÁNY SZÜKSÉGES FELTÉTEL
- ● Hidrogén előállítás pl. vízbontással völgyáramokkal
- ● Katalizátorkémia CO és CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>
- ● ÜHG életrciklus szemlélet



# A szén termelése és importja az EU-ban, Mt. 2011



2011-ben 2010-hez képest a **szénimport** az EU szén importáló 21 országából 11-ben növekedett

Prof, Dubinski: XXII Forum Ekonomiczne, 4 – 6 września 2012.



# Tartalomjegyzék

- ➔ A tiszta szénteknológia fogalma ,erőműi alkalmazások és hatások
- ➔ A szén anyagában való átalakításainak lehetőségei
- ➔ A metanol gazdaság
- ➔ CO<sub>2</sub> leválasztás módszerei és a fejlődés útjai
- ➔ CO<sub>2</sub> betárolás és hasznosítás lehetőségei
- ➔ A szén magyarországi hasznosításának lehetőségei



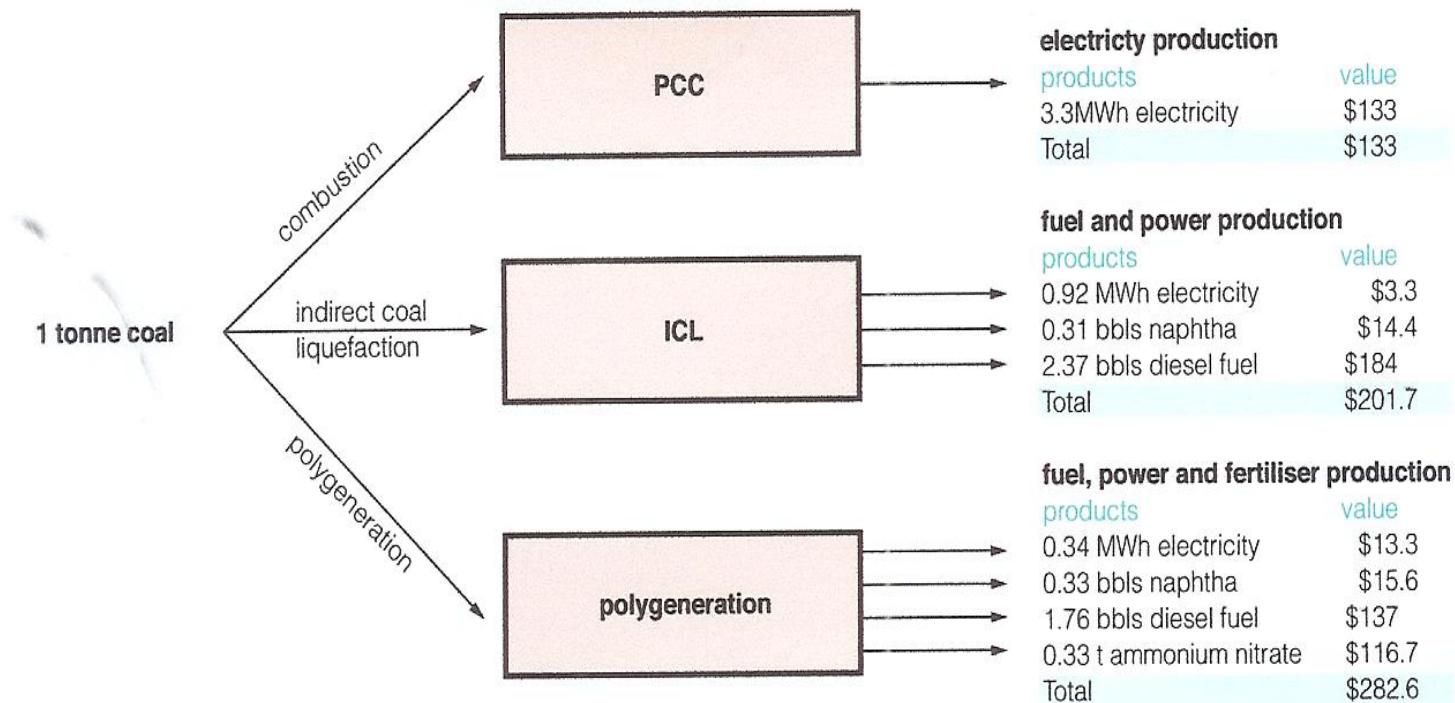
# Tiszta széntechnológia fogalma, erőműi alkalmazás és hatások

- olyan megoldások összessége amelyek növelik az alkalmazás hatásfokát és leválasztják a keletkező környezetre káros anyagokat (SO<sub>2</sub> , koromrészecskék, nehézfémek stb. már jelenleg gyakorlat, CO<sub>2</sub> technológiailag lehetséges de gazdaságossága kérdéses) illetve a szén anyagában hasznosítják
- **Hatásfok növelése** elektromos energia előállítás/ erőművek esetében (a magasabb hatásfok kevesebb CO<sub>2</sub> kibocsátással jár minden megtermelt MWh-ra)  
Technológiai lehetőségek és gazdaságosság:  
**porszéntüzelés** (akár 1000 MW vagy feletti blokk nagyság)  
38% hatásfok érhető el kb. 250 at és 550 °C gőzparaméterű kazánokban szénacél szerkezetekkel  
*1000 MW blokk nagyság kb. 1200 €/kW, 750 MW blokk nagyság kb. 1500 €/kW, 300 MW kb. 700 €/kW*  
44% hatásfok érhető el kb. 250-300 at és 650 °C kazánokban krómötvözetekkel szuperkritikus kb. 30-40% felárral az első berendezések már üzemelnek a gyerekbetegségeket küzdik le  
*kb. 2000 €/kW*  
48% hatásfok 330 at és 720 °C kazánokban ultra szuperkritikus kb.+ 100 % felárral kutatás alatt 2020 után építhető , de gazdaságosság nem látható  
*becsült ár kb 3000 €/kW*  
**fluidágy** (oxyfuel) (lebegőágy oxigén befúvással)  
44-48% hatásfok 200 MW de max 460 MW blokk méret kb + 40 %  
*kb. 1800-2300 €/kW*  
**ICGGT** (szénből szintézisgáz majd ennek égetése gázturbinában) Gázturbina méret kb. 300 MW  
55-60% de kb. 100% felárral  
*kb. 3000 €/kW*
- **Lángégés helyett katalitikus oxidáció** elméletben akár 70-80 % hatásfok (kutatása szükséges)
- **Megtérülés villamos energia előállítás**  
folyamatos legalább 7000 órás teljes kapacitás átvétel esetében nagyobb blokk méretnél  
**70-80 €/MWh (Törökország),**  
Németországban nagyméretű liginntüzelésű blokkok folyamatos kihasználása esetében **50 €/MWh felett**



# A szén értékének maximalizálása

(Headwaters előadás, IEA CCC 132/2008 jelentése)



Maximising the value of coal (Tam and others, 2007)  
 IEA Clean Coal Centre Report 132 /2008



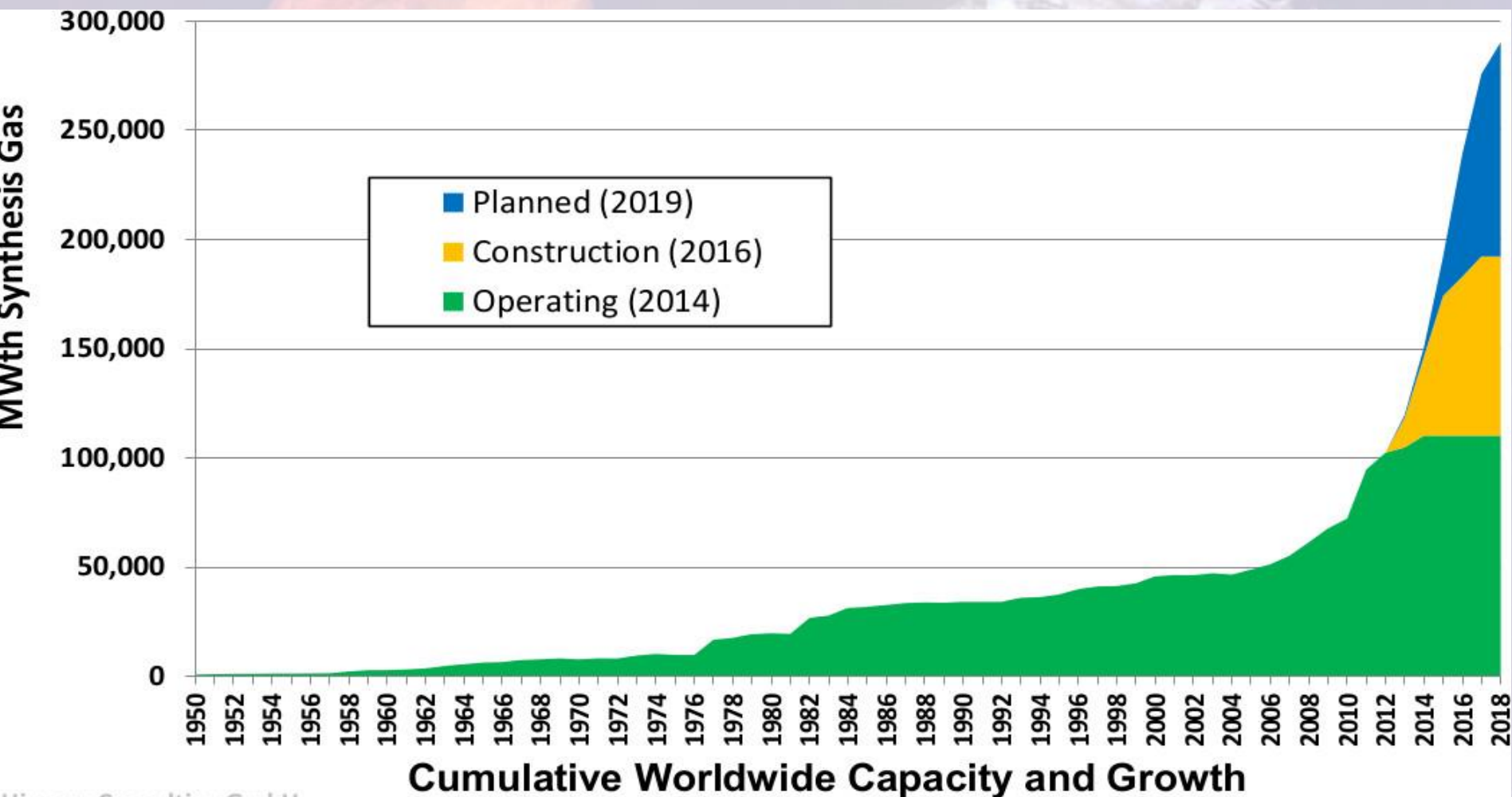
# A szén anyagában való átalakításának lehetőségei

- **Szénből minden előállítható, ami a szénhidrogénekből, de mivel a beruházási költség kb. kétszerese a földgáz alapú beruházásoknak és fűtőérték re vetítve 20% -kal magasabb az alapanyag igény ezért a szén ára a földgáz árának 40%-a lehet**
- Az egyik alaptechnológia a közvetett módszer ,a szén elgázosítása , a szintézisgáz gyártása a forró szén és a bevitt vízgőz reakciójaként magas H<sub>2</sub> és CO tartalmú gáz keletkezik, ami tisztítás után további feldolgozásra kerül.  
A technológia is nagy fejlődésen ment keresztül, így az átalakítási hatások a korábbi egylépcsős rendszerekkel szemben többlépcsős, tipikusan 3 hőmérsékleti lépcsős megoldással 40%-ról 60% körüli értékre nőtt.
- Egy másik elterjedt technológia a közvetlen módszer, amikor a szenet oldószerekben oldják fel, majd az oldatot tovább finomítják.
- 100 körülire tehető a technológiai megoldások száma és igen sok gyártó van a piacon különböző állagú hamu tartalmú és fűtőértékű szenek feldolgozására
- Sok egyéb technológia is kialakításra került, amit részben a hulladékok hasznosítására alkalmaznak pl. plazmatechnológia, de létezik baktériumokkal , vagy éppen olvadt fémfüldővel operáló megoldás is
- A legnagyobb szénalapú fejlesztések Kínában vannak , a világ szenet anyagában hasznosító kapacitások kb. 90%-a ott található
- A hulladékok elgázosítása az 50 €/tonna szemétkerakási díjra alapozott üzleti tervvel Európában és Észak Amerikában nyer teret
- Kína, USA, Dél-Korea, Japán a kutatás és beruházások Németország a kutatás és technológia területén jár az élen
- A szintézisgáz feldolgozásával, átalakításával pedig a világ vezető vegyipar cégei foglalkoznak
- A szintézis gázgyártás meghatározó elem, de a teljes vegyipari beruházás 10%-a alatt van az értéke
- A vegyipari feldolgozás sokcélú lehet, metanol, etanol, műtrágya stb.  
A szintézisgáz ugyan villamos energiatermelésre is használható, de a szén vegyipari alkalmazásának igazi gazdasági célja a **poligeneráció**, a szén értéke a poligenerációs alkalmazásban az erőműi égetéshez képest legalább háromszoros.  
A poligeneráció során több vegyipari termék mellett villamos és hőenergia is keletkezik (ilyen termékösszetétel lehet pl: ammónia, urea, benzin, dízel, metanol)
- A végtermék hidrogéntartalmának forrása az adott környezettől függ, és lehet földgáz pl. USA, villamos energia völgyáramból biomassza és hulladék, a hidrogénforrás és a CO<sub>2</sub> kibocsátás egymásra kölcsönhatásban van.





