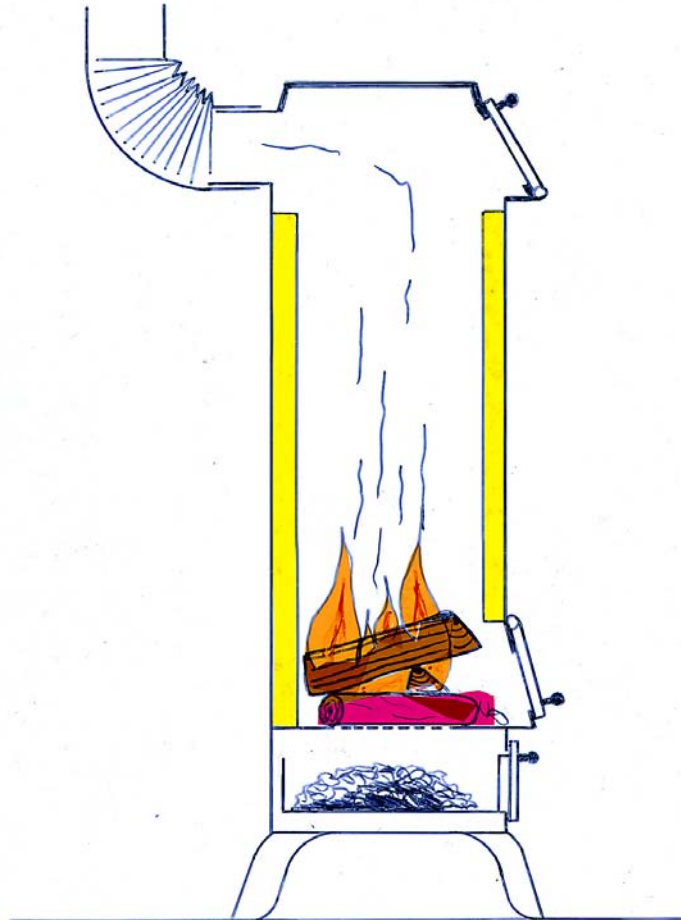
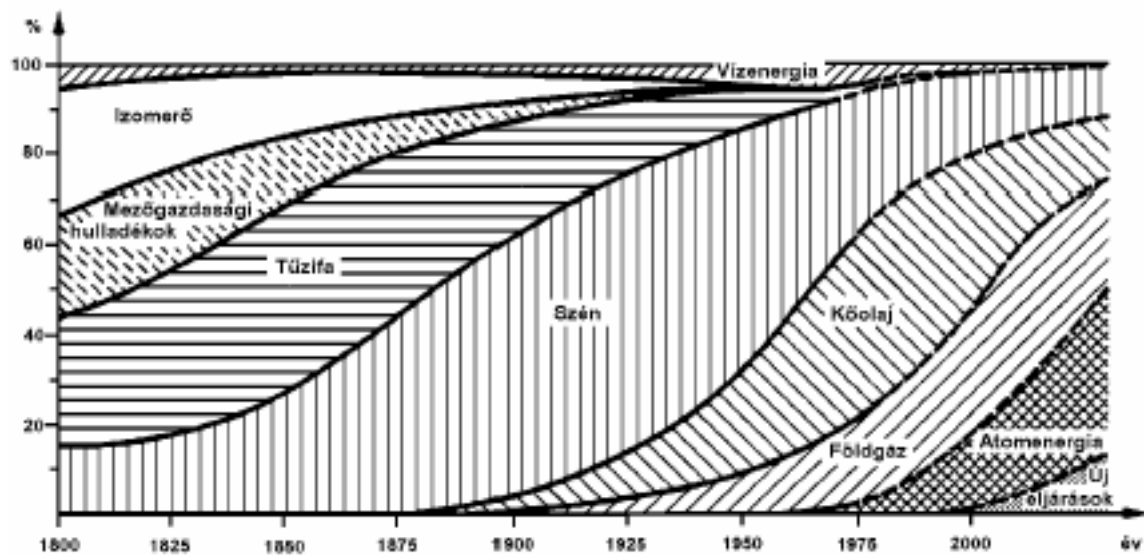
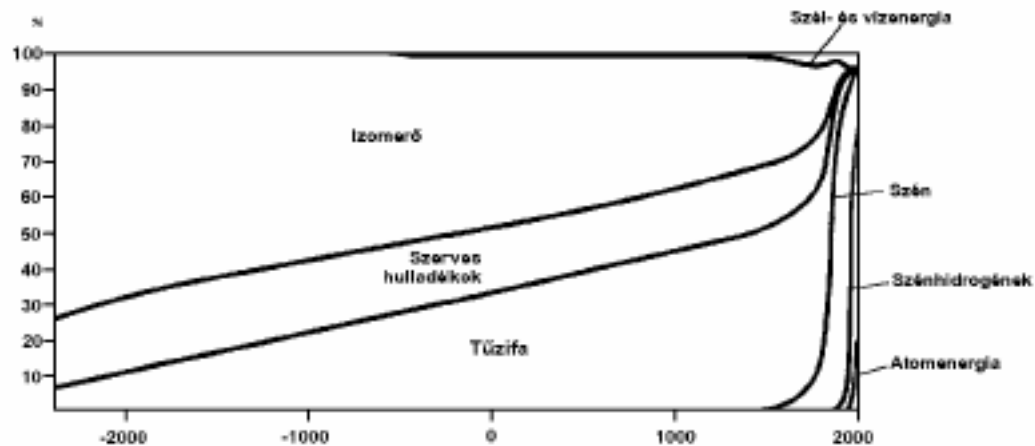


## Energiatermelés 4.

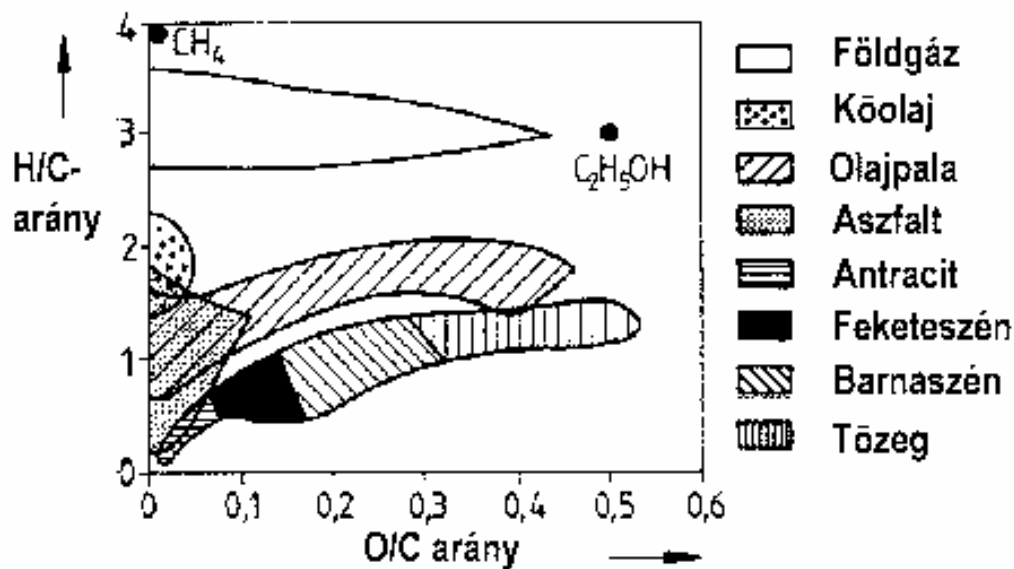
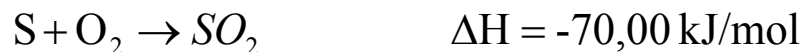
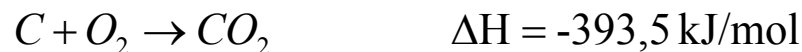
# TÜZELÉSTECHNIKAI ALAPISMERETEK



# Tüzelőanyagok



Az energiatermelés során leggyakrabban tüzelőanyagként kőszén (feketeszenet), barnaszén, kőolajszármazékokat, gázokat, tőzeget és biomasszát alkalmaznak a hőfejlesztéshez. Ezen tüzelőanyagok mellett éghető ipari hulladékok és háztartási szemét is szóba jöhetnek. A legfontosabb égetési reakciók minden ilyen tüzelőanyag esetén a következő exoterm reakciók:



Mindegyik tüzelőanyag elemi összetétele, égéshője és fűtőértéke alapján minősíthető. Az elemi összetételben fontos elemek, anyagok és vegyületek a C, H, S, O, N, H<sub>2</sub>O és hamu.

Az 1. ábra a fontosabb tüzelőanyagokat csoportosítja a H/C és O/C arány szerint, Az 1-2. táblázatok pedig az összetételről nyújtanak információt.

## Szilárd, cseppfolyós (tömeg%) és gáz (tf%) halmazállapotú tüzelőanyagok összetétele

	Hamu	Víz	C	H	S	O	N	Égéshő (kJ/kg)
Kőszén (antracit)	4	1	85,4	3,8	1,2	2,3	2,3	33390
Kőszén (gázkőszén)	3,7	3,5	77,3	5	1	8,5	1	30000
Koks	9	1,8	84	0,8	1	1,7	1,7	29310
Barnaszén (nyers)	2,7	59,3	23	1,9	1,6	6	6,1	8000
Benzin	-	-	85,6	14,35	0,05	-	-	43 500
Tüzelőolaj (könnyű)	-	0,1	85,5	13,5	0,9	-	-	42600
Tüzelőolaj (nehéz)	1	0,5	84	11,7	2,8	-	-	40 500
<b>Földgáz</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (stb.)</b>	<b>Égéshő (kJ/kg)</b>	
Hidrogén		100					10 760	
Szénmonoxid			100				12640	
Metán	100						35 795	
Földgáz (holland, orosz)	80,9	-	-	0,8	14,4	3,9	32 000	
Kokszoló gáz	25	55	6	2	10	2	17375	
Kohó (torok) gáz	0,3	2	30	8	59,7	-	3975	

Természetesen ezek az értékek erősen változnak a származási hely függvényében. Tájékoztatásul a fa mint tüzelőanyag 10-30 m% nedvességet, 0.5 m% hamut és 62-75 m% illékony komponenst tartalmaz, fűtőértéke 10.500-16800 kJ/kg. A személtalajú tüzelőanyagok jelentősége nő a tüzeléstechnikában, összetétel szempontjából igen heterogének, hamutartalmuk 22-60 m%, víztartalmuk 10-50 m%, fűtőértékük pedig 3350-11700 kJ/kg.

Az égéshő és fűtőérték közti összefüggés szilárd és folyékony tüzelőanyagok esetén:

$$F = E - r X_{H_2O}$$

ahol

$r$  - 2443 kJ/kg a víz párolgási (kondenzációs) hője 25 °C -on

$X_{H_2O}$  -a víztartalom tömeghányada a tüzelőanyagra vonatkoztatva (eredeti víztartalom+keletkezett víz)

Gázhalmazállapotú tüzelőanyagok esetén a normáltérfogatra vonatkoztatott fűtőértéket alkalmazzák:

$$F_N = E_N - r_N X_{H_2O}$$

ahol

$r_N$  - 1990 kJ/Nm<sup>3</sup> a víz normáltérfogatra vonatkoztatott párolgási (kondenzációs) hője 25 °C -on.

Szilárd és cseppfolyós tüzelőanyagok fűtőértéke az elemi összetétel függvényében számítható az alábbi összefüggéssel:

$$F = 34,8 X_C + 93,9 X_H + 10,5 X_S + 6,3 X_N - 10,8 X_O - 2,5 X_{H_2O} \quad [\text{MJ/kg}]$$

Gázhalmazállapotú tüzelőanyagok fűtőértéke a térfogatszázalékos összetétel ismeretében számítható:

$$F = (10,8 H_2 \text{ tf}\% + 12,6 CO \text{ tf}\% + 35,8 CH_4 \text{ tf}\% + 60 C_2H_4 \text{ tf}\% + 71,2 C_nH_m \text{ tf}\%) / 100$$

[MJ/Nm<sup>3</sup>]

### Tüzeléstechnikai számítások

Az égési folyamatok mennyiségi leírása a technikai tüzelőrendszerekben az egyensúlyi, áramlási, és reakciókinetikai paraméterek és a számos technikai környezeti feltétel bonyolultsága miatt rendkívül nehéz. Így a legtöbb esetben csak rendkívül leegyszerűsített folyamatokat vesznek figyelembe. Ezen egyszerűsített modell sémája látható a 2. ábrán.

