

# A hulladékok termikus kezelése

## 1. Égetés:

- exoterm folyamat
- (éghető) szerves komponensei gázokká és vízgőzzé (füstgáz) alakulnak át
- az éghetetlen szervesetlen komponensekből salak és pernye lesz

## 2. Hőbontás:

- endoterm folyamat
- kémiai lebontás O<sub>2</sub>-szegény (elgázosítás) vagy O<sub>2</sub>-mentes (pirolízis) közegben

## **1. Hulladékégetés**

### 1.1. Az égetés jellegzetességei

Általában heterogén összetételű hulladékokat égetünk.

- *Feltételei:*

Megfelelő hőmérséklet: min. 800 - 850 °C, max. 1000 - 1100 °C

$T_{\max}$ -ot a salak lágyulási és olvadási hőmérséklete szabja meg

Salakolvasztásos technológia esetén:  $T_{\max}=1200-1700^{\circ}\text{C}$

Megfelelő légfelesleg: min. 1,1-1,2-szeres, általában 1,5-2,5-szeres mennyiség  
(légfelesleg-tényező  $\lambda=1,5-2,5$ )

Megfelelő tartózkodási idő: általában 0,5-1,5 óra (szilárd hulladék az égetőtérben)  
füstgázok az utóégető térben: min. 2 s.

Megfelelő turbulencia

- *Az égetendő hulladék jellemzői:*

Halmazállapot

Elemanalízis szerinti összetétel (C-,H-,N-,O- és S-tartalom)

Összetétel gyors analízissel (szén-, illó anyag-, víz-, hamutartalom)

Fűtőérték

Térfogatsúly

A hamu, salak olvadási jellemzői

Szemcseméret-eloszlás, maximális darabnagyság

Folyadékok esetén a viszkozitás

Gyulladás hőmérséklet

Halogén-, nehéz- és egyéb fémtartalom

Mérgező anyagtartalom

Fertőzésveszély

- *Technológiai lépések:*

Átvétel, tárolás

Előkészítés (pl. aprítás)