# A világ szintézisgáz gyártási kapacitásainak növekedése (Higman Consulting GSTC honlap)

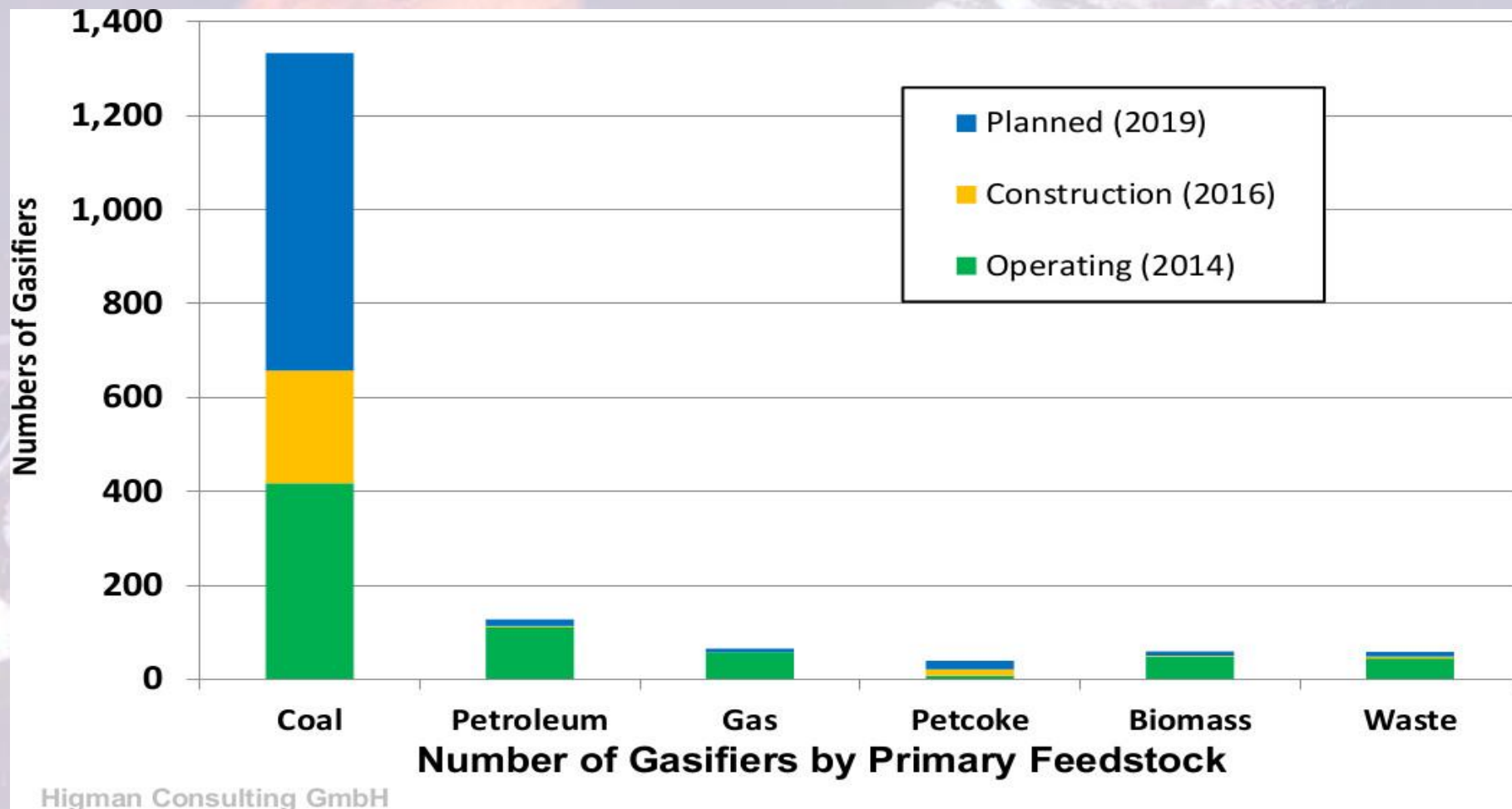


Higman Consulting GmbH

CALAMITES



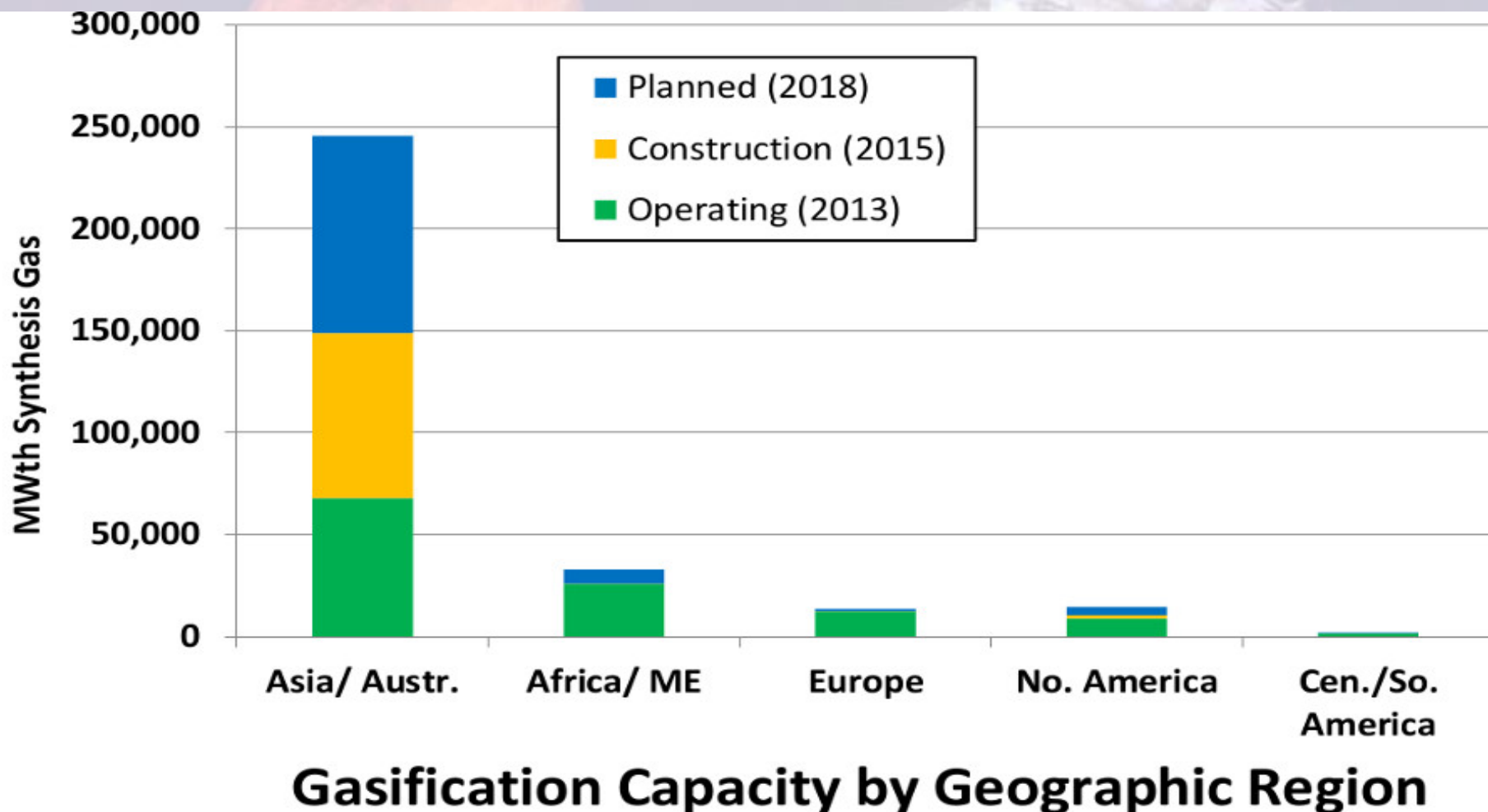
# Elgázosítók a világban alapanyag szerint (Higman Consulting GSTC honlap)



Higman Consulting GmbH



# Elgázosítók Földrajzi régióként (Higman Consulting GSTC honlap)

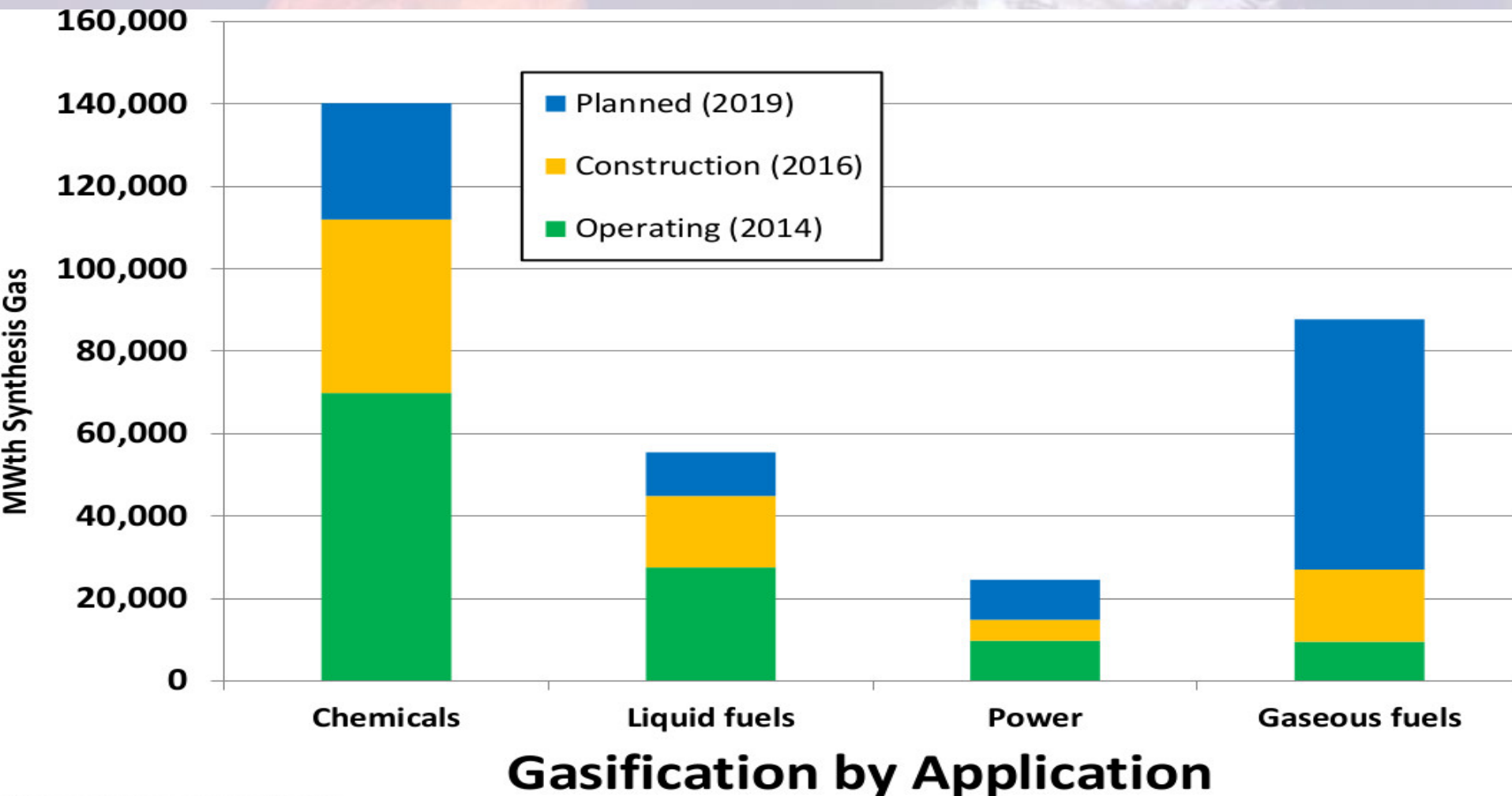


**Gasification Capacity by Geographic Region**



# Az elgázosítás célja

(Higman Consulting GSTC honlap)