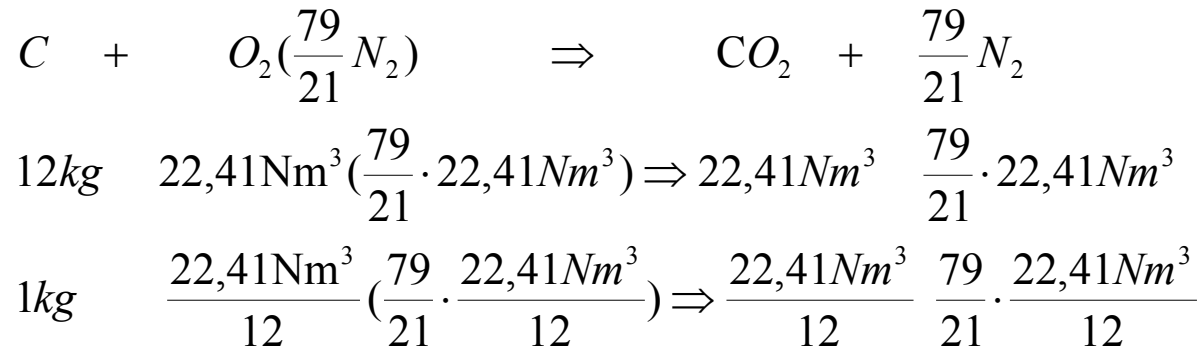
2. ábra

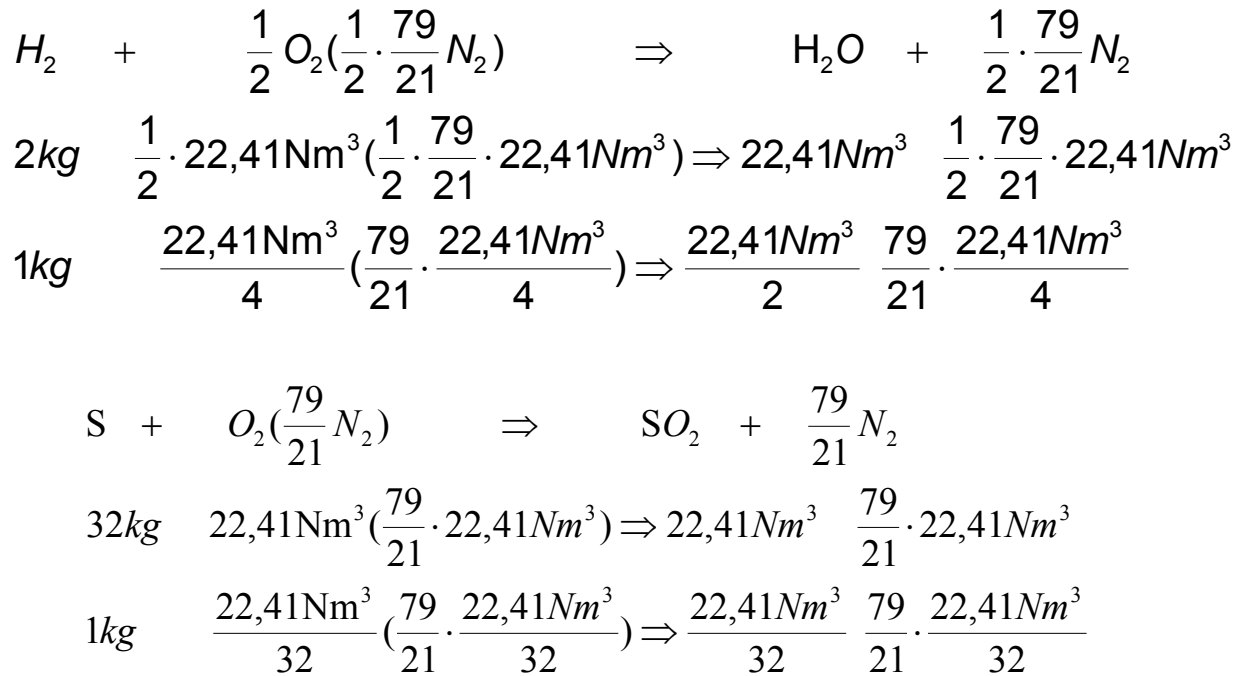


Ennek alapján az egyes komponensek égési reakcióinak sztöchiometriája segítségével kiszámíthatók a szükséges levegőmennyiségek, a keletkezett füstgázmennyiségek és összetételek. A három legfontosabb elemi komponens (C, H, S) égési reakciói elméleti, sztöchiometrikus esetben:

### Elméleti levegőszükséglet ( $L_o$ , $Nm^3$ levegő/kg tüzelőanyag)

A tüzelőanyag elemi összetételének (szén-, hidrogén- és általában kéntartalmának) ismeretében, az égési reakciók alapján kiszámítható 1kg tömegű tüzelőanyag tökéletes elégetéséhez szükséges oxigén, ill. ezen keresztül a szükséges levegő mennyisége.





**A normál köbméter (Nm<sup>3</sup>) a 0°C-os (273,15K) és 1,013bar (101,32kPa) nyomású gáz térfogategysége. A levegő átlagosan 21 tf% oxigént tartalmaz. A levegő térfogatát megkapjuk, ha a benne levő oxigén térfogatát 100/21 = 4,76-tal megszorozzuk.**

**Ezért az egyes elemi alkotók oxigénszükségletét 4,76-tal szorozva és a tüzelőanyag elemi összetételével súlyozva a tüzelőanyag tökéletes égéséhez szükséges elméleti levegőmennyiséget kapjuk:**



**Összegezve az égési egyenletek baloldalán kijelölt műveleteket:**

$$L_0 = \frac{100}{21} \frac{22,41 \text{ Nm}^3 \text{ levegő}}{12 \text{ kgszén}} \cdot C \frac{\text{kgszén}}{\text{kgtüz.anyag}} + \frac{100}{21} \frac{22,41 \text{ Nm}^3 \text{ levegő}}{4 \text{ kghidrogén}} \cdot H \frac{\text{kghidrogén}}{\text{kgtüz.anyag}} +$$

$$\frac{100}{21} \frac{22,41 \text{ Nm}^3 \text{ levegő}}{32} \cdot S \frac{\text{kgkén}}{\text{kgtüz.anyag}}$$

**Elvégezve a számításokat:**

$$L_0 = 8,876 \cdot X_C + 2,44 \cdot X_H + 3,32 \cdot X_S \quad (\text{Nm}^3 \text{ kg levegő/kg tüzelőanyag})$$

**Elméleti (száraz és nedves) füstgáz-mennyiség**  
**( $V_{sz}^0$ ,  $V_n^0$ ,  $\text{Nm}^3$  füstgáz/kg tüzelőanyag)**

**Az elméleti száraz füstgáz  $\text{CO}_2$ -t,  $\text{SO}_2$ -t és  $\text{N}_2$ -t tartalmaz, míg a nedves füstgázban a vízgőz is benne van. Az elméleti levegőmennyiség számításánál használt gondolatmenetet követve az égési egyenletek jobb oldalán lévő összefüggések alapján az alábbi számítási formulákhoz jutunk:**

$$V_{sz}^0 = \frac{100}{21} \frac{22,41 \text{ Nm}^3 \text{ füstgáz}}{12 \text{ kgszén}} \cdot C \frac{\text{kgszén}}{\text{kgtüz.anyag}} + \frac{79}{21} \frac{22,41 \text{ Nm}^3 \text{ füstgáz}}{4 \text{ kghidrogén}} \cdot H \frac{\text{kghidrogén}}{\text{kgtüz.anyag}} +$$

$$\frac{100}{21} \frac{22,41 \text{ Nm}^3}{32} \frac{\text{Nm}^3 \text{ füstgáz}}{\text{kgkén}} \cdot S \frac{\text{kgkén}}{\text{kgtüz.anyag}}$$

$$V_0^n = \frac{100}{21} \frac{22,41}{12} \frac{Nm^3 \text{ f\u00f3zstg\u00e1z}}{kg \text{ sz\u0152n}} \cdot C \frac{kg \text{ sz\u0152n}}{kg \text{ t\u00f3z.anyag}} + \frac{121}{21} \frac{22,41}{4} \frac{Nm^3 \text{ f\u00f3zstg\u00e1z}}{kg \text{ hidrog\u0152n}} \cdot H \frac{kg \text{ hidrog\u0152n}}{kg \text{ t\u00f3z.anyag}}$$

$$+ \frac{100}{21} \frac{22,41}{32} \frac{Nm^3 \text{ f\u00f3stg\u00e1z}}{kgk\u00e9n} \cdot S \frac{kgk\u00e9n}{kg \text{ t\u00f3z.anyag}} + \frac{22,41}{18} \frac{Nm^3 \text{ f\u00f3stg\u00e1z}}{kgv\u00edz} \cdot H \frac{kg \text{ hidrog\u00e9n}}{kg \text{ t\u00f3z.anyag}}$$

(1kg v\u00edzb\u0151l 1,23 Nm<sup>3</sup> v\u00edzg\u0151z lesz, ahol H<sub>2</sub>O a t\u00fazel\u0151anyag eredeti nedvess\u00e9gtartalma.)

Elv\u00e9gezve a kijel\u0151lt sz\u00e1m\u00edt\u00e1sokat

$$V_0^{sz} = 8,876 \cdot X_C + 21,07 \cdot X_H + 3,32 \cdot X_S$$

$$V_0^n = 8,876 \cdot X_C + 32,0 \cdot X_H + 3,32 \cdot X_S$$

## L\u00e9gfeleslegt\u00e9nyez\u0151 (n)

A t\u00fazel\u0151anyag t\u0151k\u00e9letes el\u00e9get\u00e9s\u00e9hez az elm\u00e9letin\u00e9l nagyobb mennyis\u00e9g\u00fc lev\u00e9g\u0151t kell felhaszn\u00e1lni. A t\u00f3b\u0151letlev\u00e9g\u0151t l\u00e9gfeleslegt\u00e9nyez\u0151vel (n) fejezz\u00fc ki, amely megadja, hogy a t\u00e9nylegesen felhaszn\u00e1lt lev\u00e9g\u0151 (L) h\u00e1nyszorososa az elm\u00e9leti lev\u00e9g\u0151sz\u00fcks\u00e9gletnek (L<sub>0</sub>).

$$n = \frac{L}{L_0}$$

A felesleges lev\u00e9g\u0151 v\u00e1ltoz\u00e1s n\u00e9lk\u00fc\u0151l halad \u00e1t a t\u00fazel\u0151szerkezeten, a t\u00fazt\u00e9r h\u0151m\u00e9rs\u00e9klete nem t\u00fal magas. (Ellenkez\u0151 esetben a lev\u00e9g\u0151 nitrog\u00e9nje r\u00e9szben nitrog\u00e9n-oxidokk\u00e1 alakul!).

A légszükséglet tényezőt gyakorlatilag a füstgáz elemzési adataiból ( $O_2$  és  $CO_2$  tartalmából) tudjuk kiszámítani.

*A száraz füstgázok  $O_2$ -tartalmából levegyszerűbben:*

$$n = \frac{21}{21 - O_{2 \text{ mér t}}}$$

képlettel, pontosabban pedig

$$n = 1 + \left[ \frac{V_0^{sz}}{L_0} \cdot \frac{O_{2 \text{ mŽrt}}}{21 - O_{2 \text{ mŽrt}}} \right]$$

számíthatjuk.

*A száraz füstgázok  $CO_2$ -tartalmából pedig:*

$$n = 1 + \left[ \frac{V_0^{sz}}{L_0} \cdot \frac{CO_{2 \text{ max}} - CO_{2 \text{ mŽrt}}}{CO_{2 \text{ mŽrt}}} \right]$$

Ez utóbbi képletek használatához az elméleti levegősükséglet ( $L_0$ ) és a keletkező száraz füstgáz térfogat ( $V_0^{sz}$ ) értékén kívül ismerni kell a füstgázok maximális  $CO_2$  tartalmát is. A  $CO_{2 \text{ max}}$  a füstgáz széndioxid tartalma abban az elméleti esetben, ha  $L_0$  elméleti levegősükséglet mellett az összes szén  $CO_2$ -dá ég el. A füstgázban keletkező maximális  $CO_2$  tartalom értékét a tüzelőanyag karbon-tartalmából és az elméleti száraz füstgázból ( $V_0^{sz}$ ) számíthatjuk:

$$CO_{2 \text{ max}} = \frac{22,41 \text{ Nm}^3 CO_2}{12 \text{ kg szén}} \cdot C \frac{\text{kg szén}}{\text{kg tüz. anyag}} \cdot \frac{V_0^{sz} \text{ Nm}^3 \text{ füstgáz}}{\text{kg tüz. anyag}}$$

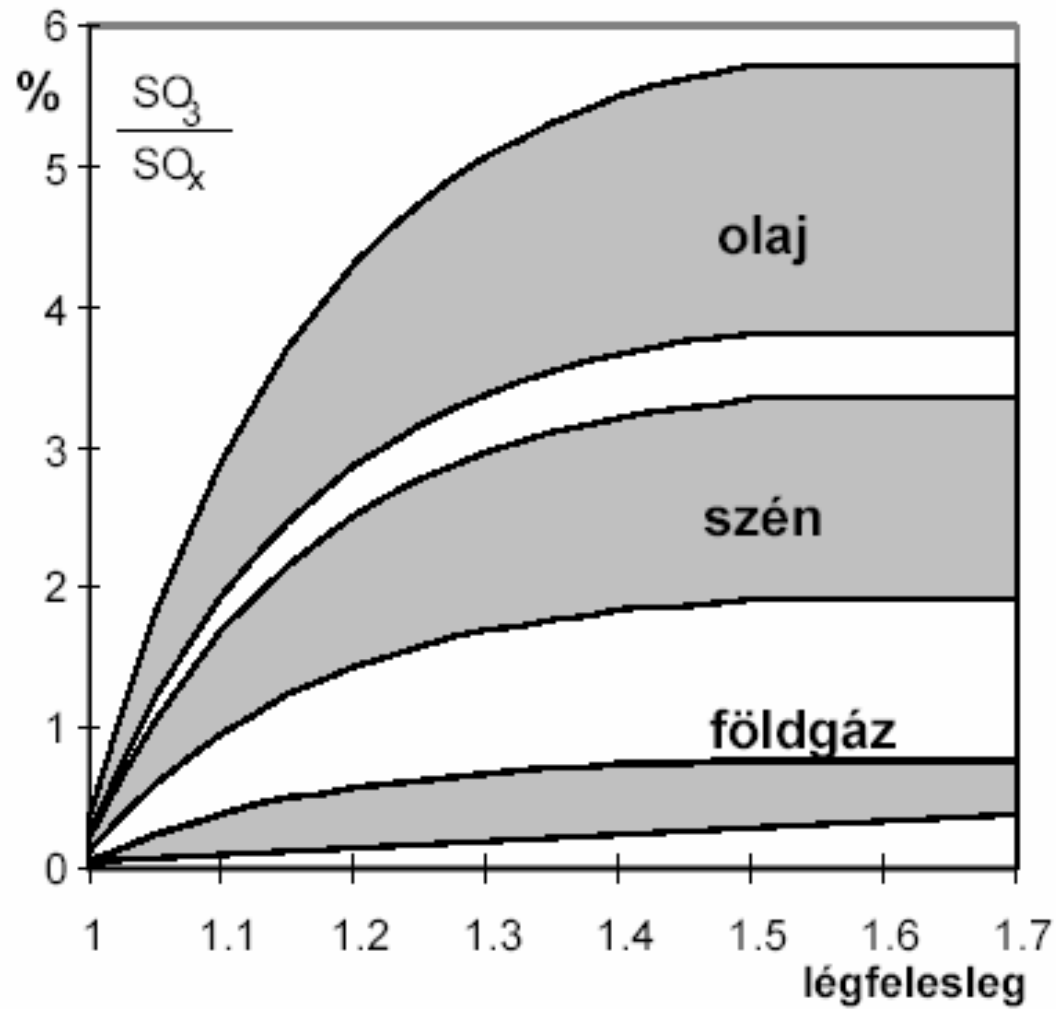
## ***A képződött füstgázmennyiség***

A tüzelés során képződött valódi füstgáz mennyiségek a légfeleslegtényező és az elméleti levegő- és füstgázmennyiség ismeretében kiszámíthatók:

$$V^{sz} = V_0^{sz} + (n - 1) \cdot L_0$$

$$V^n = V_0^n + (n - 1) \cdot L_0$$

Sokszor az ismerttetett formulák segítségével a levegőszükséglet és füstgázmennyiség meghatározása idôigényes, ezért empirikus összefüggéseket is alkalmaznak, melyekben a fûtôérték alapján a tüzelôanyagösszetételre következtethetünk néhány százalékos hibával. A levegőszükséglet és füstgázmennyiség elôre elkészített univerzális diagramok segítségével határozható meg a fûtôérték,  $n$ ,  $V_{elm}$ ,  $L_{elm}$  ismeretében.



## Égési folyamatokat befolyásoló paraméterek

Az alkalmazott tüzelőanyag lehetőség szerint tökéletes elégetéséhez néhány feltételt biztosítani kell:

- elegendően nagy levegőmennyiség
- elegendően magas oxigéntartalmú levegő
- megfelelően kialakított tüztér
- füstgázok elvezetése
- gyulladási hőmérséklet az égés beindításához
- elegendően nagy égési reakciósebességek

Tüzelés során háromféle lehetséges üzemmód fordul elő. A léghiányos tüzelés, melyet célszerű elkerülni mert a szénmonoxid képződés környezeti problémát okoz és rossz a tüzelés hatásfoka. Elméleti értékek mellett végzett tüzelés gyakorlatilag nem kivitelezhető de minden esetben törekedni kell a kis légfelesleg mellett végzett tüzelésre.

Fontos tüzeléstechnikai jellemző az égési hőmérséklet. A következő 3. táblázatban föltüntettük a fontosabb tüzelőanyagok elméleti tüztéri hőmérsékleteit és a gyakorlatilag elérhető tüztéri hőmérsékleteket is, melyek az előbbieknél jelentősen alacsonyabb értékűek, mivel  $n > 1$  esetén a légfelesleg, a hűtadási és veszteségi folyamatok hőt vonnak el a tüztérből.

### 3. táblázat

#### Tüzelőanyagok elméleti és gyakorlati tűztéri hőmérsékletei

Tüzelőanyag	Fűtőérték (kJ/kg)	Elméleti tűztéri hőm. (°C)	Gyakorlati tűztéri hőm. (°C)
Kőszén	30000	2300	1200...1500
Barnaszén(száraz)	20000	1500	1000...1200
Tüzelőolaj	40000	2000	1200...1500
Földgáz	36000	2000	1200...1600

**Tüzeléstechnikai rendszerekben 2000 °C fölötti hőmérsékletek esetén disszociáció léphet föl ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ). Ezek a reakciók endoterm, hőelvonó reakciók, ezért ekkor csökken az égési hőmérséklet.**

**Végül néhány szóban szólni kell az égési sebességekről. Szén levegőben történő elégetése esetén az égés minősége erősen függ a hőmérséklettől és 900 °C fölött a levegő áramlási sebességétől is.**

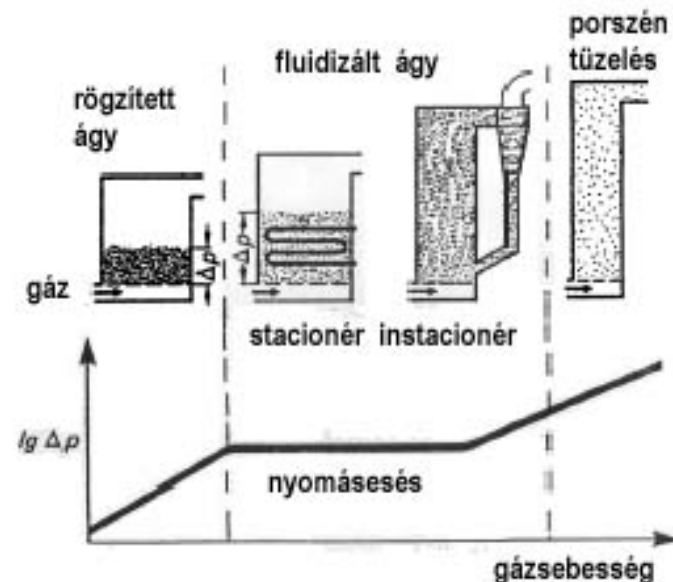
Jelenlegi ismeretek szerint a szén égése úgy történik, hogy először az éghető gázok és kokszt keletkeznek, majd a kokszt széndioxiddá alakul hidrogén keletkezése mellett és az éghető gázok égésével fejeződik be.

## I. Széntüzelés

Szenek tüzelése jelenleg háromféleképpen történhet:

- rögzített ágyas berendezésben,
- fluidizációs berendezésben,
- portüzelő berendezésben.

A 3. ábrán a fenti tüzelési módok alapkoncepcióját és a nyomásesések alakulását a gázsebesség függvényében mutatjuk be.





Az elmondottak alapján a legfontosabb széntüzelő berendezések az alábbiak:

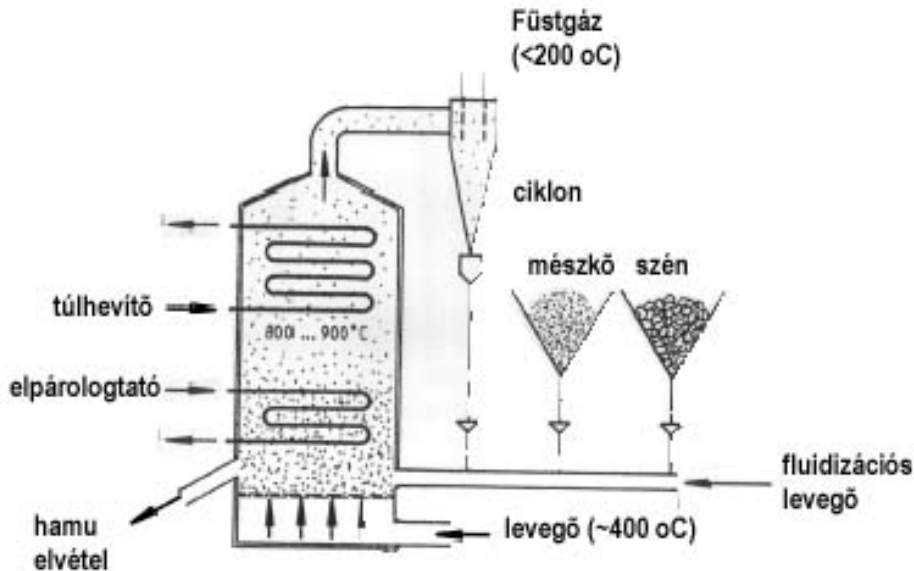
## 1. Vándorrostélyos széntüzelés

A berendezés elvét a 4. ábra (a) pontjában mutatjuk be. A berendezésben egy végtelenített rostély mozog folyamatosan 1-2 mm/sec sebességgel. A darabos szén folyamatosan mozog a rostéllyal és száradási, előmelegítési és lepárlási szakaszokon halad át. A szilárd kokszzsemcsék ezután elégnak és a hamut egy lengőtörlesztő tereli a hamugyűjtő tölcserbe. Az alkalmazott rostélyhossz ált. 4m, az égési folyamat 1mm/sec rostélysebesség mellett kb 1 óra alatt megy végbe. A vándorrostélyos tüzelés néhány centiméteres széndarabok tökéletes elégését biztosítja. Ezzel a tüzelőszerkezettel ballasztban gazdag tüzelőanyagok is (pl szemét) elégethetők. Az égéshez szükséges levegőt alul juttatják a rendszerhez, esetleg a levegő egy részét szekunder levegőként a rostélyokon keresztül fuvatják be. Technikailag 1-2 MW/m<sup>2</sup> rostélfelület termikus energia nyerhető, így a rostélyos tüzelés napjainkban maximum 100 MW termikus teljesítményű kazánokhoz alkalmazható.

## 2. Fluidizációs tüzelés

A stacioner fluidizációs tüzelőberendezés elvét a 4. ábra (b) pontjában, az instacioner (cirkulációs) berendezését pedig a 4. ábra (c) pontjában mutatjuk be.