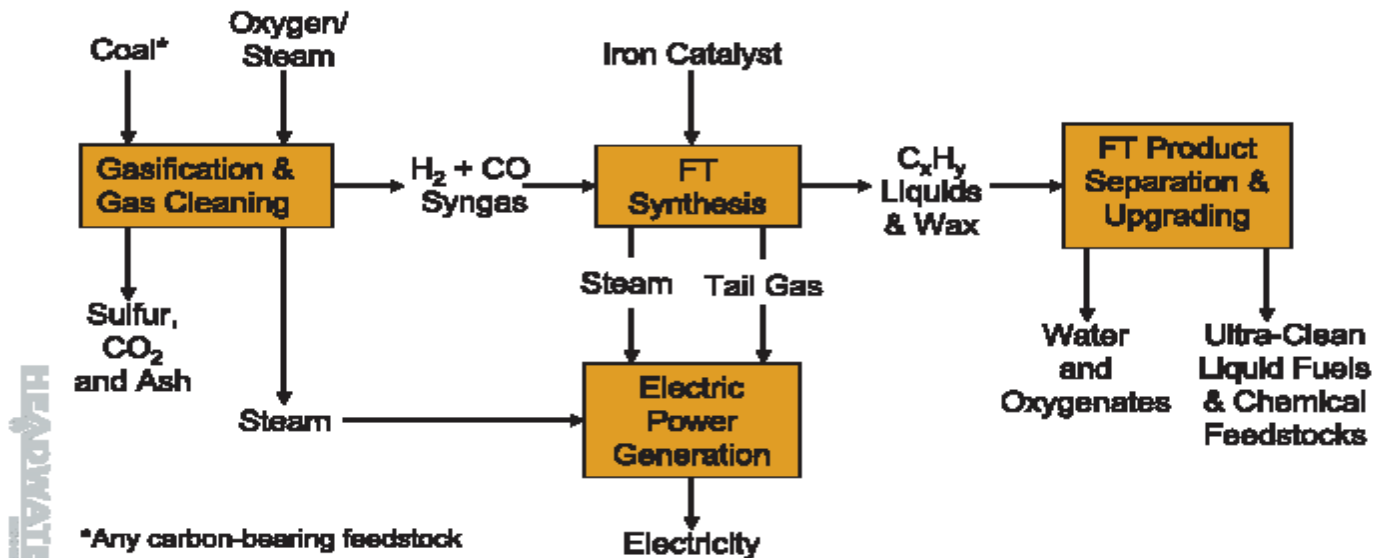


# A kőszén elgázosításának melléktermékei (archív kép Freiberg Gázipari múzeum)



# Közvetett (elgázosítós) szénecseppfolyósítás (Headwaters előadás)

## Indirect Coal Liquefaction Process



HEADWATERS

6

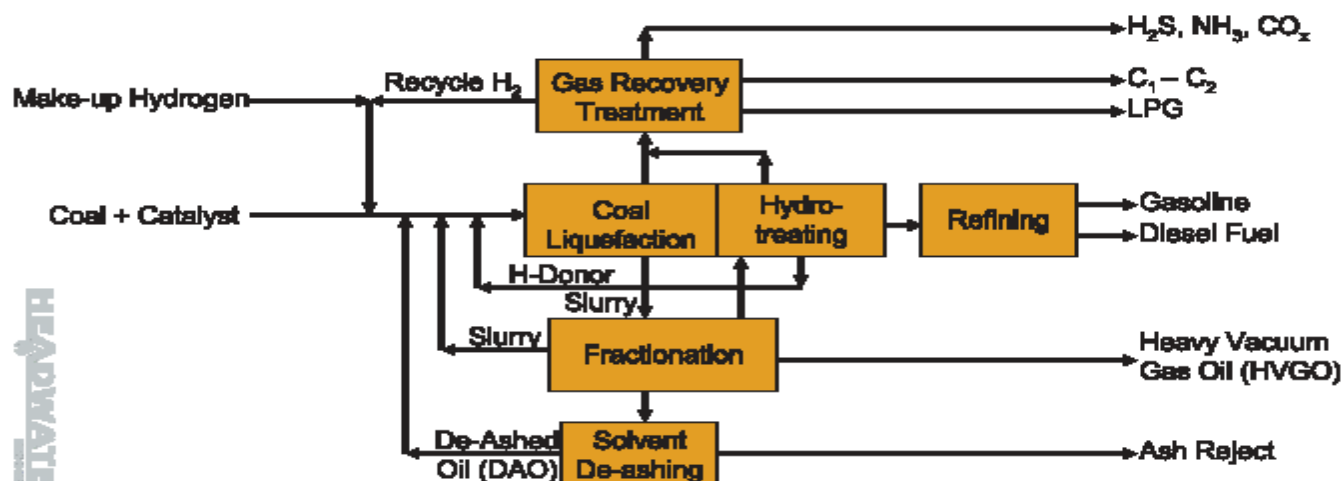


ADDING VALUE TO ENERGY™



# Közvetlen(oldószeres) szénecseppfolyósítás (Headwaters előadás)

## Direct Coal Liquefaction Process



HEADWATERS

4



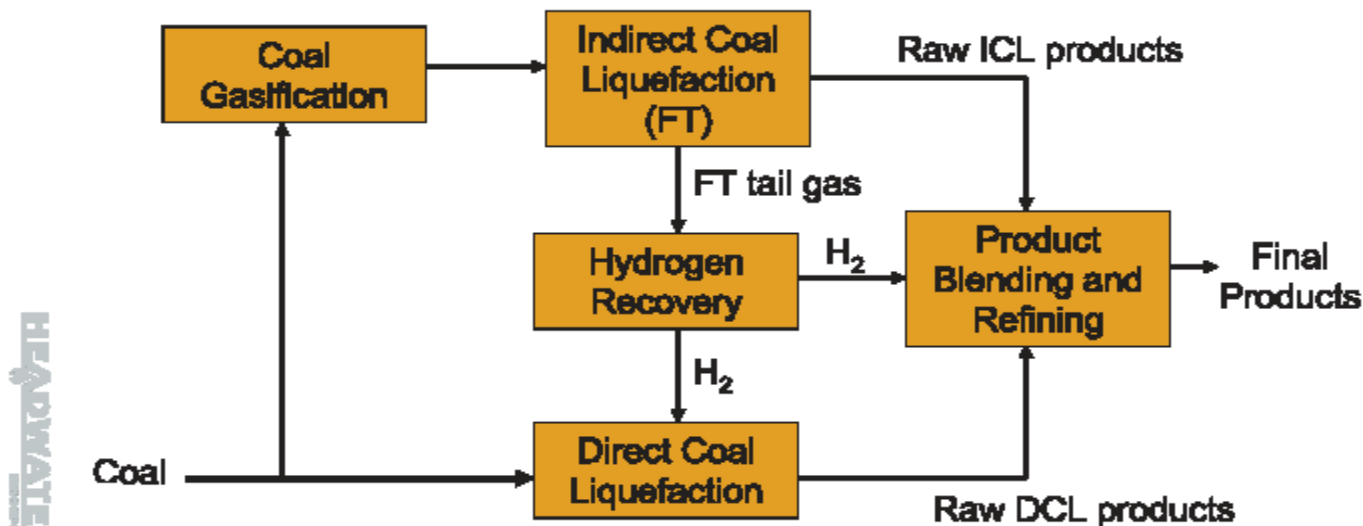
ADDING VALUE TO ENERGY™



# Hibrid (elgázosításos és oldószeres) szénceppfolyósítás (Headwaters előadás)

## Hybrid DCL/ICL Plant Concept

Production of premium quality gasoline, diesel & jet fuel with minimal refining



HEADWATERS

9



ADDING VALUE TO ENERGY™

CALAMITES





# Szénelgázosító berendezés (GTI)

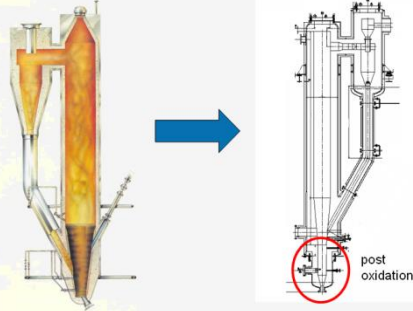


# Néhány iparilag működő elgázosítási eljárás

## Gasifier development HTW

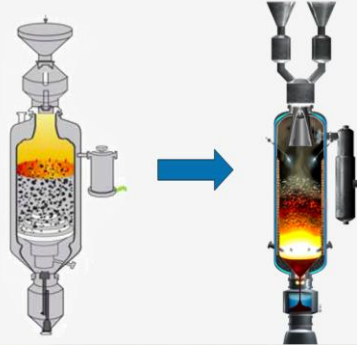
KoBra study  
130 tph dried lignite (1996)

HTWplus pilot plant study  
5 tph biomass (2007)



## Gasifier development Lurgi dry ash

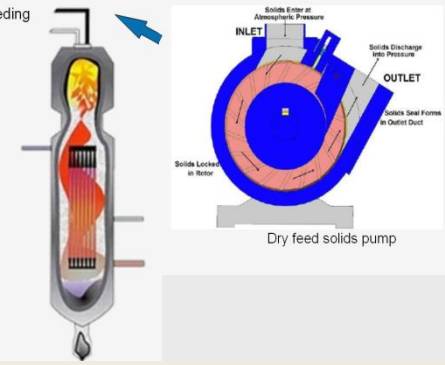
→ 720 tpd British Gas Lurgi - slagging gasifier