Stacionér fluidizációs tüzelés



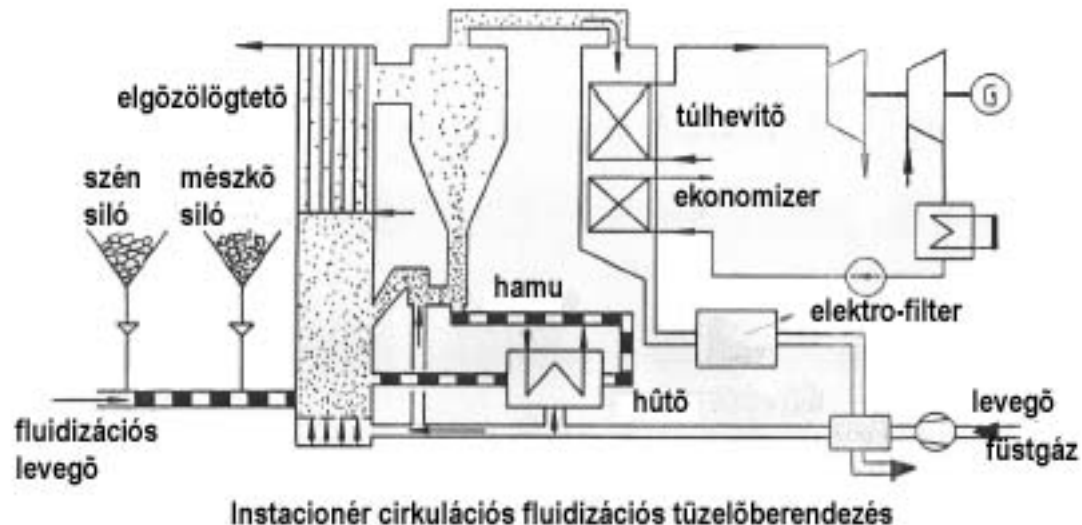
5. ábra

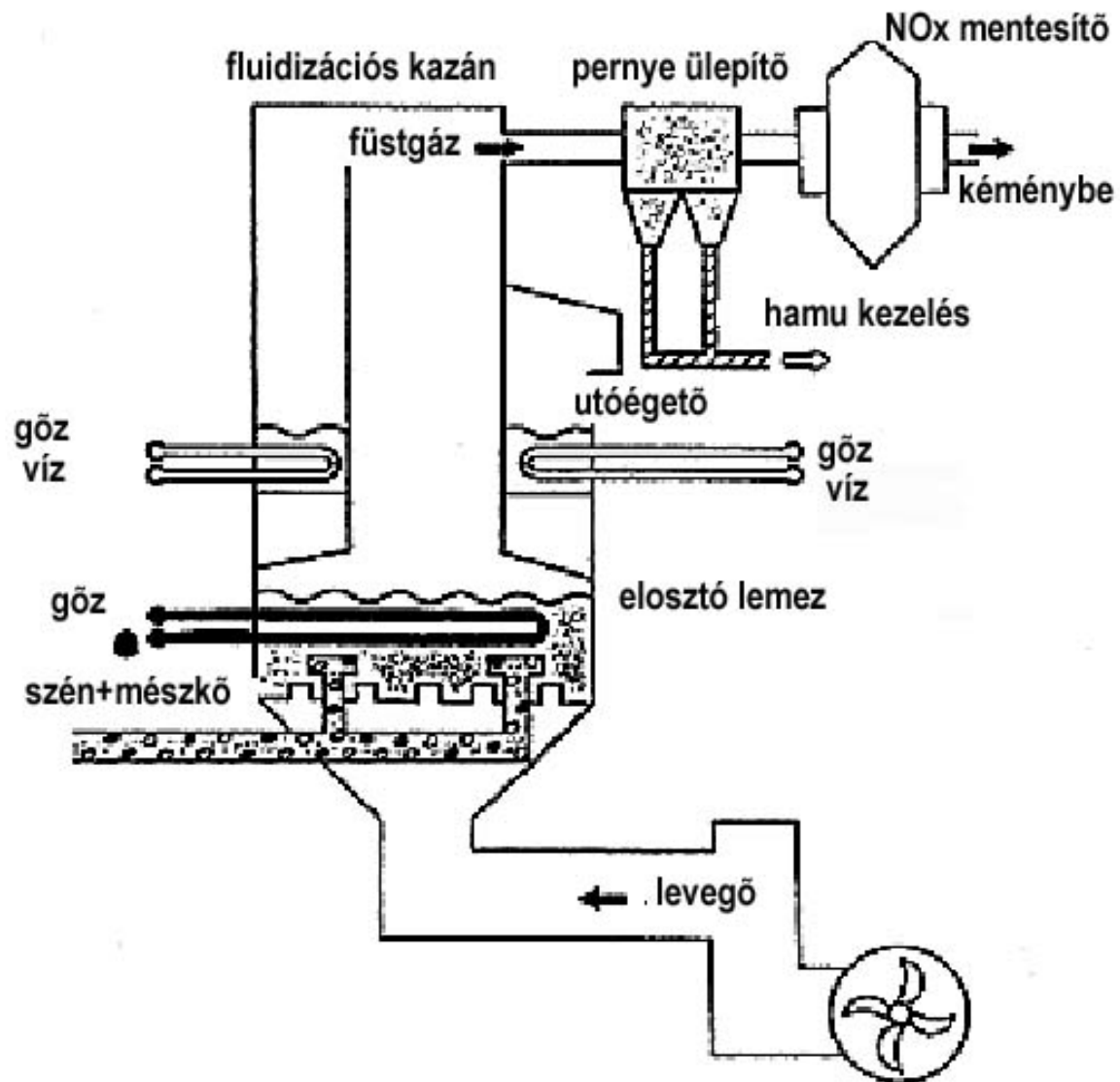
A stacioner üzemű (5. ábra) berendezésben finomszemcsés szilárd anyagot (szén és hamu max. 1 cm átmérőjű szemcséinek keverékét) levegővel alul egy fúvókán vezetnek be a tüztérbe. Elegendően nagy áramlási sebességek esetén a szilárd szemcsék un. fluidizált, lebegő állapotba kerülnek. Ez a fluidizált állapot növekvő sebességek mellett is fennmarad, majd egy un. határ, vagy kihordási sebességnél a részecskék eltávoznak a tüztérből. A töltetanyag főleg hamuból és mészkőből áll, a szén aránya kevés, néhány %.

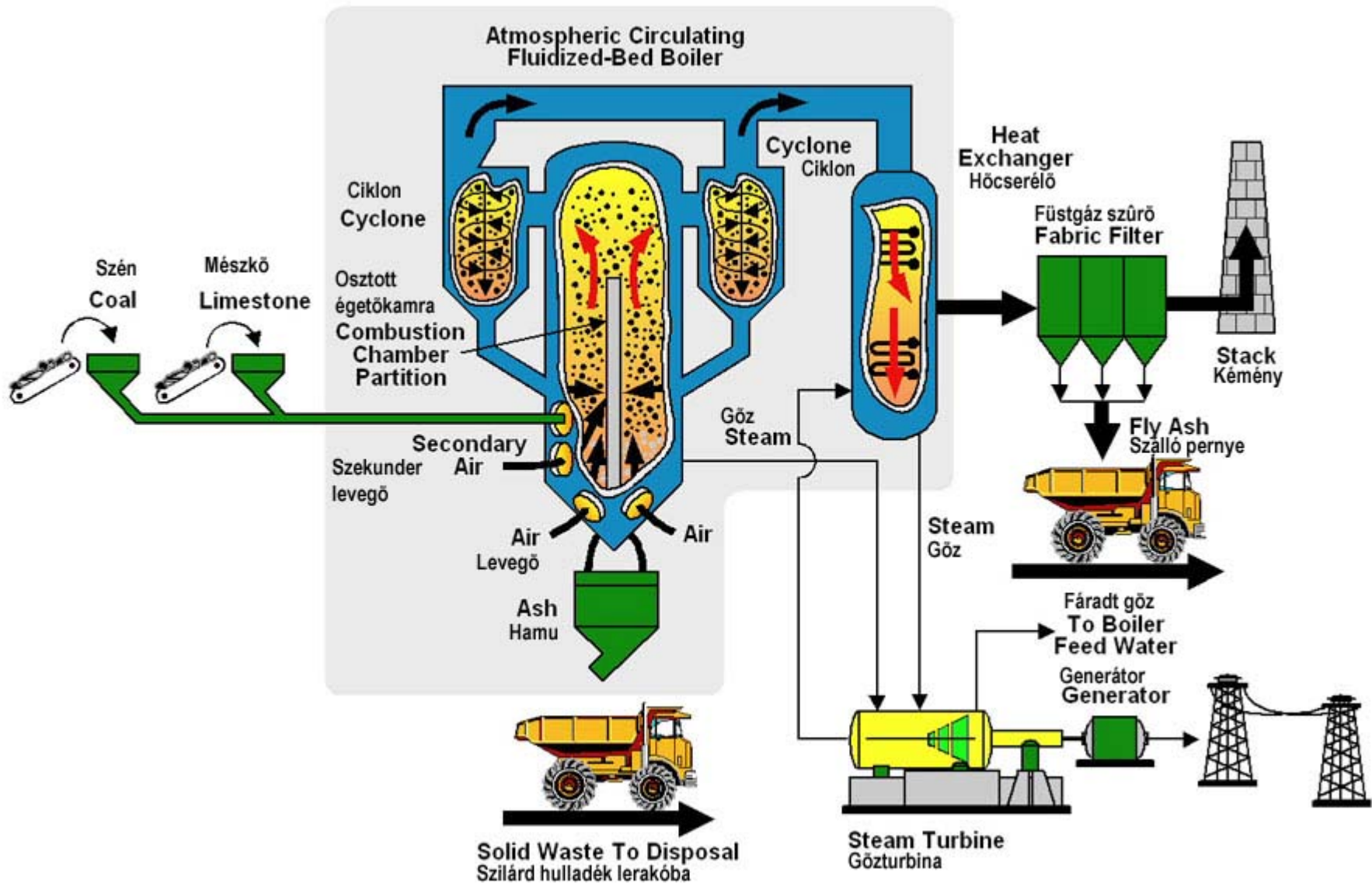
A mészkövet a tüzelőanyag kéntartalmának in situ eltávolítására alkalmazzák. A szilárd részecskék gyors tércseréje lehetővé teszi a szilárd szemcsék és a füstgázok intenzív érintkezését. A kéndioxid és a mészkő nagy reakcióképessége biztosítja a hatásos kéntelenítést, miközben a mészkőből gipsz lesz. A fluid-ágyban jó hatásfokú hőcsere megy végbe. Az égési hőmérséklet 800-900 °C így az NO<sub>x</sub> gázok képződése erősen korlátozott.

Mivel a szén aránya a tüztérben kicsi, ezért nagy ballasztanyag tartalmú, kis fűtőértékű szenek is jól elégethetők. Szemétegetésre is alkalmas. A keletkezett hőmennyiséget részben a tüztérbe benyúló, részben a füstgázcsatornában elhelyezett hőátadó felületek segítségével vonják el. A fluidágy után egy ciklont kapcsolnak a kihordott szemcsék füstgázból történő leválasztására és szükséges ezenkívül hatásos porleválasztó üzemeltetése. A mészkövet és szenet adagoló rendszer juttatja folyamatosan a tüztérbe. Gyakran nyomás alatt végzik a tüzelést, ekkor jelentősen csökkenthetők a tüztér méretei.

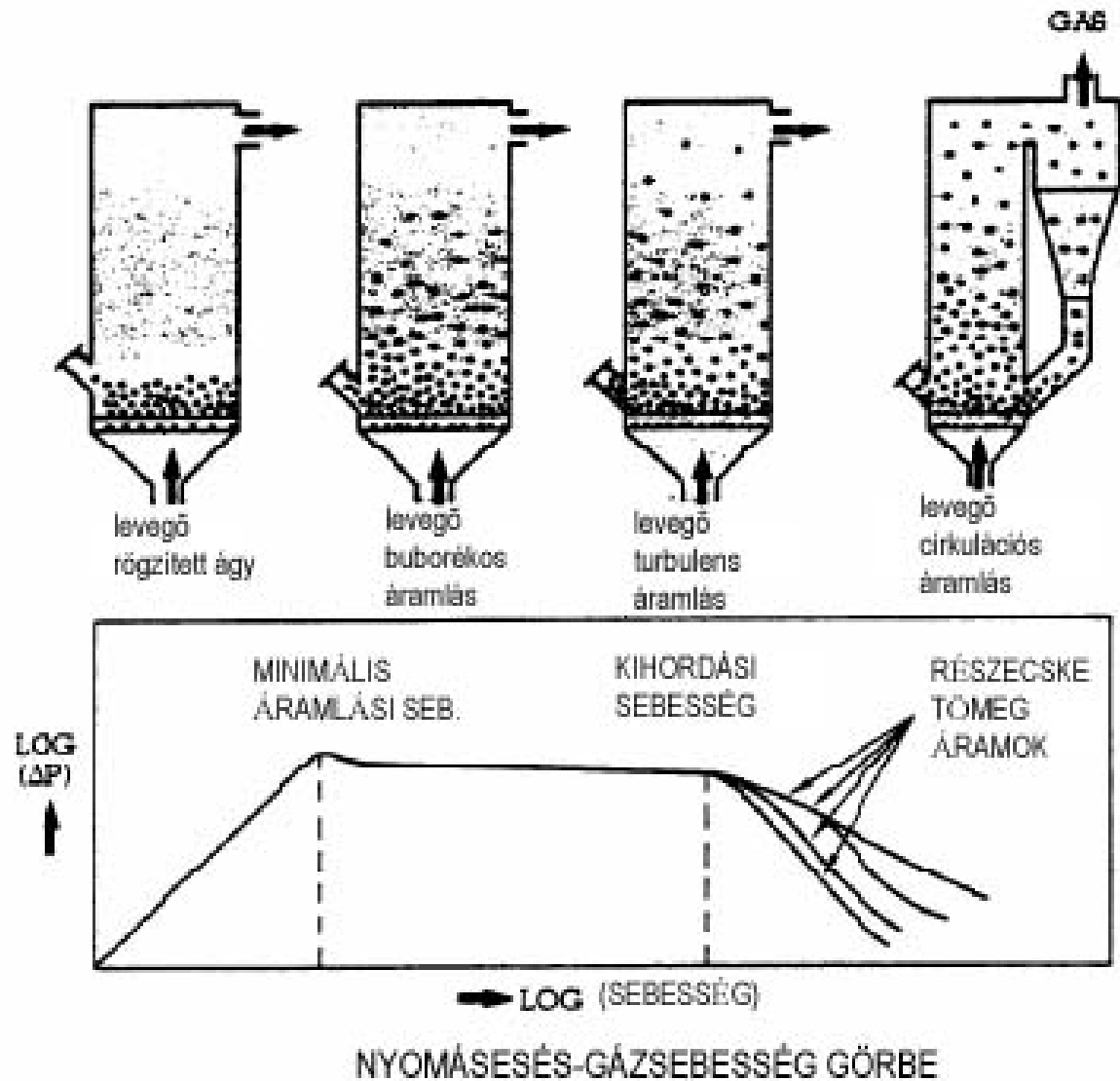
Az instacionér (fluidizációs) (6. ábra)\_széntüzelésnél a gáz-szilárd elegyet kivezetik a tüztérből és utánkapcsolt hőhasznosító berendezésen vezetik át. A fluidizációs tüzelőberendezések maximum 200 MW termikus teljesítményértékig alkalmazhatók, a kéndioxid és nitrogénoxid kibocsátása megfelelő üzem esetén kicsi.