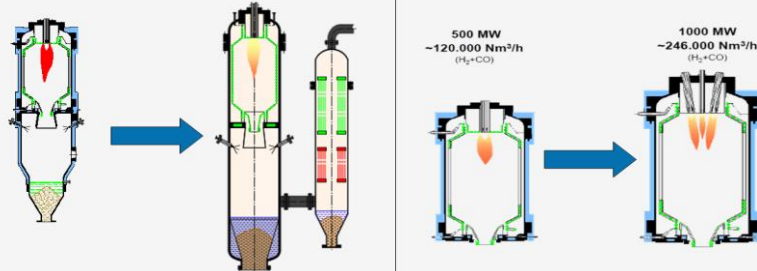
## Gasifier development GE

Slurry feeding

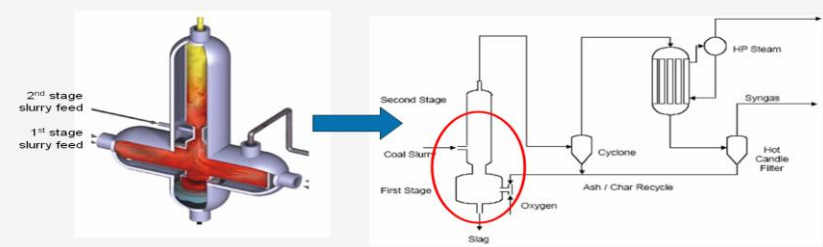
Dry feeding



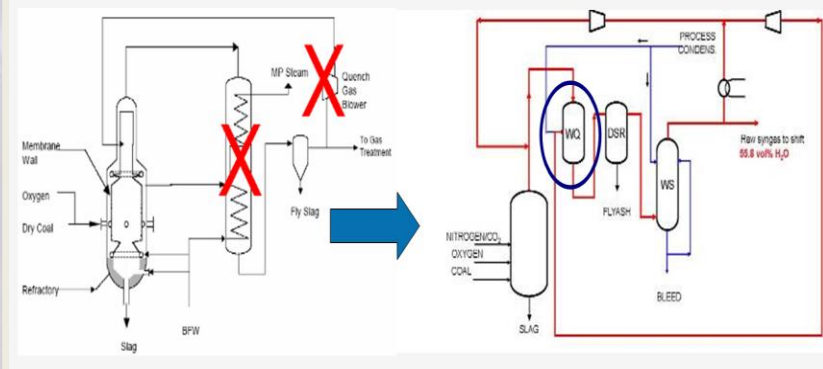
## Gasifier development SFGT



## Gasifier development Conoco Phillips

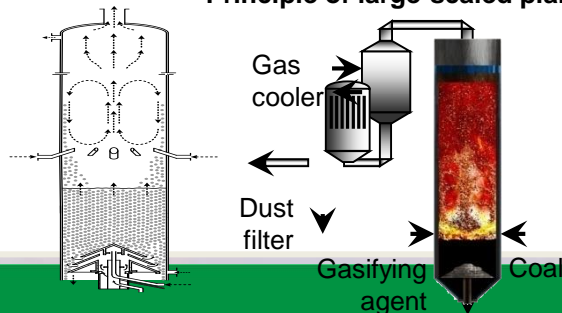


## Gasifier development SCGP



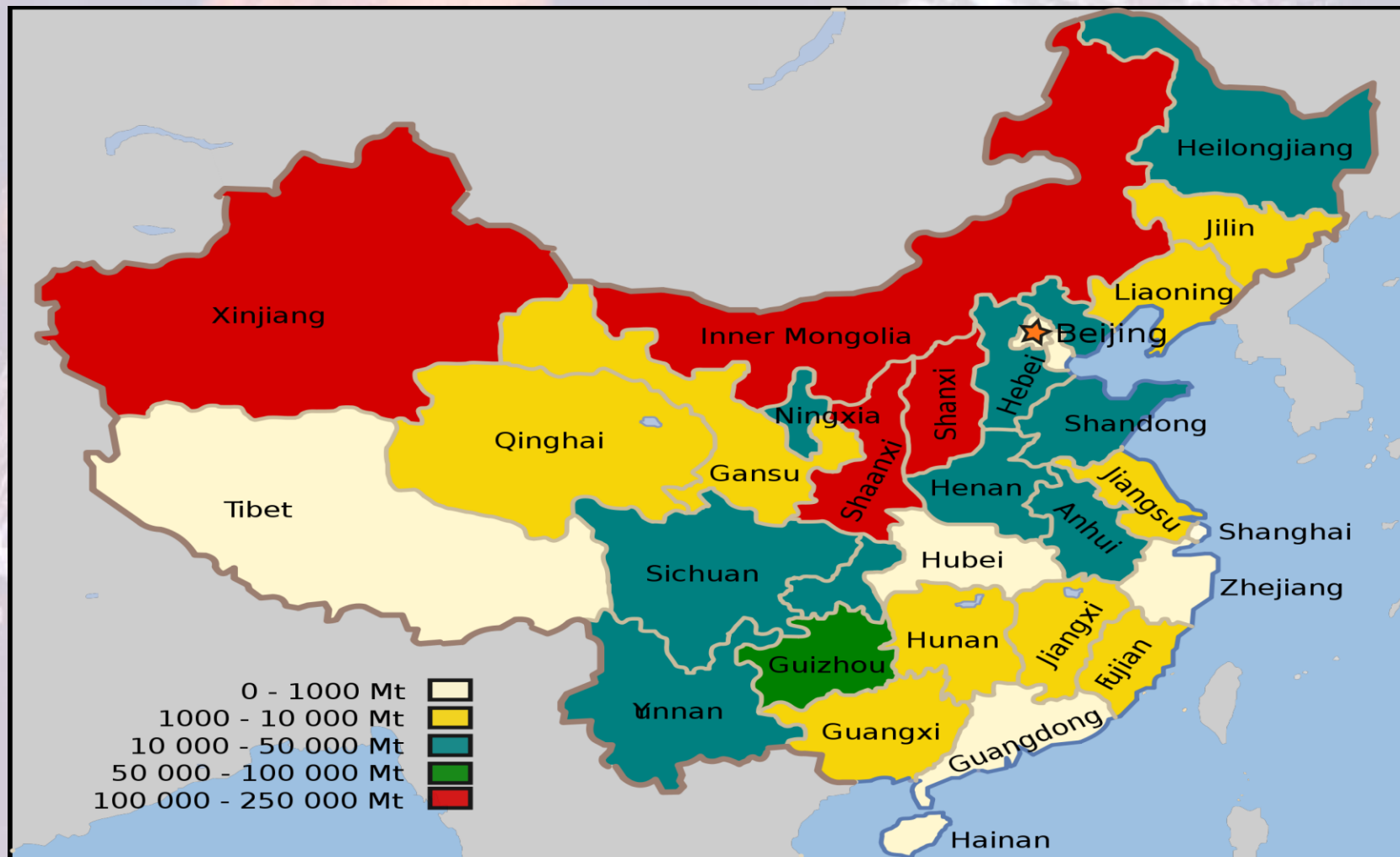
## Neues Prinzip für aschereiche Kohlen

Principle of large-scaled plant



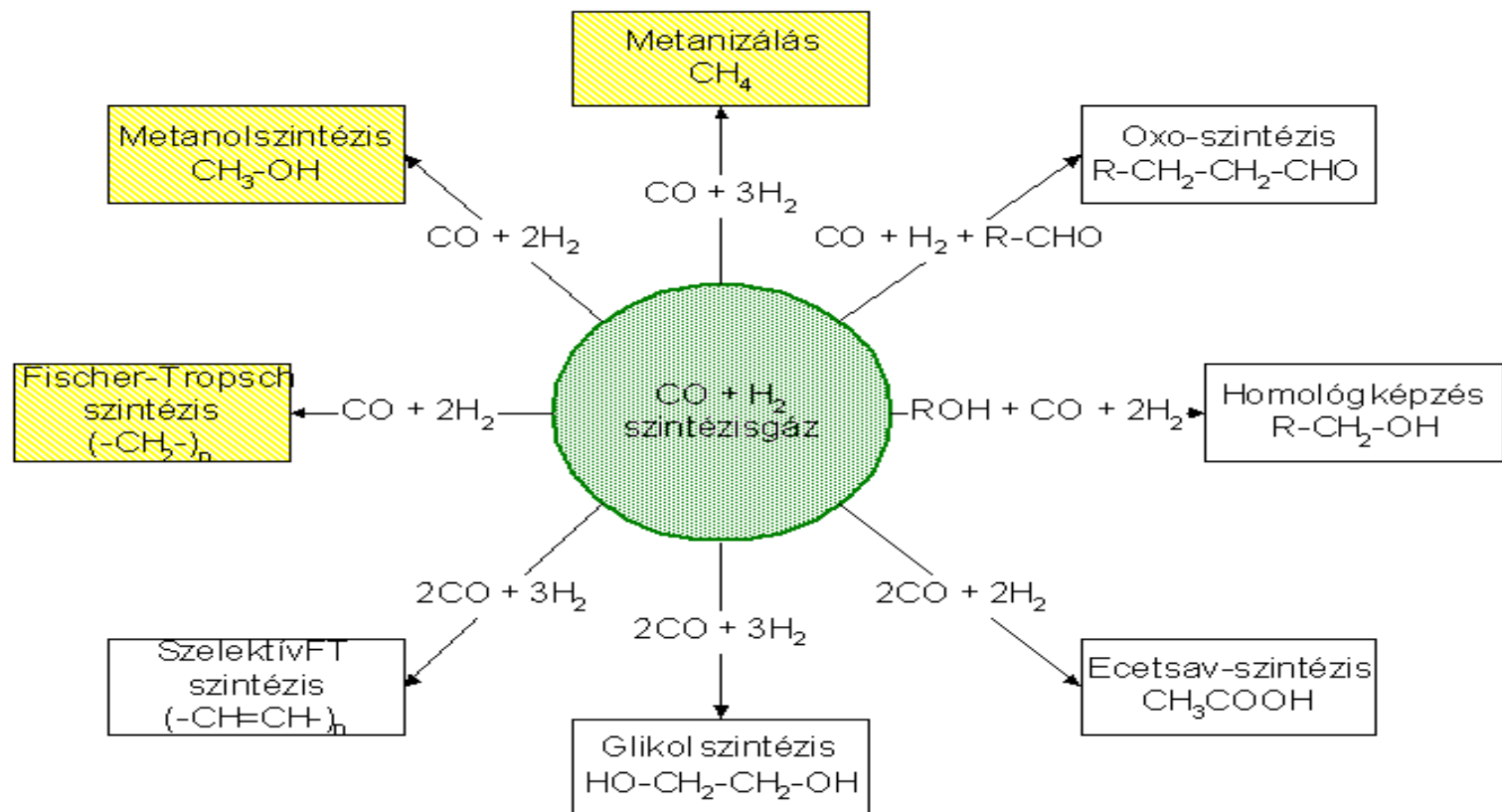
# KÍNA Szerepe 90% felett van a szénelgázosítás területén

A világ 186 üzemben lévő szénelgázosító üzeméből 153 Kínában van  
A Világ 290 Tervezett szénelgázosító üzeméből 248 Kínában van  
A Világ 69 szénből üzemben lévő Metanol gyárából 63 Kínában van és  
kb. további 100 berendezést terveznek



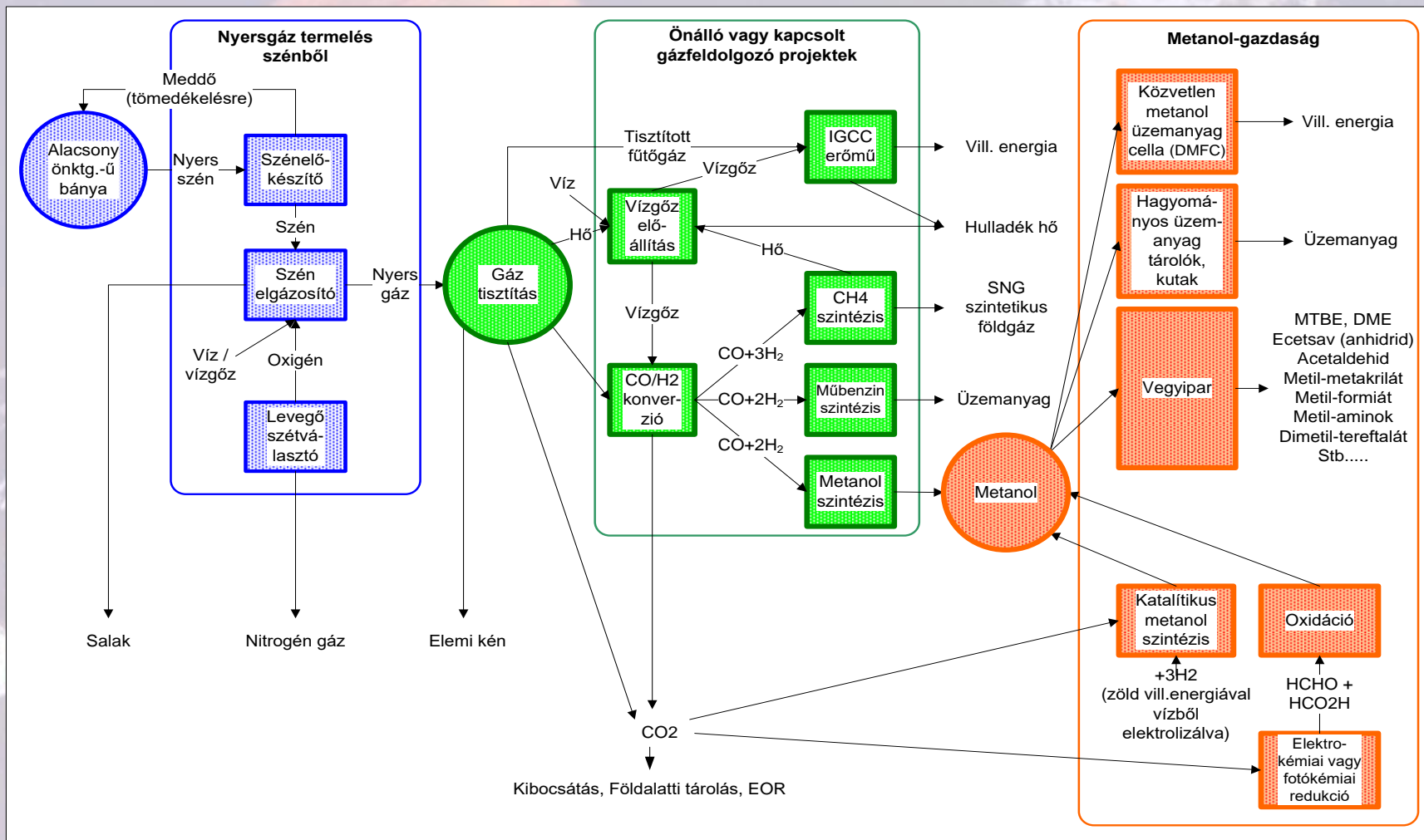
# A szintézisgáz feldolgozásának lehetőségei

(Csörge Tibor)



# A szénfeldolgozás lehetséges irányjai

## (Csörge Tibor)



# Oláh György



# A metanol fogalma

- A metanol (metil- alkohol), faszesz,  $\text{CH}_3\text{OH}$  a legegyszerűbb telített alkohol, sűrűsége:  $0,7869 \text{ g/cm}^3$
- Színtelen jellegzetes szagú, kis viszkozitású folyadék, vízzel jól elegyedik, maga is kiváló oldószer
- Könnyen összetéveszthető az etanollal, de forráspontja alacsonyabb
- Erősen mérgező anyag ami bőrön át is felszívódik
- Ismert alkalmazása az autóversenyek és repülőmodellek üzemanyagaként
- Újabban üzemanyagcellát is kifejlesztettek rá,
- Vegyipari alapanyagként széles körben alkalmazzák
- Korábban fa lepárlásával pirolízissel állították elő de ma már általában szintézisgázból (szénmonoxid és hidrogén keverékéből) katalizátor jelenlétében gyártják
- Az iparban az etanollal azonos területeken alkalmazható, de előállítása lényegesen olcsóbb
- A metanol gyártás legelterjedtebb alapanyaga a földgáz
- Fontos szerepe lehet azonban a különböző energia és nyersanyag források azonos anyaggá való feldolgozásában
- Előállítható bármilyen eredetű szintézisgázból pl. szén, biomassza, hulladékok, de felhasználható a gyártásához a  $\text{CO}_2$  és a völgyáramok hidrogénjének kombinációja is (CRI Izland)
- A metanol gazdaság fogalmát Oláh György Nobel díjas kémikus vezette be
- Jelentős szerepet játszik a megújuló energiák segítségével előállított hidrogén normál nyomáson és hőmérsékleten való tárolásában

# Methanex metanolgyár Trinidad&Tobago



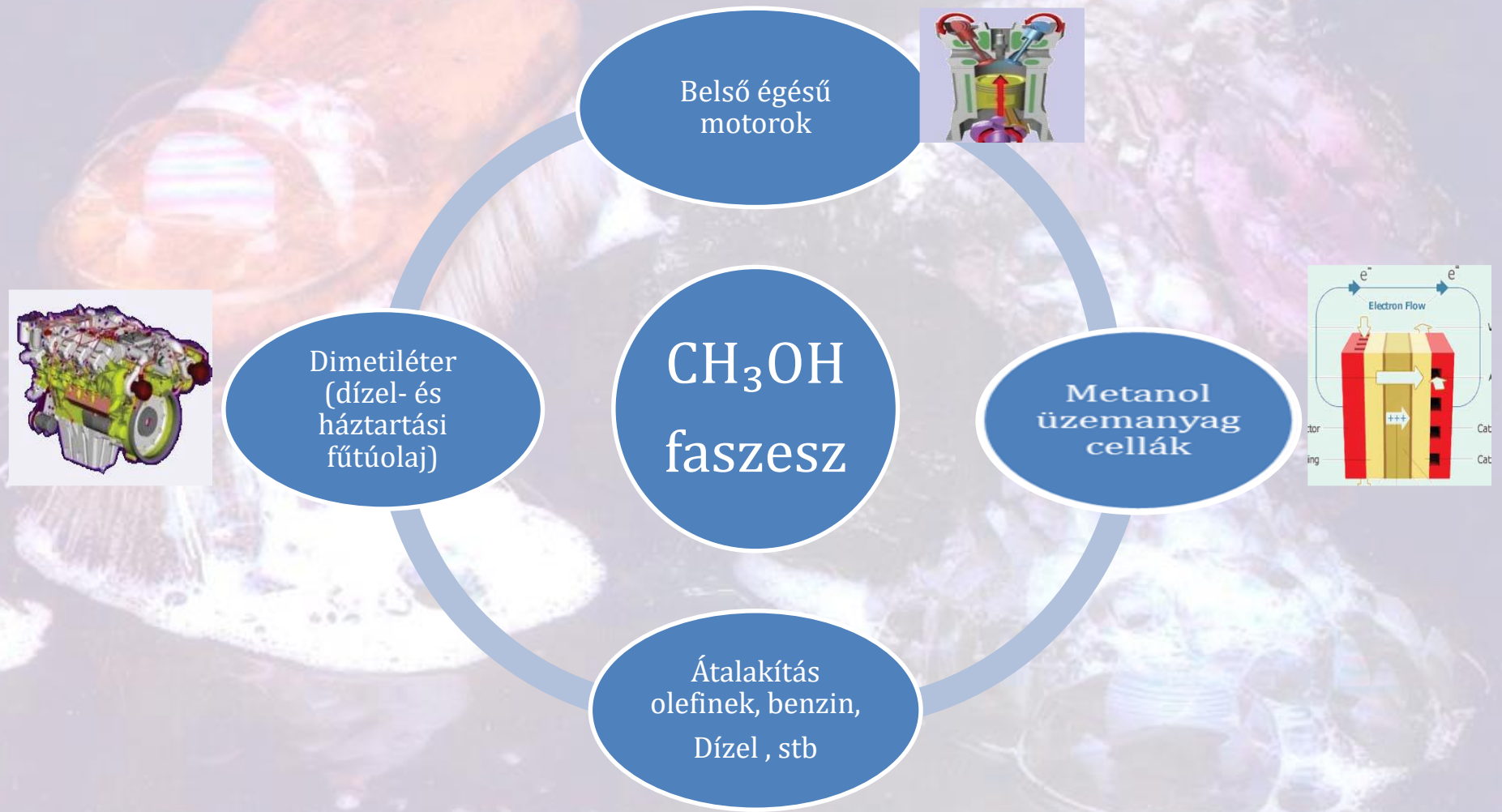
CALAMITES





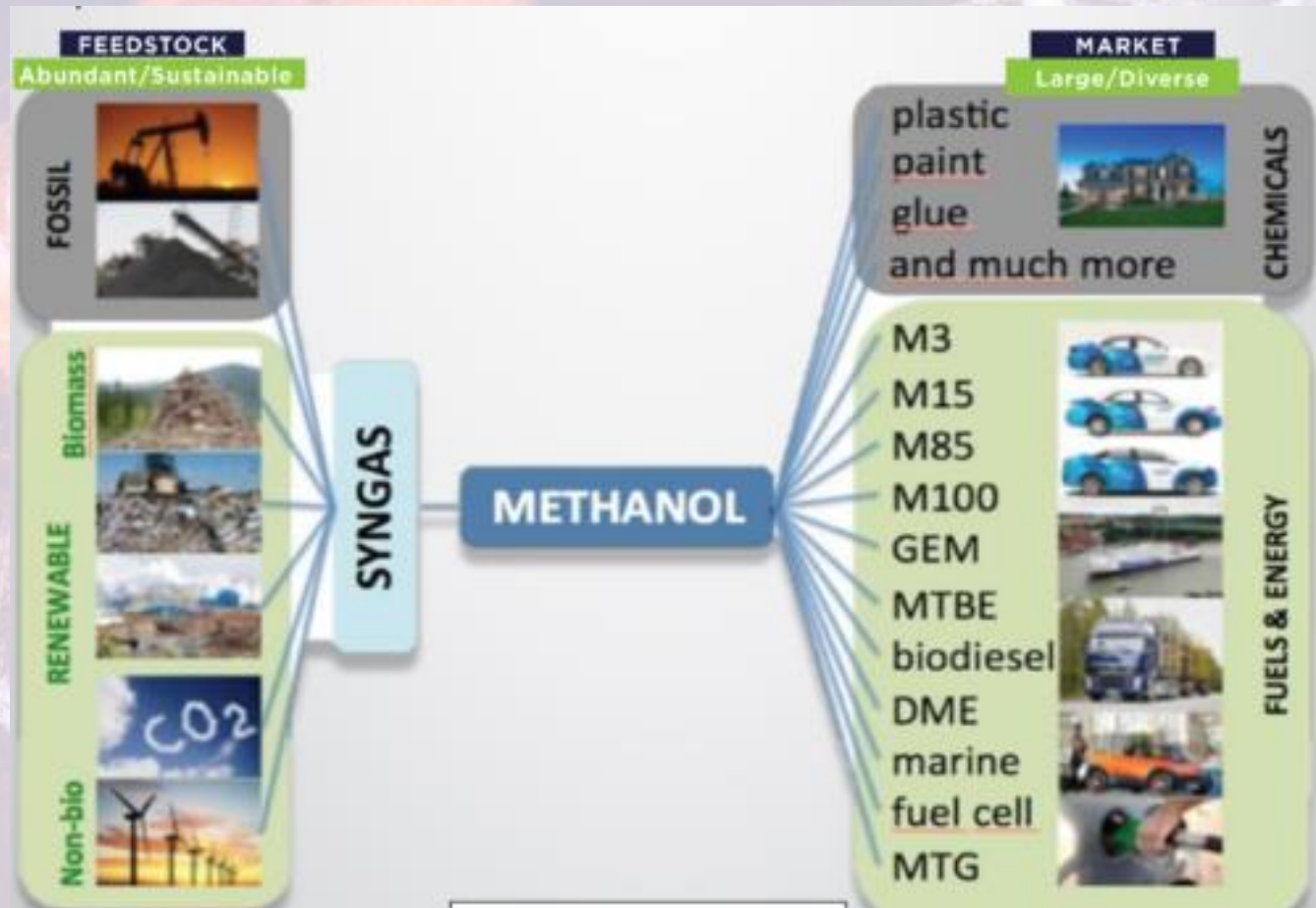
# A metanolgazdaság: a metanol mint üzemanyag és alapanyag

Forrás: Dr.Surya Prakash professzor előadása



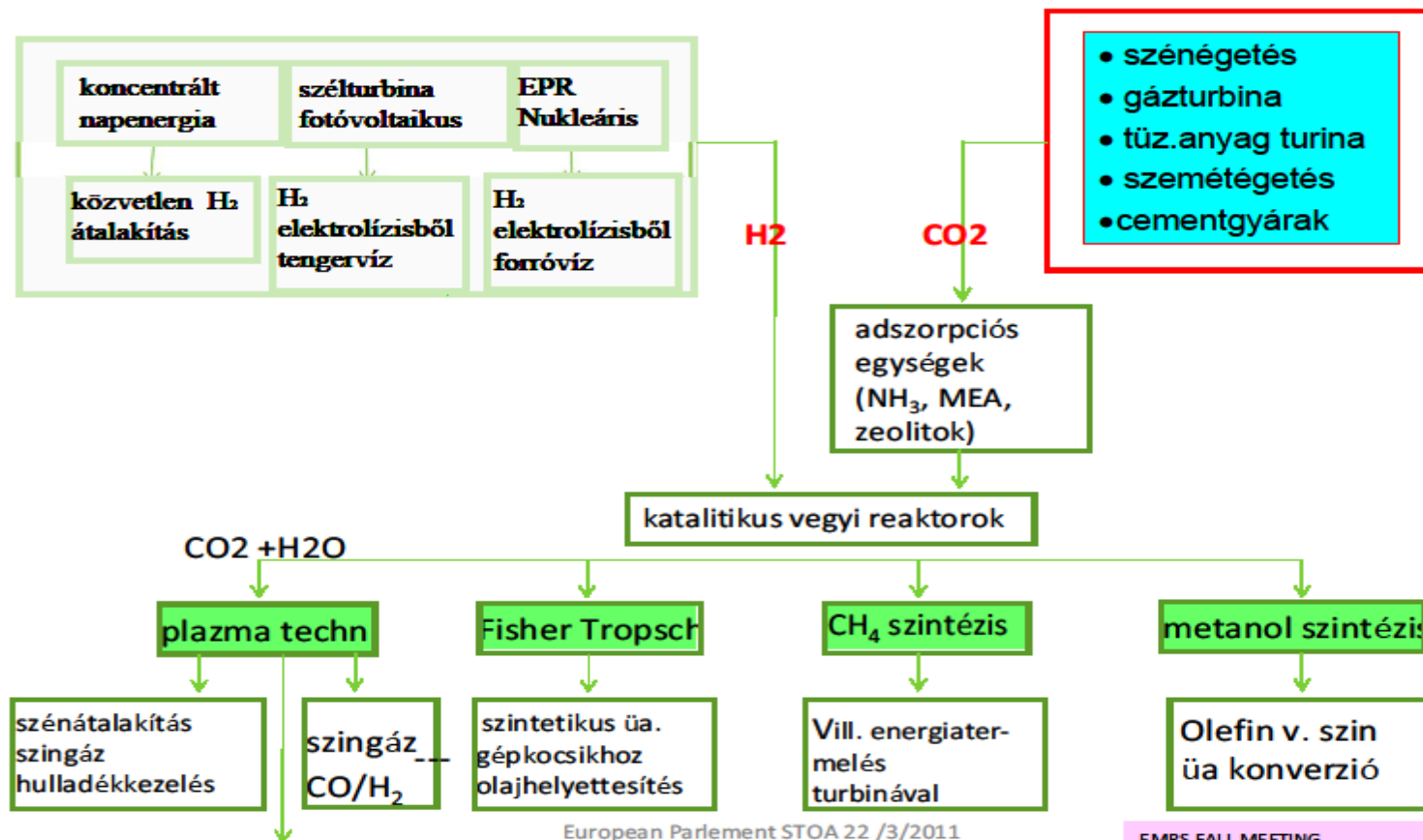
# A metanol gyártás lehetséges alapanyagai és a metanol piaci alkalmazásai

(Forrás: Methanol Institute honlap)