## Cirkulációs (instacionér) fluidizációs tüzelés

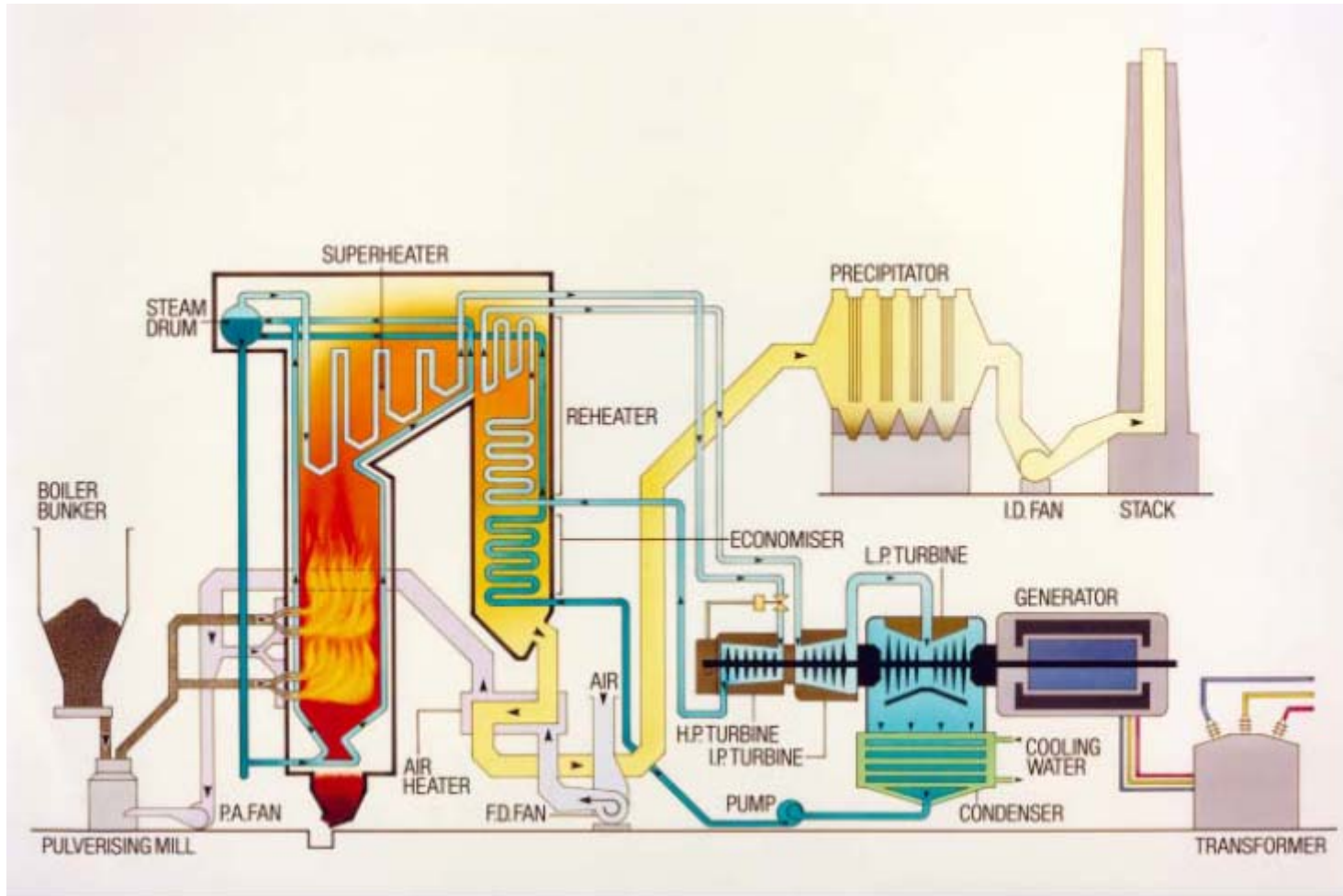


### **3. Porszéztüzelés**

A mai modern nagyteljesítményű széntüzelésű tüzelôszerkezetek kizárólagosan porszéztüzelést alkalmaznak. A szenet malomban 50  $\mu\text{m}$  szemcseméret alá aprítják, majd maximum 400  $^{\circ}\text{C}$  -ig elômelegített levegôvel speciális égôben elégetik. A szemcsék lebegô állapotban égnek el. A tüzelôanyag lehet szénpor, tüzelôolaj, földgáz, vagy ezek kombinációja. Gyakorlatilag az összes széntípus elégethetô így, csak az égési idôk különböznek (50 mm szemcseméretnél ez kb. 1s). Jelenleg az un. száraztüzelés elterjedt, ahol a tüzelési hôtérseketet úgy választják meg, hogy a keletkezô hamu még nem olvad meg, de növekszik a nagyobb hôtérseketű tüzelés súlya is, ahol végbemegy a hamu olvadása. A porszéztüzelés biztosítja a legjobb hűátadást, mert itt a legnagyobb a szén fajlagos felülete. Az elérhetô termikus teljesítmény 2000 MW.

### **II. Olajtüzelés**

Cseppfolyós tüzelôanyagokként fôleg kôolajtermékeket (esetleg szénlepárlási termékeket) használnak. Ezek közül legjelentôsebb a tüzelôolaj, amely kôolajpárlat és a fűtôolaj, amely kôolajlepárlási maradék. A cseppfolyós tüzelôanyagok elônye a szilárd tüzelôanyagokkal szemben minimális hamutartalmuk, így a tüzelés során gyakorlatilag csak gázalmazállapotú termékek keletkeznek. Ezenkívül nagyobb a fűtôértékük, így nagy tűztérhôtérseket mellett kisebb légfelesleg mellett égethetôk el. A folyékony tüzelôanyagok égése könnyen szabályozható, minôsege egyenletesebb, tárolása, szállítása egyszerűbb, a tüzelôberendezés könnyen automatizálható. A cseppfolyós tüzelôanyagokat elgázosítással, illetve porlasztással működô tüzelôberendezésekben égetik el.



## Porszéntüzelésű erőmű



## **Elgázosító égők**

A tüzelőolaj egy forró felülettel érintkezve elpárolog, majd a képződött gázok az égéshez szükséges levegővel elegyednek és elégnak. Csak kis kokszosodási hajlamú olajok égethetők el így.

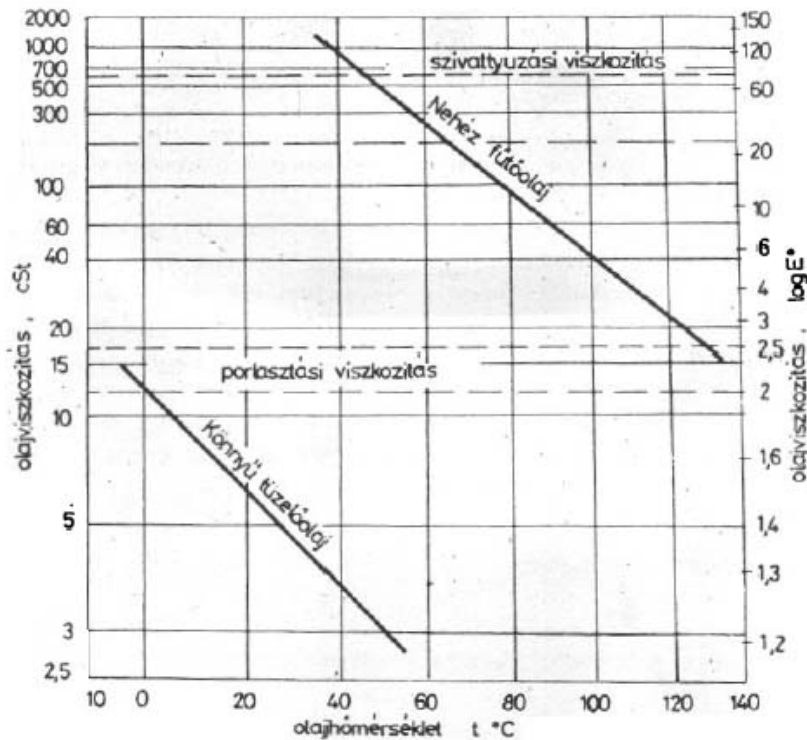
## **Porlasztós égők**

A tüzelőolajat porlasztással finom eloszlású köddé alakítják, majd a ködöt levegővel összekeverve elégetik. A nagy viszkozitású fűtőolajokat csak előmelegítés után lehet elporlasztani. A porlasztók működés szerint feloszthatók nyomásporlasztásos, segédközegezes porlasztásos és mechanikus porlasztásos berendezésekre. A segédközegezes porlasztók vízgőz, vagy levegő segédközeget alkalmaznak.

Az olaj égési folyamatát befolyásoló legfontosabb tényezők az alábbiak:

- a tüzelőanyag kémiai és fizikai jellemzői (elemi és vegyi összetétel, viszkozitás, felületi feszültség)
- a tüzelőanyag áramlási jellemzői
- a befúvott levegő jellemzői (irány, sebesség, hőmérséklet stb)
- egyéb tényezők (tűztér geometria, tűztér hőmérsékleti, áramlási stb viszonyai)

A tüzelőolajokat betűk és számok kombinációjával nevezik el. Így pl a TH 5/20 háztartási tüzelőolajat jelöl, mely 5 °C -on még szivattyúzható és 20 °C -on még porlasztható. A 7. ábrán tüzelőolaj és fűtőolaj szivattyúzási és porlasztási viszkozitása látható.



Az olaj szivattyúzásához és porlasztásához szükséges hőmérséklet-viszkozitás értékek

A széntüzeléssel ellentétben az olajtüzelés minőségét a füstgázok koromtartalmának ellenőrzésével is ellenőrizni kell. Az olajtüzelés kis levegőfelesleggel és korommentesen gazdaságos és tiszta, de nagyon gazdaságtalan és környezetszennyező ha nem megfelelően végzik. A tüzelés minőségét a füstgáz rendszeres elemzésével határozzák meg. Megfelelő a tüzelés minősége, ha a füstgázban kis oxigénfelesleg, a maximális széndioxid-koncentrációhoz közeleső széndioxid mennyiség, minimális korommennyiség van és nincs szénmonoxid

### III. Gáztüzelés

A különféle halmazállapotú tüzelőanyagok közül legelőnyösebben a gázok tüzelhetők el. Ezek a földgáz, generátorgáz, vízgáz, szénlepárlási gázok, valamint a földgáz és benzinbontók gázait, illetve ezek elegyei. A tüzelőolajnál is kedvezőbbek a füstgázok jellemzői, az automatizálhatóság, a légfelesleg értékei. Kedvezően nagy a fűtőértéke, a levegővel tetszőleges arányban keverhető. A gázok elégetéséhez a primer levegőt előzetesen keverik hozzá, míg a tökéletes égéshez szükséges levegőmennyiséget a szekunder levegőt a láng környezetében levő levegő szolgáltatja. Ha a primer levegő mennyiségét növelik, adott határ fölött a láng az égőről leszakad vagy visszaég. Ha csökkentik adott határ alatt a láng színessé válik, világítóbb, kormozóbb lesz. Gyakran alkalmazzák a gáztüzelést más tüzelőanyagokkal (porszén, olaj) kombinálva.

### HŐMÉRLEG

A tüzelőberendezésben a tüzelőanyagban kémiai kötött energiát fizikai energiává, hőenergiává alakítjuk, melyet rendszerint hőcserélőben valamilyen célra hasznosítunk. A cél lehet folyadék (víz), vagy levegő felmelegítése, különböző nyomású és hőmérsékletű gőz előállítására a cél. Leggyakrabban a felszabadított hőenergiát vízgőz előállítására gőzkazánban hasznosítjuk. A tüzelőberendezés indításától számítva csak hosszabb idő eltelte után jelentkezik a kívánt nyomású és hőmérsékletű gőz, mert a felszabadított hőenergia tekintélyes hányada kezdetben a gőzkazán szerkezeti elemeinek felmelegítésére és nem gőztermelésre fordítódik.

Az állandósult állapot elérése után a felszabadított hőenergia azonos a gőztermelésre fordított és az állandósult állapotban fellépő veszteség hőenergiák összegével és ezek időben külön-külön állandók. Így a gőzfejlesztő hőmérlege:

$$Q_B + Q_L \equiv Q_{haszn} + Q_{veszt}$$

$$Q_B \equiv Q_{haszn} + Q_{veszt}$$

$$1 - \frac{Q_{veszt}}{Q_B} \equiv \frac{Q_{haszn}}{Q_B} \equiv \eta_{kazán}$$

$$Q_B + Q_L \equiv Q_{haszn} + Q_{veszt}$$

$$\eta_{közvetlen} \equiv \eta_{közvetett}$$

ahol:  $Q_B$  a tüzelőanyaggal bevitt, kémialag kötött hő (kW)  
 $Q_L$  a környezeti hőmérsékletű levegővel bevitt hő (kW)  
 $Q_{haszn}$  a kívánt paraméterű gőz előállításához szükséges hő (kW)  
 $Q_{veszt}$  a gőztermelés során keletkezett összes veszteség (kW)

Ha az égéshez szükséges levegővel bevitt hőmennyiséget elhanyagoljuk a fenti egyenlet, illetve annak átrendezése után:

$$Q_B \equiv Q_{haszn} + Q_{veszt}$$

$$1 - \frac{Q_{veszt}}{Q_B} \equiv \frac{Q_{haszn}}{Q_B} \equiv \eta_{kazán}$$

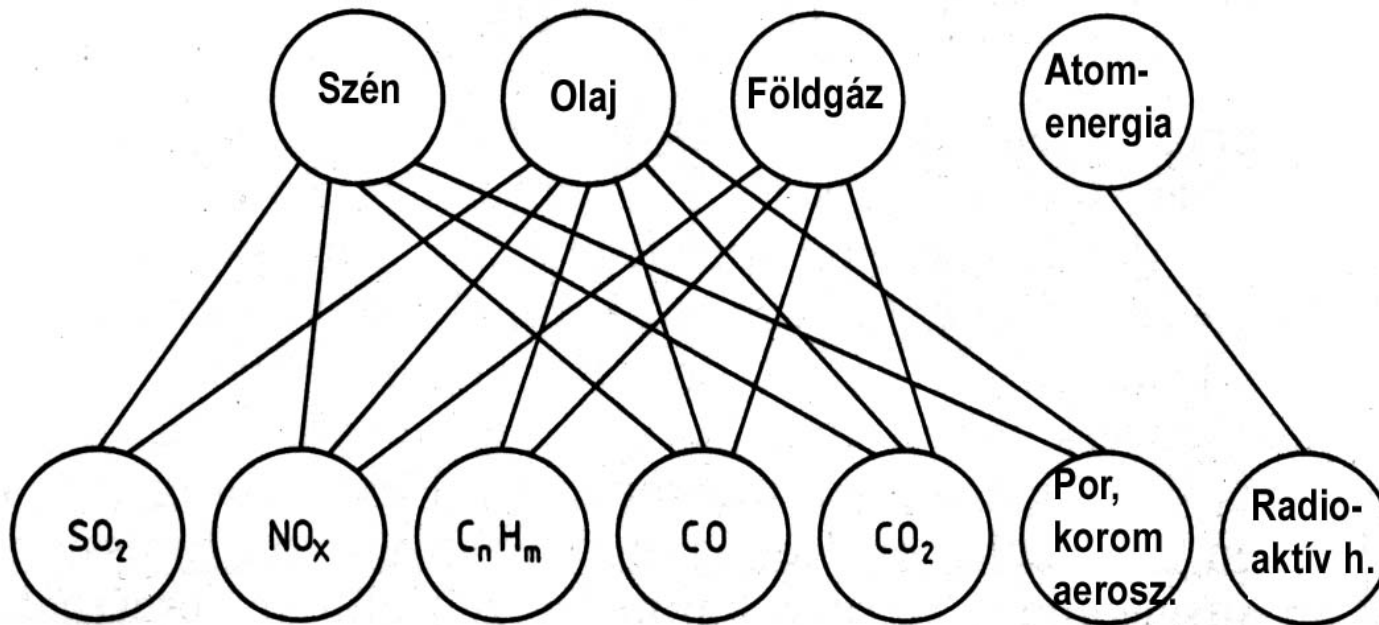
$$\eta_{közvetlen} \equiv \eta_{közvetett}$$

$Q_{\text{veszt}}$  a gőztermelés során a kazánból veszteségek formájában távozó hőáramok összegét jelenti, mely két részre bontható a tüzelés és a fűtőfelületek veszteségeire. Itt csak az első csoporttal foglalkozunk. A legfontosabb tüzelési veszteségek az alábbiak:

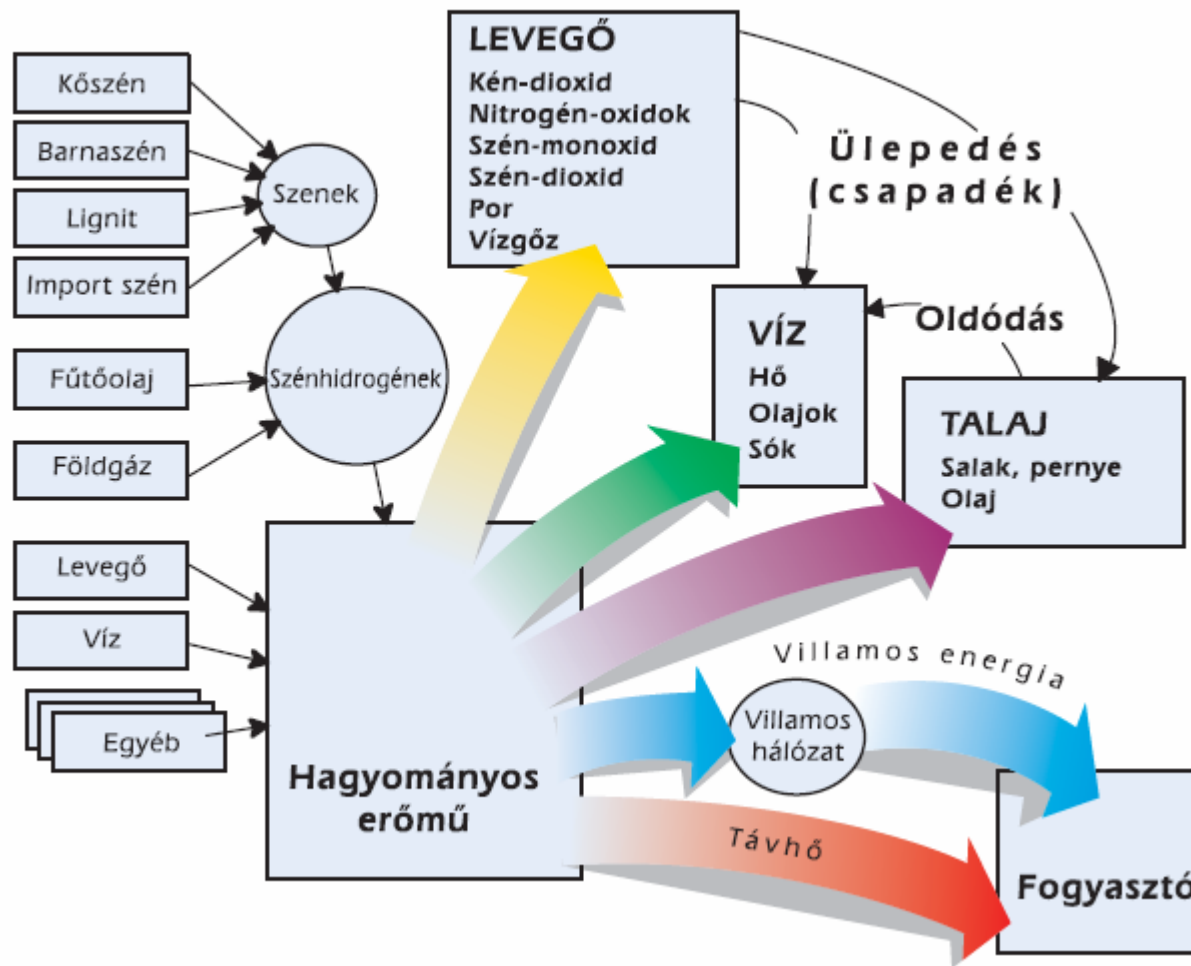
- salakéghető
- pernyeéghető
- szállókocsz
- korom
- elégetlen gázok
- elégetlen tüzelőanyag gőzök

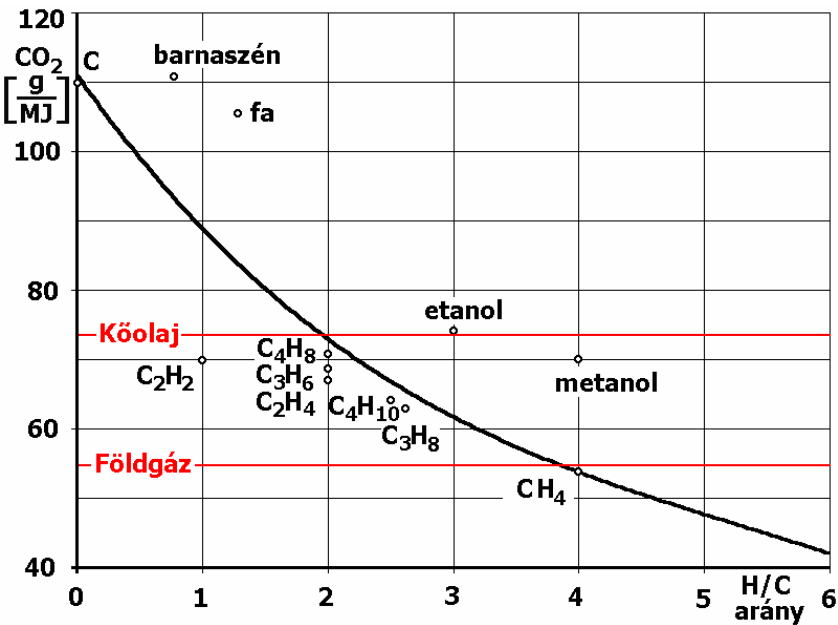
## FOSSZILIS TÜZELÉSŰ ERŐMŰVEK FÜSTGÁZEMISSZIÓI

Az energiaátalakítás minden esetben szennyezőanyagok kibocsátásával jár (8. ábra). Ezek az anyagok terhelik a környezetet, a levegőt, vizet, talajt. Ezeknél az erőműveknél a legjelentősebb terhelés a légtérbe kerül. A 9. ábrán egy szénerőmű és egy atomerőmű anyagmérlegét mutatjuk be. Nyilvánvalóan jól látható a füstgáztisztítás fontossága, szerepe a környezet védelmében. Végezetül a 10. az emisszió és immisszió fogalmát magyarázzuk.

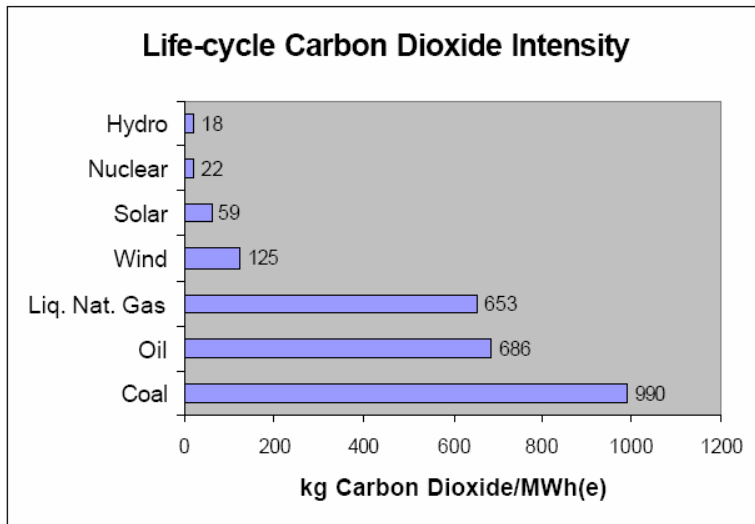


## Primer energiaforrásokból keletkező környezeti szennyezések





## Tüzelőanyagok fajlagos CO<sub>2</sub> kibocsátása

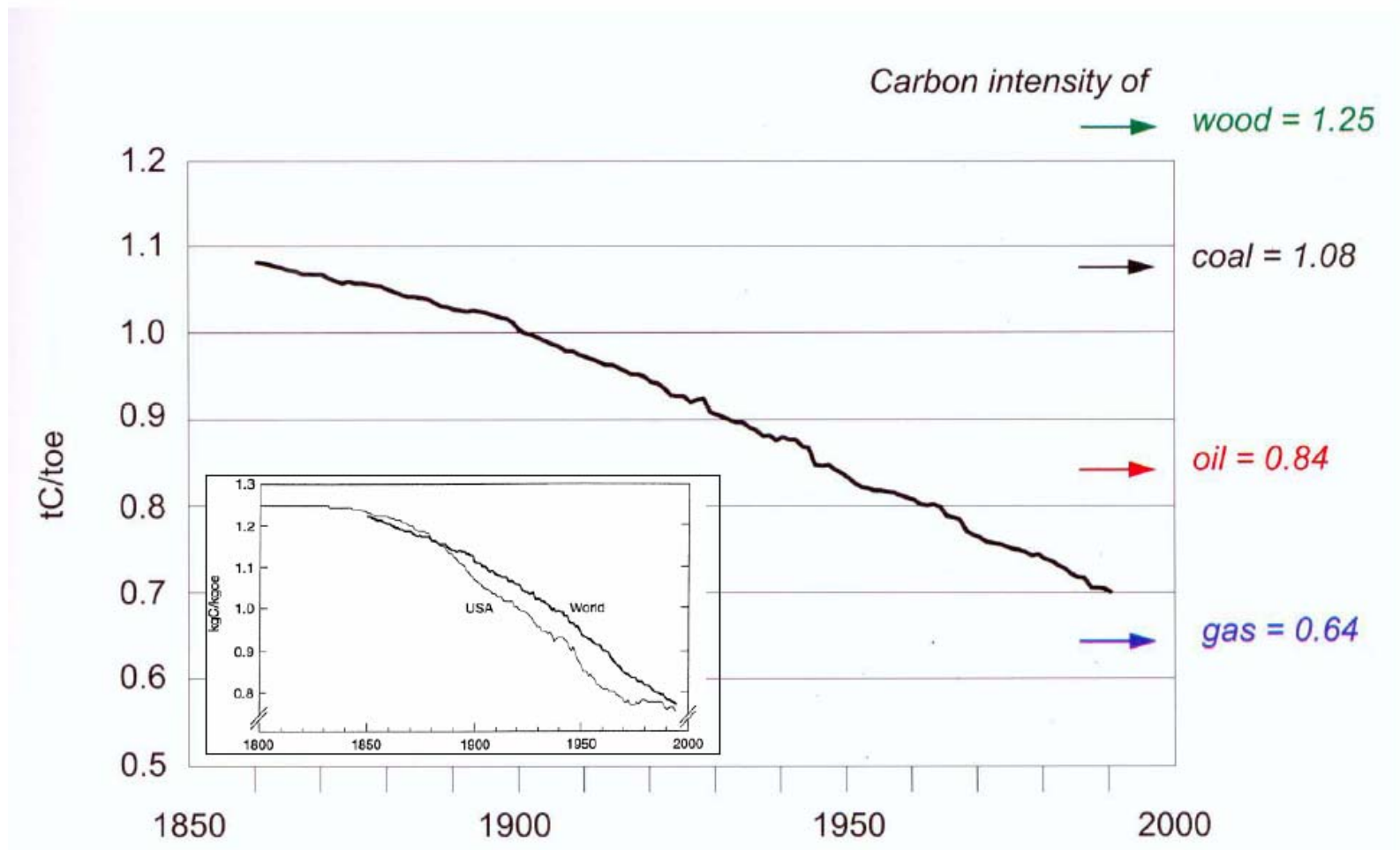


Tüzelőanyag	Középérték	Szűkebb tartomány	Szélesebb tartomány
<b>széntüzelés</b>			
erőművek	260	200-340	150-450
kisfogyasztók	110	75-165	50-240
<b>olajtüzelés</b>			
erőművek	175	130-230	100-300
kisfogyasztók	75	50-110	35-160
<b>gáztüzelés</b>			
erőművek	110	80-150	60-200
kisfogyasztók	50	36-70	26-95

Átlagos fajlagos NO<sub>x</sub> kibocsátás (g/GJ)