# Energiatárolási alternatívák a metanol segítségével

## Az energiatárolás lehetséges stratégiája

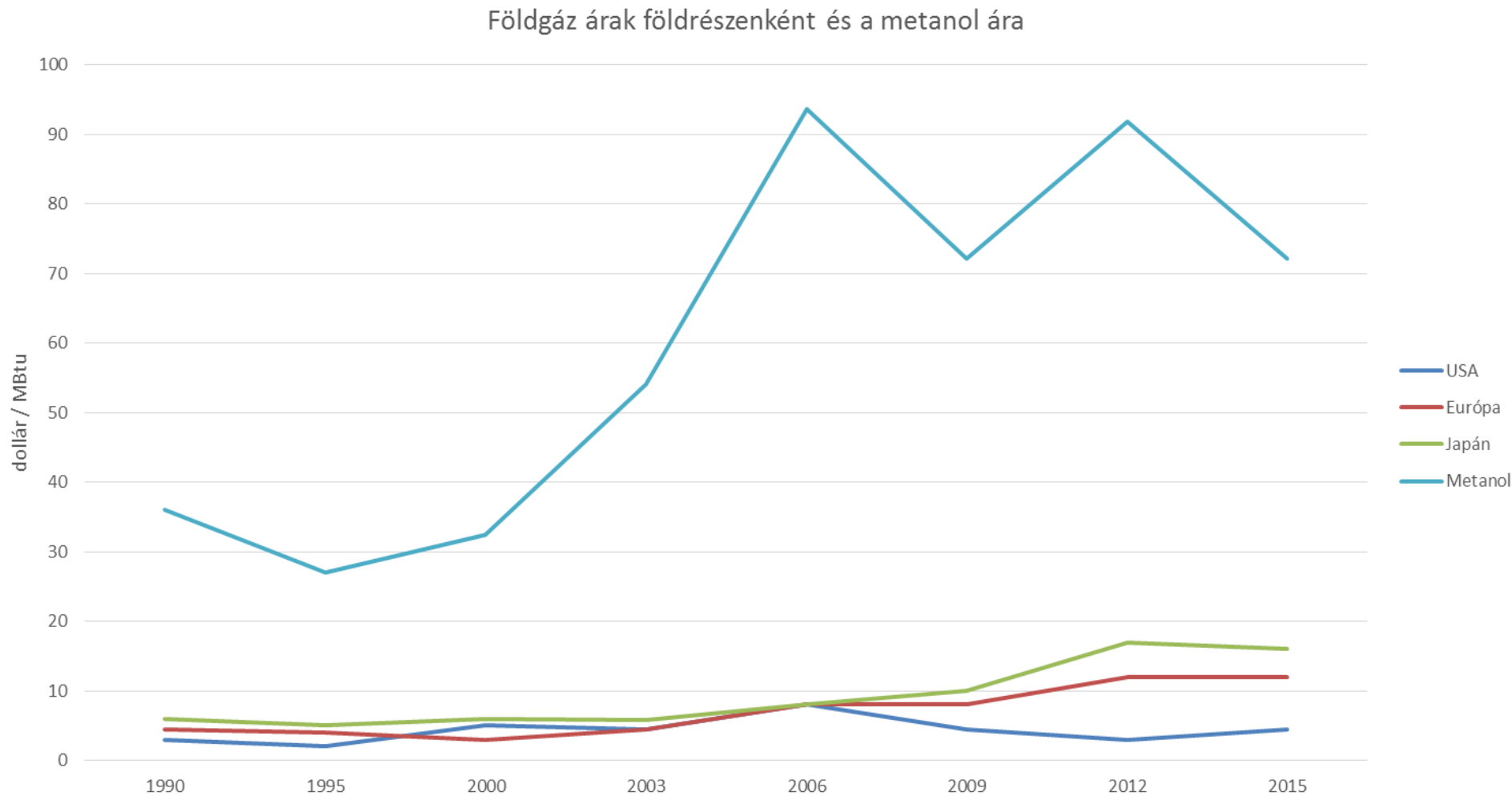


European Parliament STOA 22 /3/2011  
EMRS/UPMC

EMRS FALL MEETING  
Warsaw 13-15 sept 2010  
Symposium A

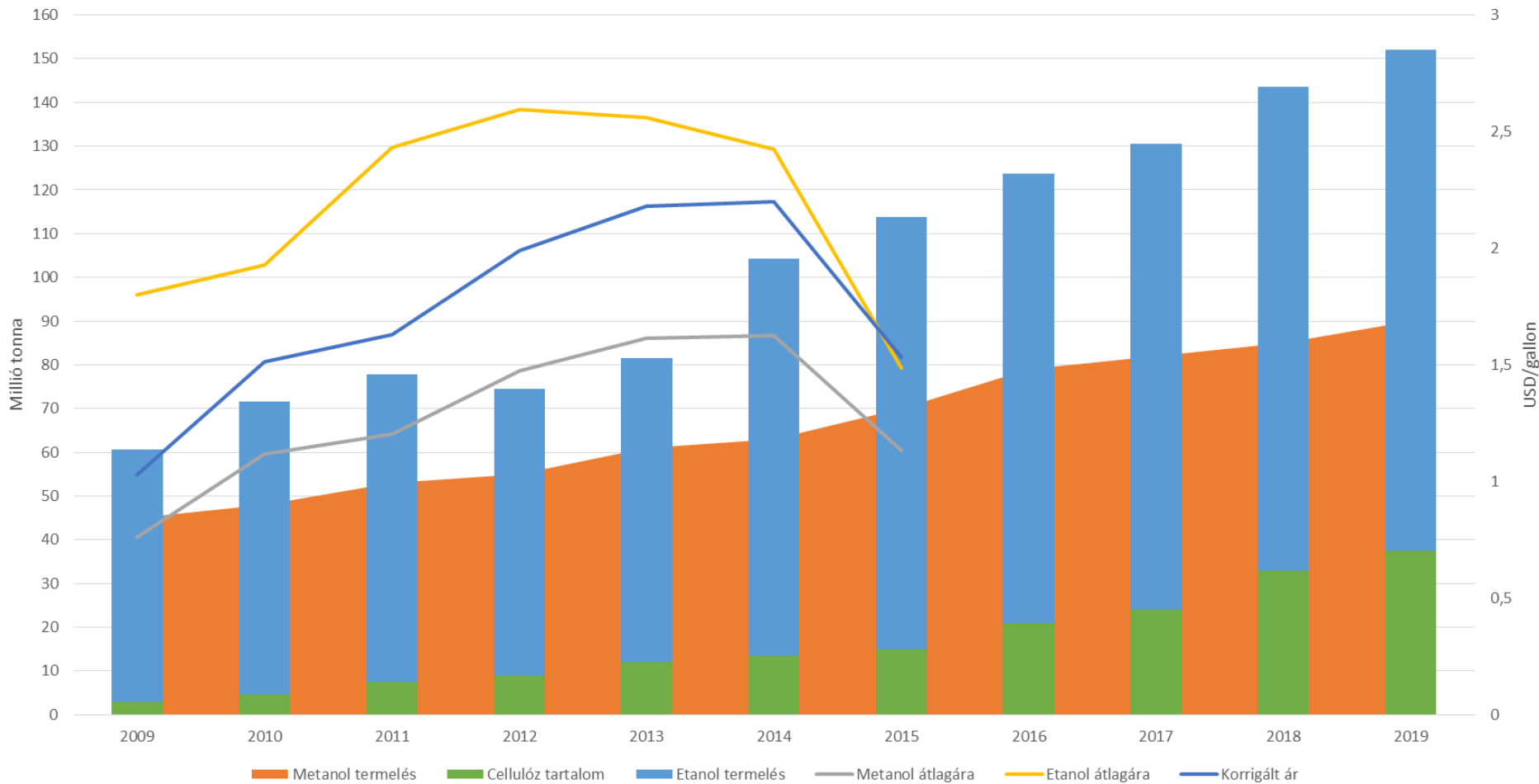


# Földgáz és metanol árak összevetése



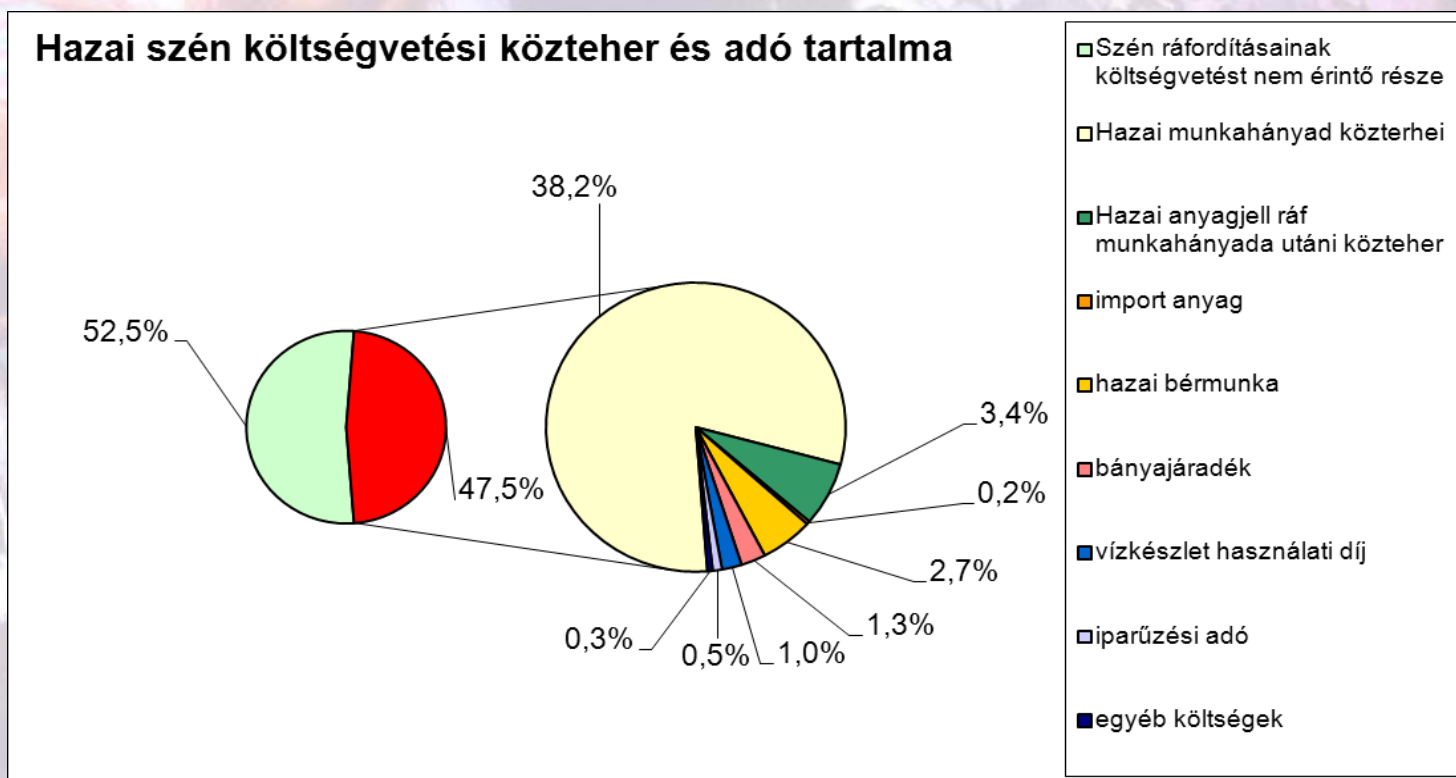
# A világ metanol és etanol termelése és az árak alakulása (saiát összeállítás)

A világ etanol és metanol termelése és átlagárai



# A hazai mélybányászat közvetlen élőmunka igényének költségvetési kapcsolata

Nemzetközi tapasztalati érték, hogy minden bányász munkahely kb. 4-5 másik munkahelyet generál