# A dekarbonizációs görbe

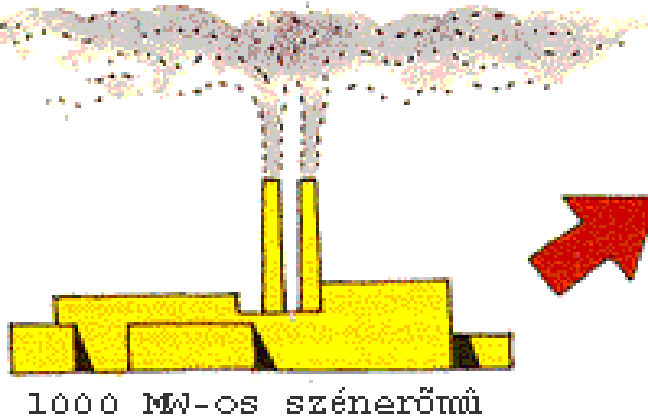
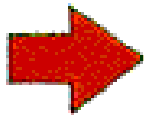
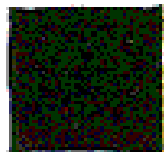




Nagy japán füstgáz kéntelenítő

## Tüzelőanyag fogyasztás és hulladék

Évente kb.  
3 millió  
tonna  
szén

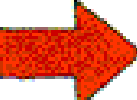
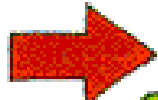


## Hulladékok



Évente kb. 7 millió tonna hulladék, főleg gázok ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ), évente 50-200000 tonna szilárd hulladék (por, pernye, salak, hamu)

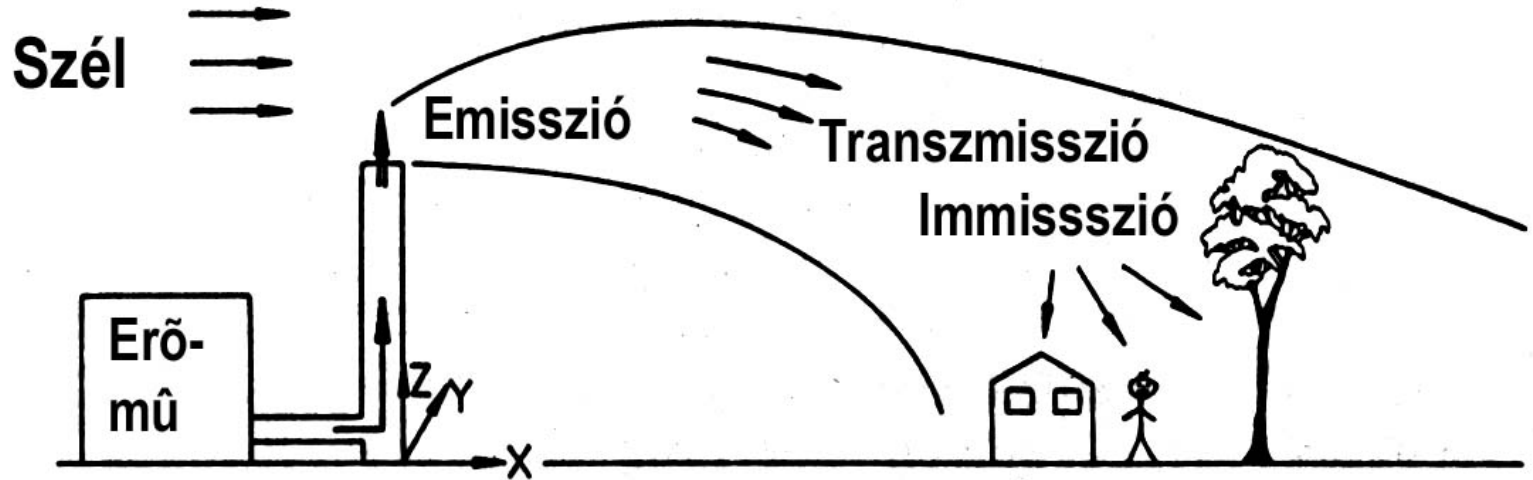
Évente kb.  
25 tonna uránium  
( $\text{UO}_2$ )



Reprocesszással évente kb. 1 tonna nagyaktivitású hulladék, mely szilárdítva végleges elhelyezésre kerül nagyon hosszú ideig.

Egy 1000 MW-os szénerőmű évente kb. 3,1 millió tonna szenet éget el. A tüzelés során átlagosan évente 7 millió tonna szén-dioxidot, mintegy 200000 tonna kén-dioxidot bocsát ki a környező levegőbe. Évente ezen felül kb. 200000 tonna pernyét is kibocsát, melynek mérgező nehéz-fém tartalma (arzén, kadmium, higany), szerves rákkeltő és mutagén anyag tartalma jelentős és természetes radioaktív izotópokat (urán bomlástermékei) is tartalmaz.

Ugyanilyen teljesítményű atomerőmű évente 24 tonna átlagosan 4%-ban  $^{235}\text{U}$ -ra dúsított  $\text{UO}_2$  fűtőelemet használ el. Ehhez urántartalomtól függően 25000-100000 tonna urántartalmú ércet kell kibányászni. Ha a kiégett fűtőelemet újra feldolgozzák (reprocesszálják) a 27 tonna hasadóanyag 97%-a újra bekerül az energiatermelő rendszerbe. A fennmaradt 3%, azaz 700 kg nagy aktivitású radioaktív hulladékot kell szilárdítás után végleges hulladéktárolóba elhelyezni. Ez igen kis térfogatot jelent.



**Emisszió-transzmisszió-immisszió erőművi kibocsátások során**

## 2000 MW<sub>e</sub> teljesítményű angol erőművek éves emissziói (t/év)

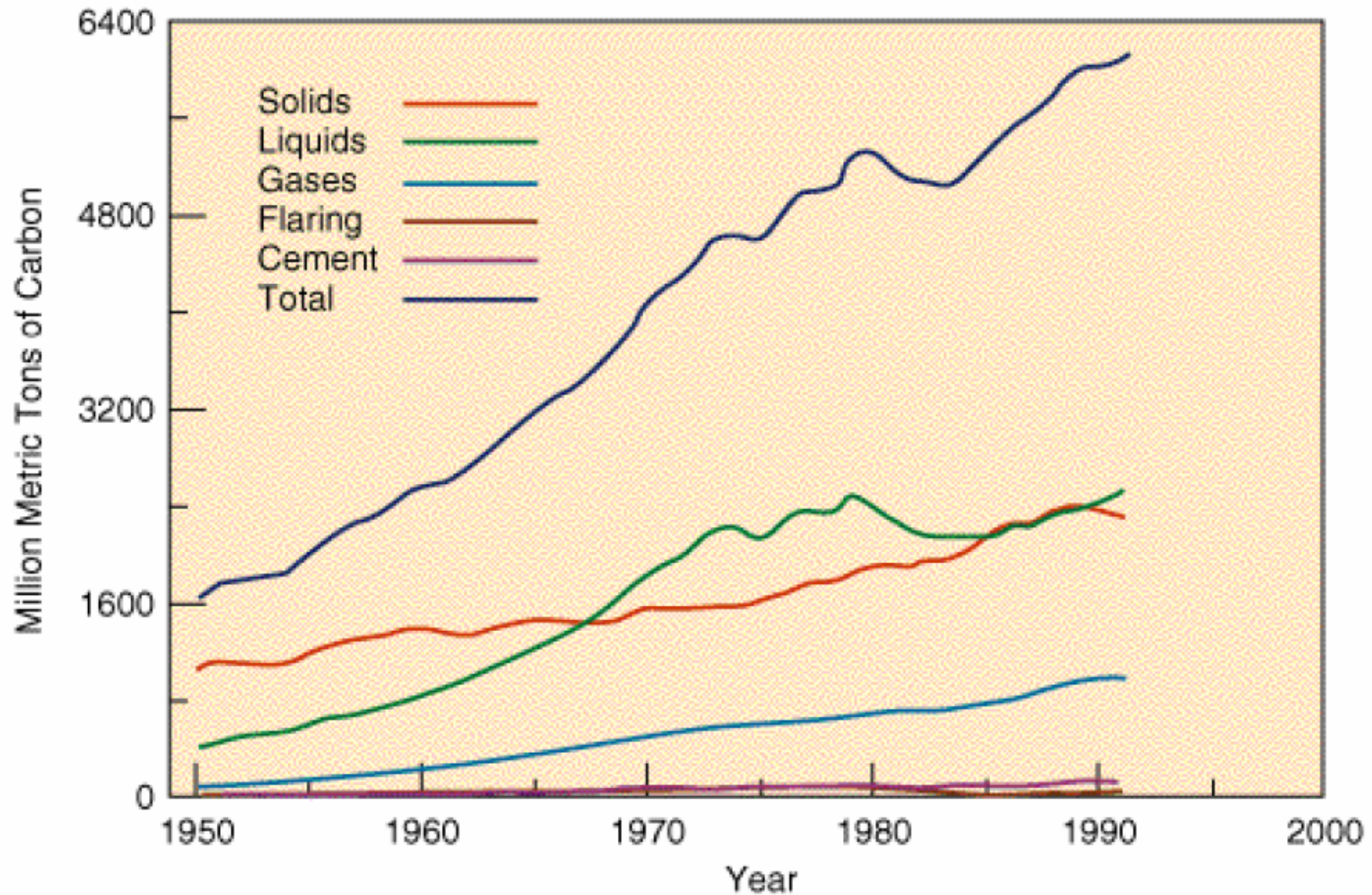
	Konvencionális szénerőmű (nincs füstgáz tisztító, FGD)	Konvencionális olajtüzelésű erőmű	Gáztüzelésű <sup>2</sup> kombinált ciklusú gázturbina <sup>3</sup>
Por	7,000	3,000	elhanyagolható
Kéndioxid	150,000 <sup>4</sup>	170,000	elhanyagolható
Nitrogén-oxid <sup>5</sup>	45,000 <sup>6</sup>	32,000	10,000
Szénmonoxid	2,500	3,600	270
Szénhidrogének	750	260	180
Széndioxid	11,000,000	9,000,000	6,000,000
Sósav	5,000-20,000	elhanyagolható	elhanyagolható
Szilárd hulladékok, salak, pernye	840,000	elhanyagolható	elhanyagolható
Radioaktív emissziók <sup>7 8</sup>	10 <sup>1 1</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>1 2</sup>
Nyomelemek	Tüzelőanyagforrástólé függ:- arzén., króm, réz, vanádium, nikkel, ólom, cink, szelén, kadmium, antimon		

(1) Each power station of this size typically produces 12 TWh or 12x10<sup>9</sup> kWh of electricity annually. (2) Assumes domestic quality natural gas. (3) Rather than give figures for conventional gas-fired power stations, of which there are very few in the UK, it is more realistic to quote figures for a Combined Gas Cycle Turbine power station. By 1998, there were a significant number of these stations operating providing 28% of electricity supplied to the UK. (4) 15,000 tonnes on plant with Flue Gas Desulphurisation equipment fitted. 75,000 tonnes with low sulphur coal. (5) Includes both Nitrogen Oxides (NO<sub>x</sub>) and Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O). Separate figures are not yet available in the UK because N<sub>2</sub>O makes up only a small proportion of the nitrogen oxides from coal fired stations. (6) 30,000 tonnes on plant with low NO<sub>x</sub> burners fitted. (7) Figures given are approximate: accurate figures depend on source of fuel. (8) The figure for coal is largely radon and that for gas all radon, Radon figures are not available for oil burning which means that the oil figure may be significantly underestimated.