# A közvetlen és közvetett ÜHG kibocsátás az egyes fosszilis tüzelőanyagokra (Forrás: Fichtner, Rheinbraun)

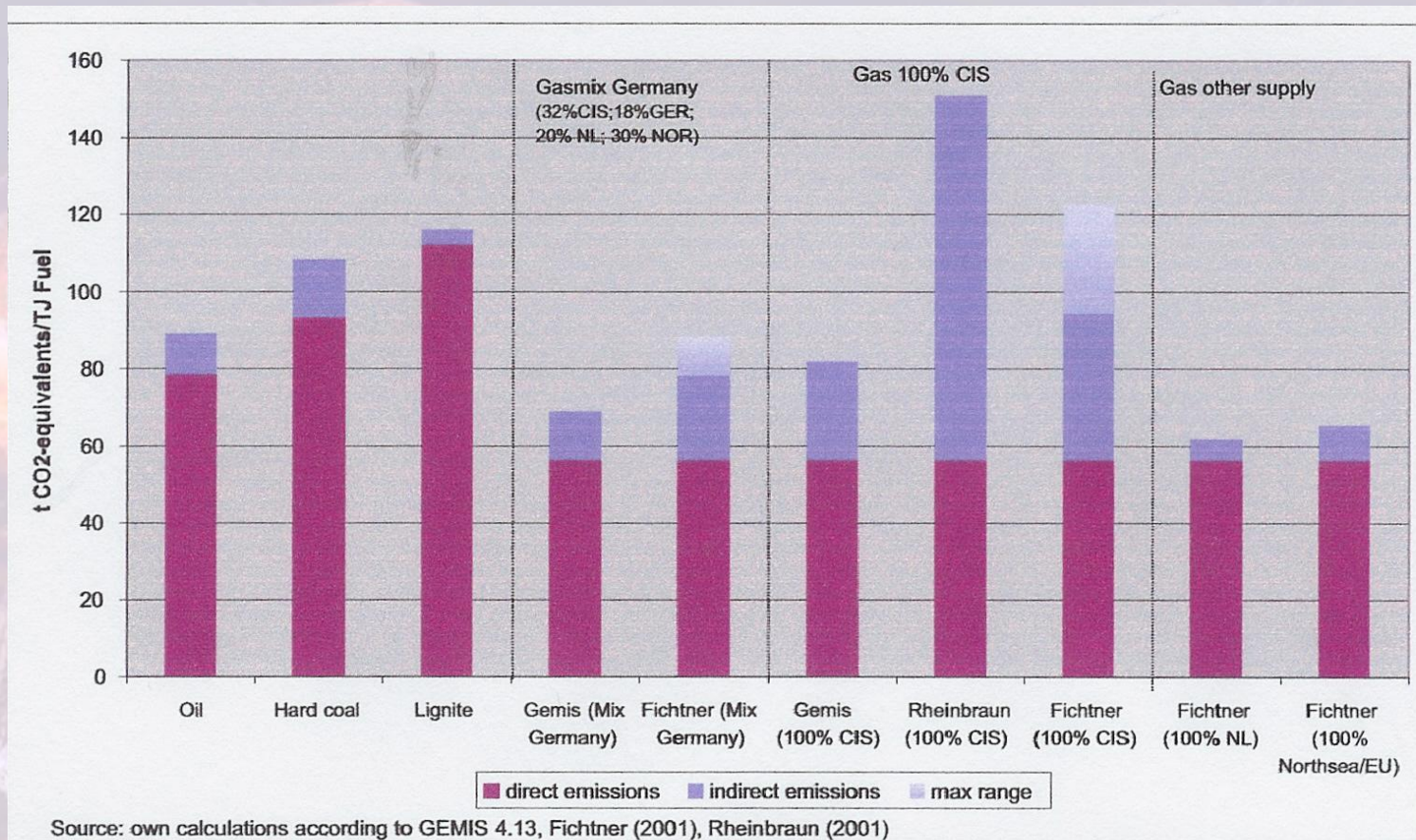
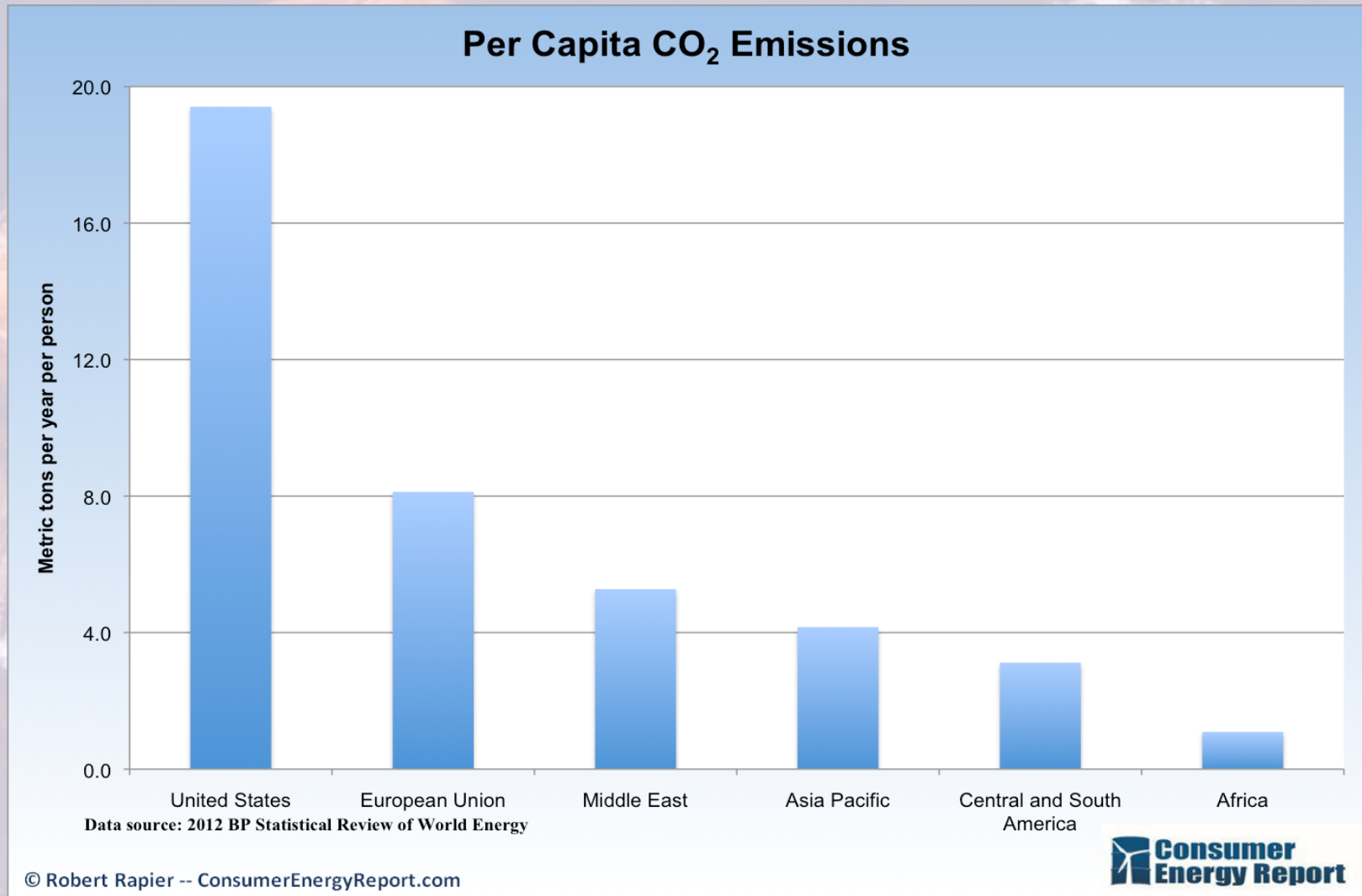


Fig. 2: Direct and indirect GHG-emissions (in CO<sub>2</sub>.equivalents) of different fuel-types in comparison with the emissions from the natural gas life cycle under different assumptions and LCA's

# Egy főre jutó CO<sub>2</sub> kibocsátás a világban

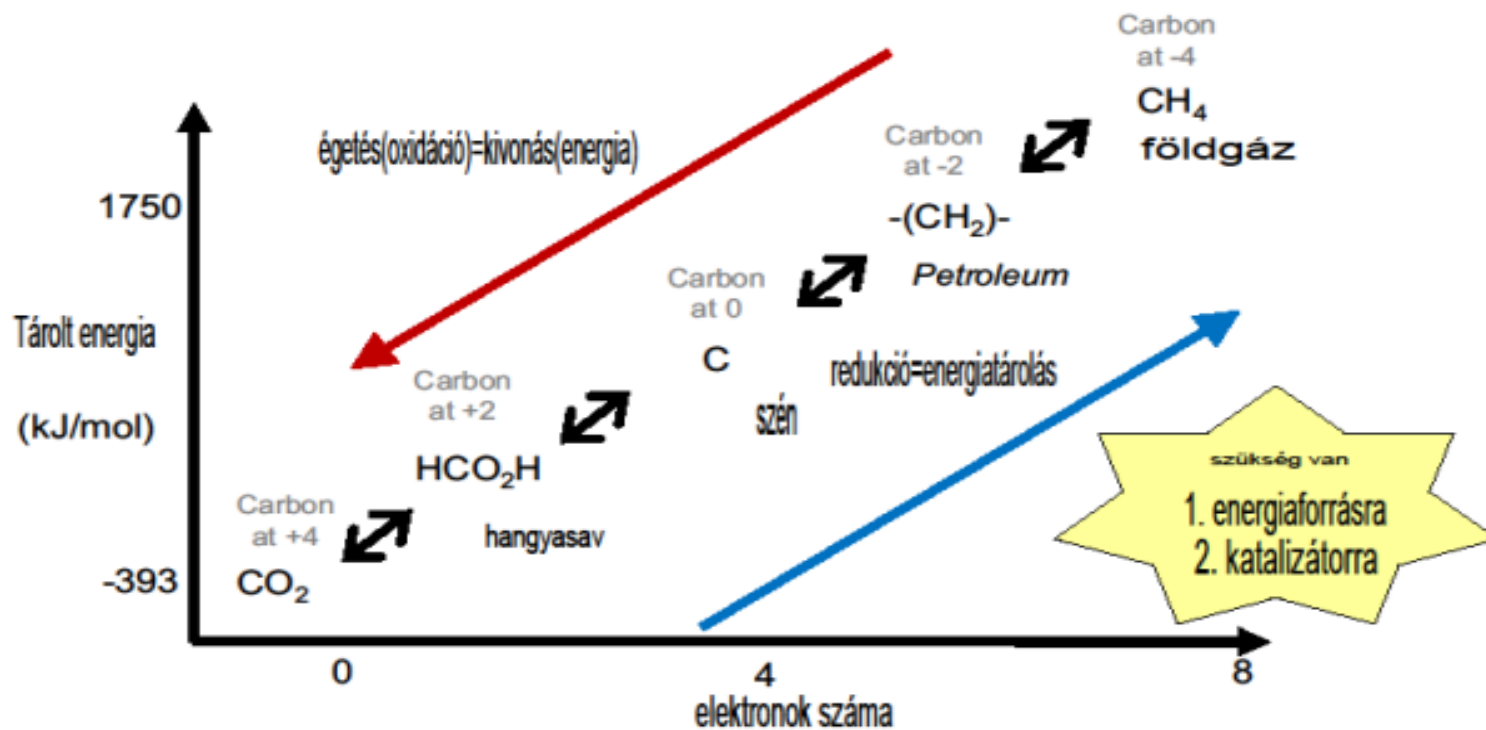




# A széndioxid átalakítása

(Prof Toone ARPA előadása STOA workshop)

A széndioxid redukálása egy hegymeneti reakció amelyhez egy redukáló anyagból elektronokra van szükség



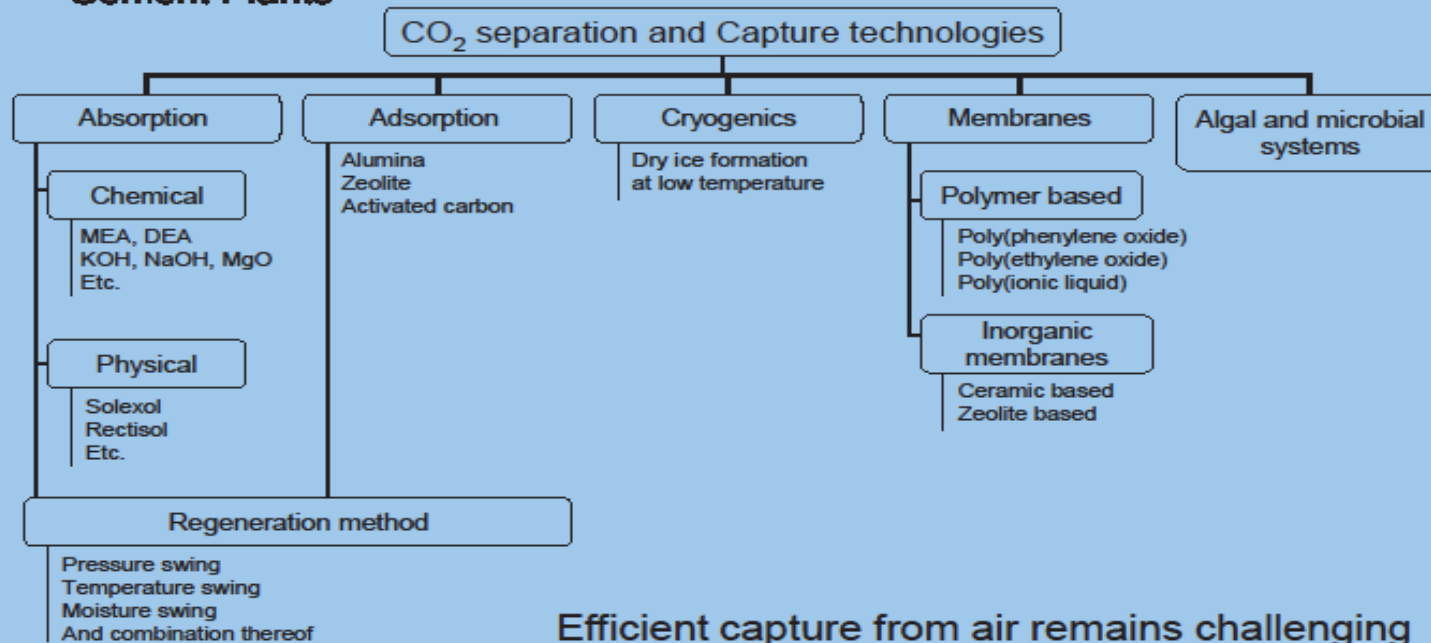
# CO<sub>2</sub> források és a leválasztás módszerei