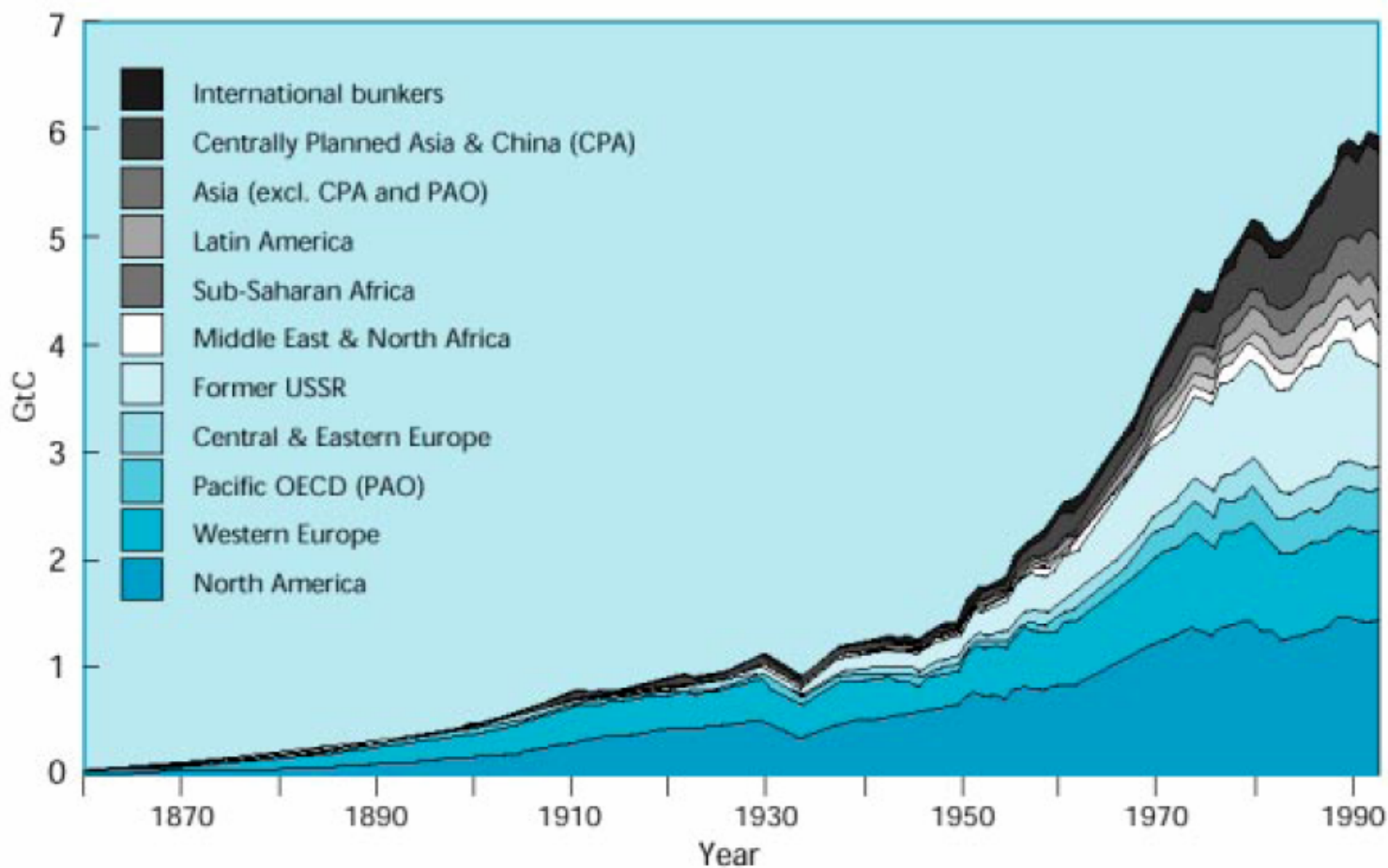
# Kyoto Reduction Targets

EU Countries				CEE Countries			
Austria	-13	Italy	-6.5	Bulgaria	-8	Lithuania	-8
Belgium	-17.5	Luxemburg	-28	Czech R.	-8	Poland	-6
Denmark	-21	Netherlands	-6	Estonia	-8	Romania	-8
Finland	0	Portugal	-24	Hungary	-6	Slovenia	-8
France	0	Spain	-15	Latvia	-8	Slovakia	-8
Germany	-21	Sweden	4	Other Countries			
Greece	25	UK	-12.5	Australia	8	Russia	0
Ireland	13	EU-Total	-8	Canada	-6	Ukraine	0
				Japan	-6	USA	-7

# CO<sub>2</sub> emissions by source 1950–1991



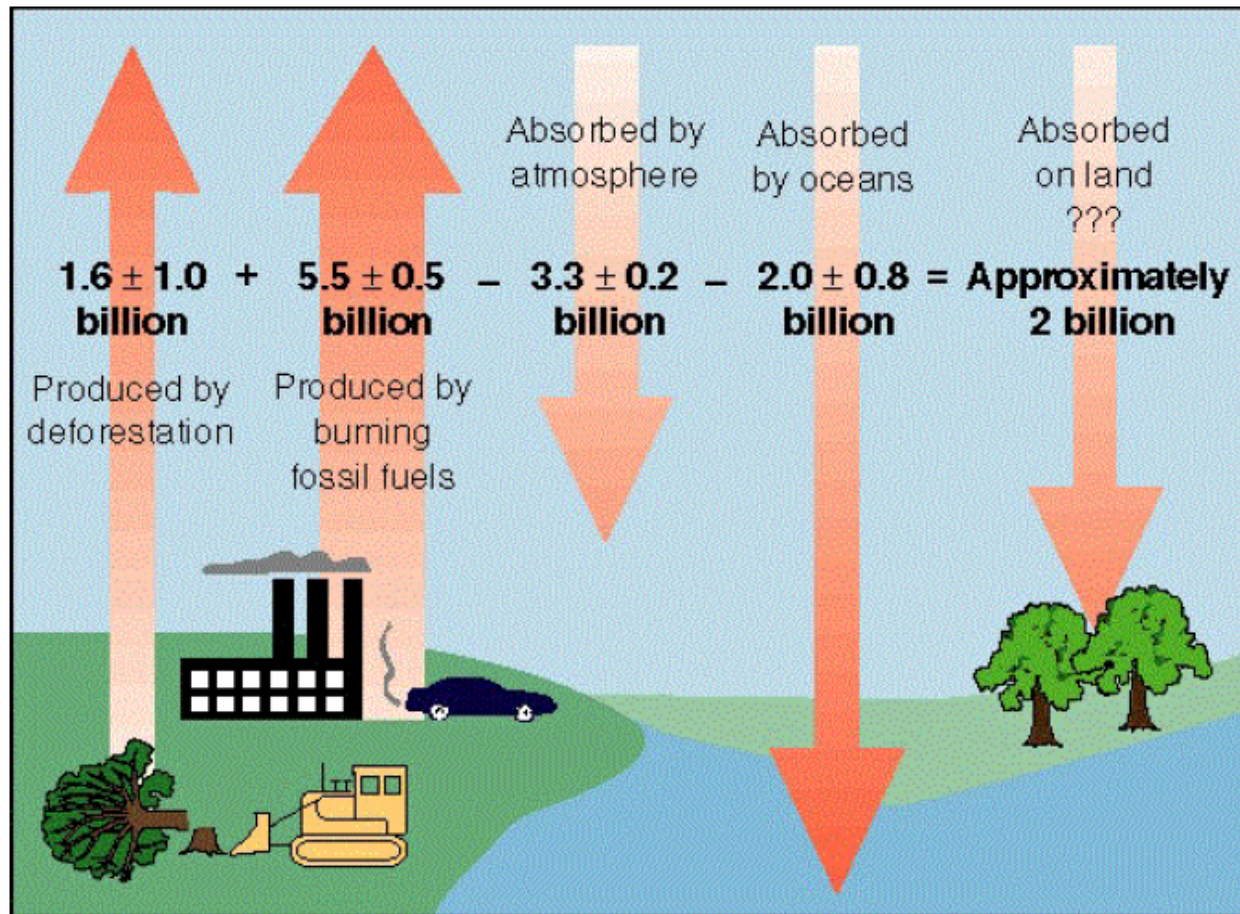
# Energy-related CO<sub>2</sub> emissions 1850-1994





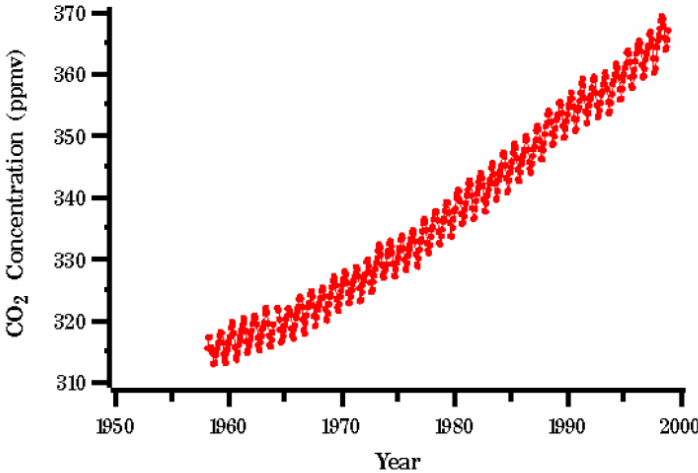
# Global Carbon Budget

units are *tons of carbon per year*



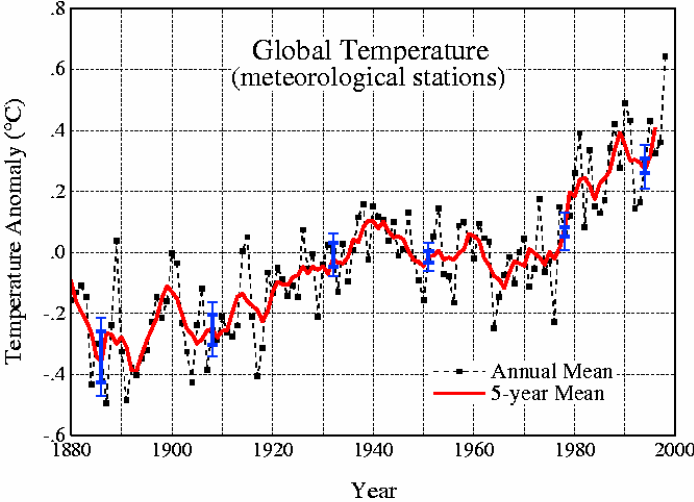
# Atmospheric CO<sub>2</sub> Record 1957–1998

Mauna Loa, Hawaii

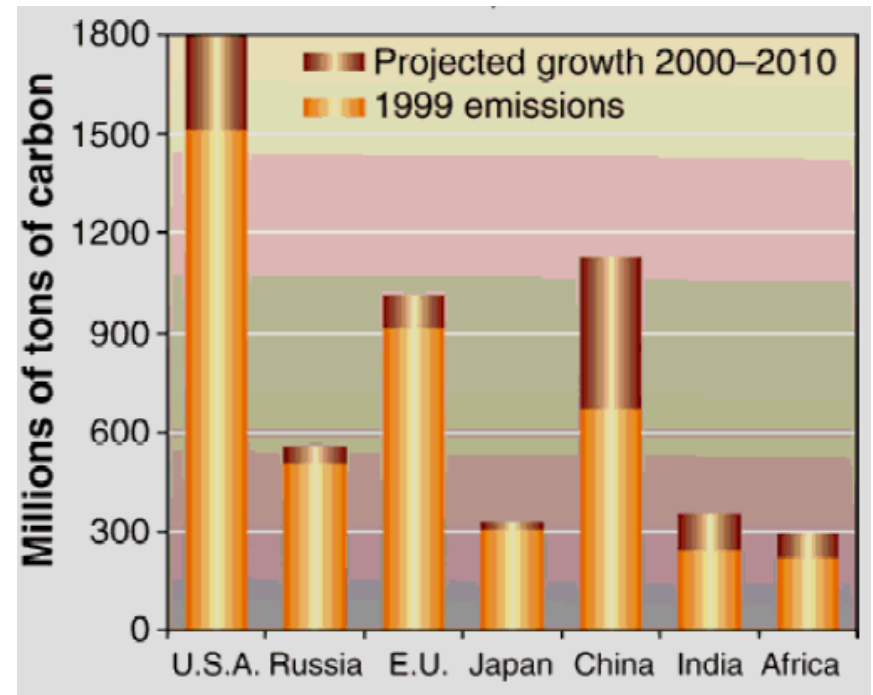
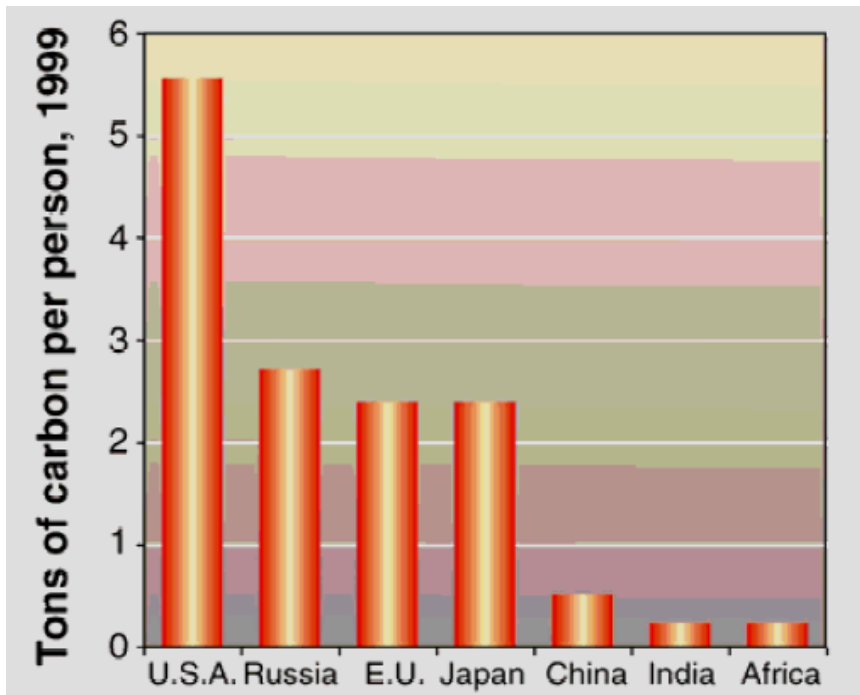


Source: Dave Keeling and Tim Whorf (Scripps Institution of Oceanography)

# Global Mean Surface Temperature: 150+ Station Average



	CO <sub>2</sub> (Carbon Dioxide)	CH <sub>4</sub> (Methane)	N <sub>2</sub> O (Nitrous Oxide)	CFC-11 (Chlorofluoro -carbon-11)	HFC-23 (Hydrofluoro -carbon-23)	CF <sub>4</sub> (Perfluoro- methane)
Pre-industrial concentration	about 280 ppm	about 700 ppb	about 270 ppb	zero	zero	40 ppt
Concentration in 1998	365 ppm	1745 ppb	314 ppb	268 ppt	14 ppt	80 ppt
Rate of concentration change <sup>b</sup>	1.5 ppm/yr <sup>a</sup>	7.0 ppb/yr <sup>a</sup>	0.8 ppb/yr	-1.4 ppt/yr	0.55 ppt/yr	1 ppt/yr
Atmospheric lifetime	5 to 200 yr <sup>c</sup>	12 yr <sup>d</sup>	114 yr <sup>d</sup>	45 yr	260 yr	>50,000 yr



### NUMBER OF OBSERVED TORNADOES - U.S.

Annual Total, 1953 - 1993