(Forrás: Dr Surya Prakesh professzor előadása)

## Sources of CO<sub>2</sub>

Geothermal Vents  
Fermentation Processes  
Natural Gas Wells  
Cement Plants

Fossil Fuel Burning Power Plants  
Aluminum Plants  
Air Itself



# Széndioxid kutatási súlypontok

(Forrás: CLAIRE Saclay Institute of Excellence IEED , D. Clodic professzor)

## CO<sub>2</sub> Kutatási program a következő 10 évre

- **Átfogó kérdések**
  - CO<sub>2</sub> tisztaság
  - Értékes termékek
- **Közvetlen hasznosítás**
  - EOR
  - Mineralizáció
- **Vegyi átalakítás**
- **Biogáz a CO<sub>2</sub> és a CH<sub>4</sub> száraz reformációjá**
- **Biológiai utak**
  - Ciánbaktériumok és mikroalgák
- **Fotó és elektrokémia**
  - H<sub>2</sub> előállítás víz fotóelektrolízissel
- **Együttes CO<sub>2</sub> és H<sub>2</sub>O Fotóredukció**

Működő

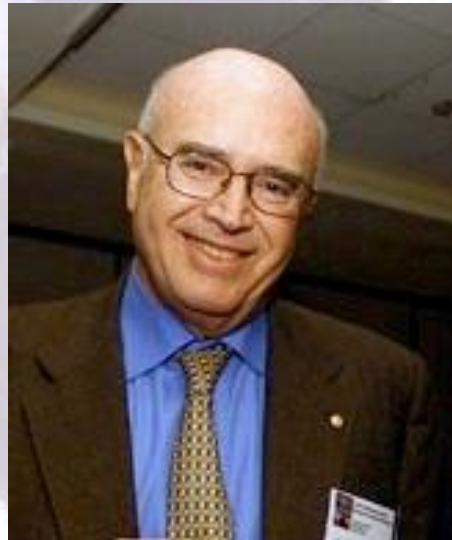


Jövőbeni



# Somorjai A. Gábor professzor Berkeley Egyetem

egyik fő kutatási területe a katalizátortechnológia



# Katalizátortechnológia a CO<sub>2</sub> átalakítására

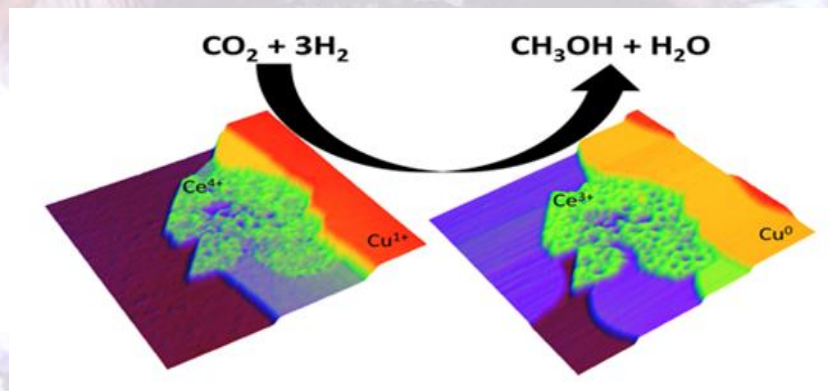
Forrás: Berkeleylab

[https://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=YNPiA5R0I-M](https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=YNPiA5R0I-M)

Különböző katalizátortípusok vannak a piacon TiO<sub>2</sub>, Fe, Cu, CeOx bázisú és sok más

Először a szénmonoxidot átalakító katalizátorok kerültek a piacra, amelyek csak kevésbé voltak alkalmasak a CO<sub>2</sub> átalakítására. Ma már egyre több katalizátor van a piacon a kevésbé reaktív CO<sub>2</sub> átalakítására is.

A katalizátortechnika folyamatosan fejlődik. Míg az Oláh György féle TiO<sub>2</sub> katalizátoron a CO<sub>2</sub> és a H<sub>2</sub> gázmolekulák egyesítéséhez 573°C és 50 bar nyomásra van szükség. Berkeleyben labor méretben megjelent a CeOx-Cu katalizátor, ami 300 °C és 5 bar nyomáson működik, és elvi lehetőségét kutatják a zeolit alapú katalizátoroknak, amik akár 450 °C-on normál nyomáson végeznék el az átalakítást.



Forrás: Berkelylab

A CO<sub>2</sub> és a hidrogén gázmolekulák átalakítása metanollá és vízzé Cerium-oxid és réz katalizátoron (CeOx-Cu) elektronmikroszkópos felvételen. Hidrogén jelenlétében a Ce<sup>4+</sup> és a Cu<sup>1+</sup> redukálódik Ce<sup>3+</sup>-ra és Cu<sup>0</sup>-vá, miközben a katalizátor felülete megváltozik.



# Metanolgyár Svartsengi Izland

(saját felvétel)



# A tiszta szénteknológia és Magyarország lehetőségei 1

- Nagy szénbányászati hagyományokkal rendelkezik az ország és valamelyes szénkémiai tapasztalattal is, 1960-as években még több mint évi 1 millió tonna került elgázosításra
- 1979-ben az OKGT és utoljára 1986-ban a KBFI készített részletes tanulmányt
- (Veszprémi Egyetem szénkémiai tanszék, BME vegyipari technológiai tanszék stb.) Péten 1929-ben már szénből benzin készült a városi gázgyártás széles körben folyt az erőműi tüzelésről nem beszélve. Nehézvegyipari gyakorlat a mai napig fennmaradt
- Erőműi alkalmazás gazdaságosan nem lehetséges, mert a magyar energetikai rendszerhez nem illeszkedik a gazdaságos blokkméret, a rendszer árait a külföldről importált környezetvédelmi előírásokkal nem terhelt valamint a hazai amortizációs/beruházási költséget nem számoló erőműi árak határozzák meg. A CO<sub>2</sub> árak pedig nem fedezik a környezetvédelmi elvárások technológiai költségeit. Vannak előírások, de annak piaci fedezete nincs.
- A legújabb trendek az új technológiák régiékhöz való illesztéséről szólnak az ún. Annex koncepció
- Ha nem vennénk figyelembe a CO<sub>2</sub> kibocsátás kérdését (EU 3000- 3100 TWh elektromos energiatermelésből kb. 1000 TWh szénalapú, Csehország 90 TWh ból 58 TWh, Németország 600 TWh-ból kb. 270 TWh, Magyarország 40 TWh ból 6,5TWh (gyakorlatilag a Mátrai erőmű és ez kb. 2500 ember munkájával évi kb. 250 millió USD /36 €/Mwó alapon/ energiainportot vált ki) akkor sem lenne gazdaságos a szénbázisú villamos energiatermelés új beruházásban a jelen körülmények között az ismert technológiákkal. A magyar energiastratégia, ami nukleáris és megújuló energiákra valamint a szénre támaszkodik megvalósítási lehetőségei az alábbiak:

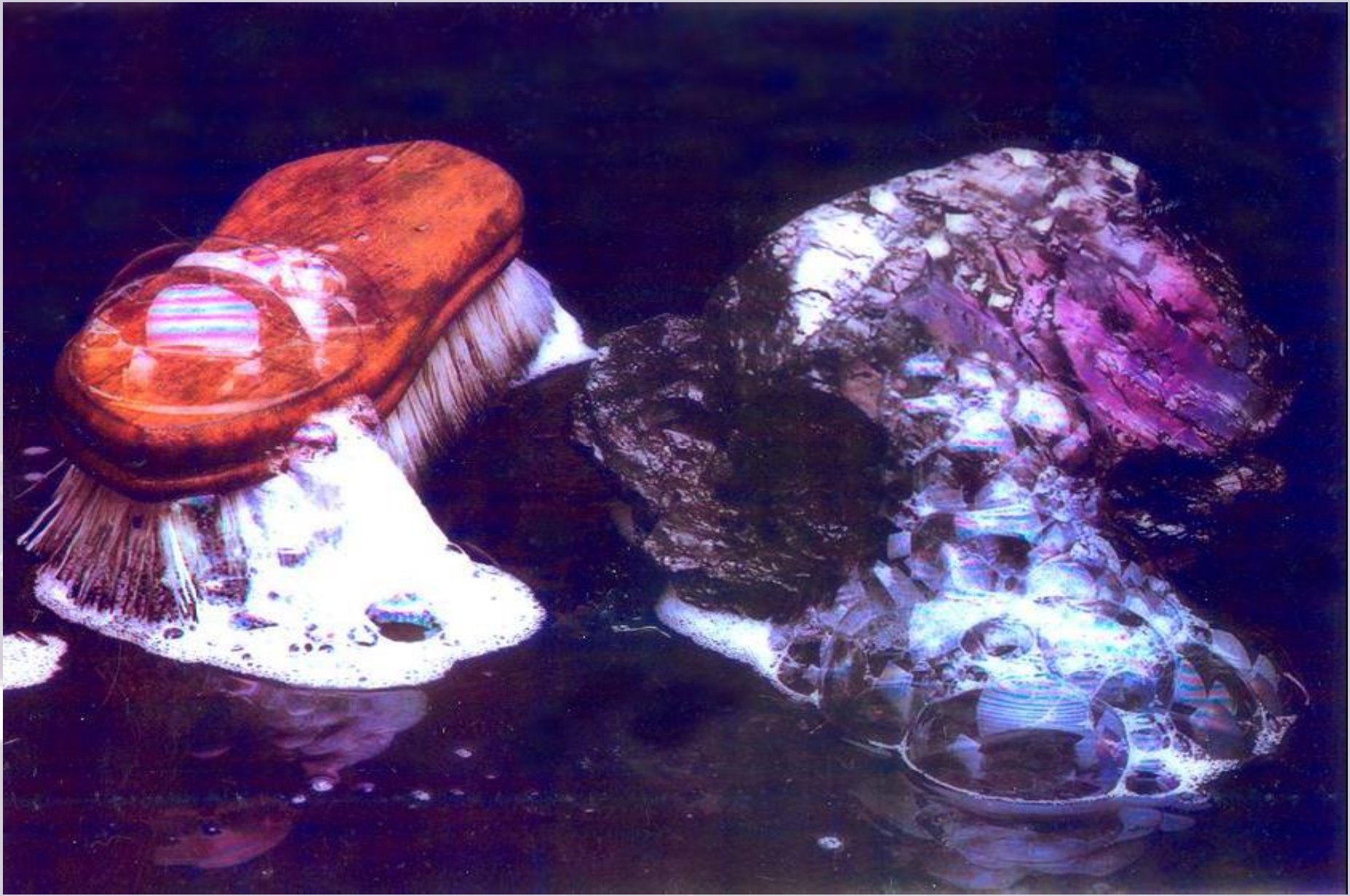


# A tiszta szénteknológia és Magyarország lehetőségei 2

- - a jelenlegi Európai politikát a CO<sub>2</sub> kvótáról a magyar érdekeknek megfelelően kell értelmezni (pl. életciklus, saját magyar viszonyokra értelmezve (nem az IPCC szerinti lokális emisszió kb.100 ezer € )
  - már most is az EU átlaga alatt vagyunk jelentősen, nincs oka annak, hogy nagy pénzekért tovább menjünk az úton
  - a meglévő erőmű üzemeltartamának hosszabbítása gazdaságilag is reális alternatíva
  - új létesítményt csak alapvetően új technológiára, határfokra és emisszió kezelésre lehet alapozni
  - a CO<sub>2</sub> emisszió hatásának kérdéses voltán túl nyersanyagként kell rá tekinteni és nem szabad elvesztegetni
  - az energia stratégia mellett nyersanyag stratégiára lenne szükség a komplex., integrált szemlélet miatt
- A CO<sub>2</sub> kibocsátás kérdéséhez, azért is pragmatikusan kellene hozzáállni, mivel az IPCC előírások nem a teljes életciklus kibocsátást veszik figyelembe, hanem csak a határon belülit, így az importált energiahordozók alkalmazása nem járul hozzá az amúgy is vita alatt lévő klímahatás mérsékléséhez, mert globális mértékben nem következik be csökkenés sőt. (ld. Életciklus ábra) Németország 11 GW szenes erőművet épít ez a teljes magyar erőműi kapacitás majd duplája
- A vegyipar nagy beruházásokat igényel, de hosszú távú gazdaságossága látszik. Alapvető kritérium még, hogy a szén mint bányatermék feldolgozásra kerüljön ipari alapanyaggá és komplex módon kerüljön hasznosításra, azaz az eddig meddőnek tekintett rész is
- A metanol gazdaság bevezetése lehetővé teszi a villamos energiarendszer a vegyipar a szénbányászat a hulladékgyártás és a biomassza valamint a CO<sub>2</sub> alapanyagként való hasznosításának együttes kezelését







CALAMITES





- **K Ö S Z Ö N Ö M A F I G Y E L M E T !!!**

- **KALMÁR ISTVÁN**

- **Email: *kalmari at calamites.hu***