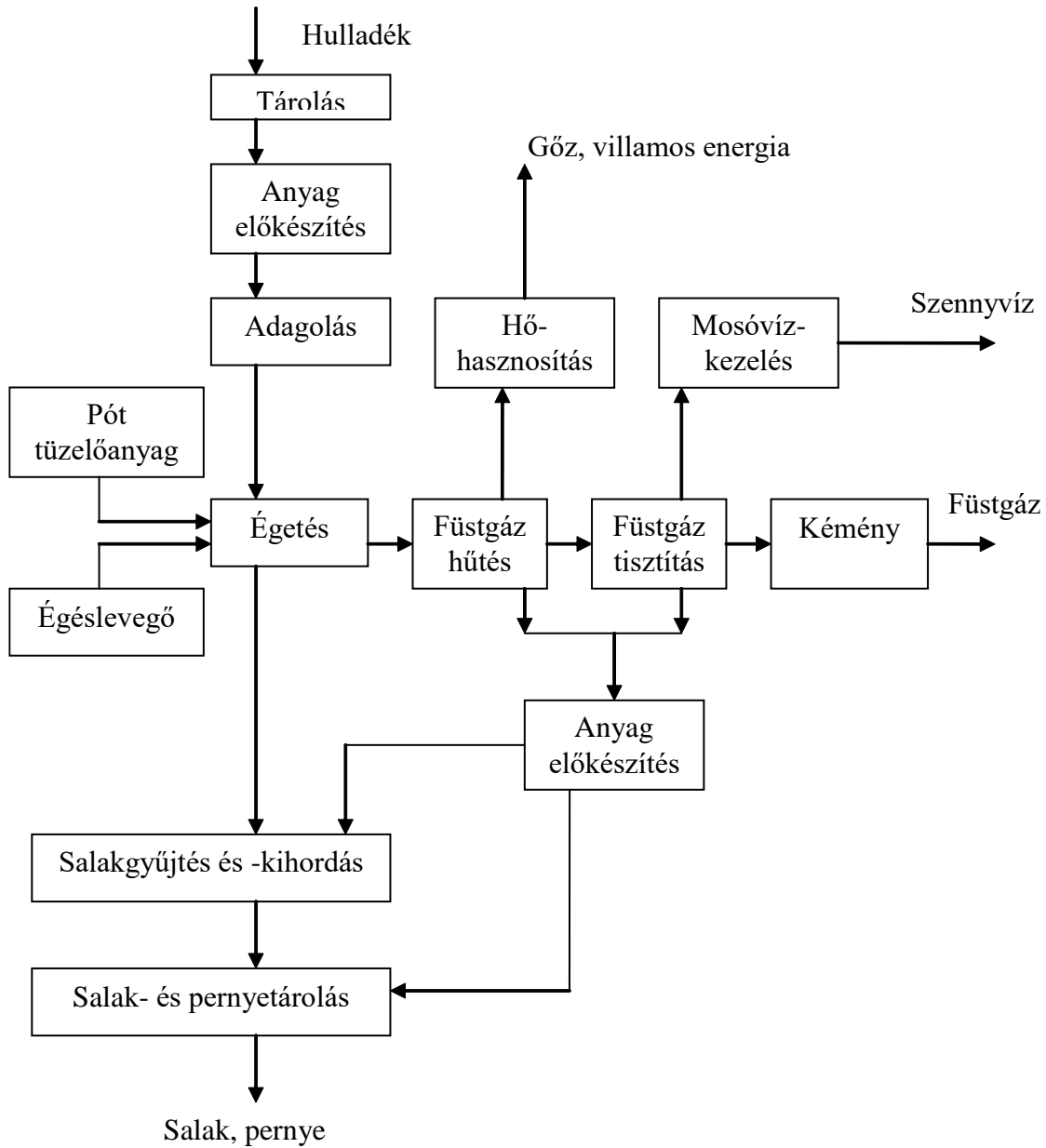
Adagolás

## Égetés

Füstgázhűtés és hőhasznosítás

Füstgáztisztítás

Salak- és pernyekezelés



1. ábra A hulladékégetés technológiai folyamatábrája

### 1.2. Égető berendezések

Csoportosítás:

- tüzelőberendezés típusa szerint:

rostélyos

rostély nélküli

- a berendezés eredeti rendeltetése szerint:

hulladékégető  
nagyhőmérsékletű ipari technológiai berendezés

#### *Tüzelési körülmények:*

-A levegő bevezetés két részletben:

primer (80%), a rostélyt is hűti

szekunder (20%), utóégetés (tökéletes kiégetés) biztosítása

-A hulladék és a füstgáz áramlási iránya szerint a berendezés:

egyenáramú: a hulladék és a füstgáz egy irányba mozog

hátránya: nehéz a szárítás és a begyújtás, a levegőt előmelegítik

ellenáramú: a hulladék és a füstgáz ellentétes irányba mozog

hátránya: tökéletlen égés veszélye: a füstgáz egy része nem megy át a legmelegebb zónán

kombinált (vegyes) áramú

-A tűztér falazata:

megfelelő szilárdság (magas hőmérsékleten is)

koptató hatásnak való ellenállás

kémiai hatásoknak való ellenállás

anyaga: samott (kisebb), vagy műkorund (nagyobb igénybevételre)

- Póttüzelés:

a fűtőérték ingadozása miatt

célja: stabilizálás vagy a teljesítmény növelése

olaj- vagy gázégővel

### 1.2.1 Rostélyos berendezések:

Szilárd hulladék vagy iszap égetésére

A rostély szerepe:

- az égéságy levegőztetése

- hulladék keverése, mozgatása

Az egyes rostélyokat külön elektromotor hajtja.

A rostély átlagos termikus terhelhetősége: 2000-4000 MJ/m<sup>2</sup>h

Folyamatok:

1. Kiszáradás

2. Kigázosodás (100 <T< 250 °C): az illékony anyagok eltávozása

3. Gyulladás (T kb. 300 °C)

4. Elgázosodás (T > 500 °C): a könnyen bomló szerves anyagok eltávozása

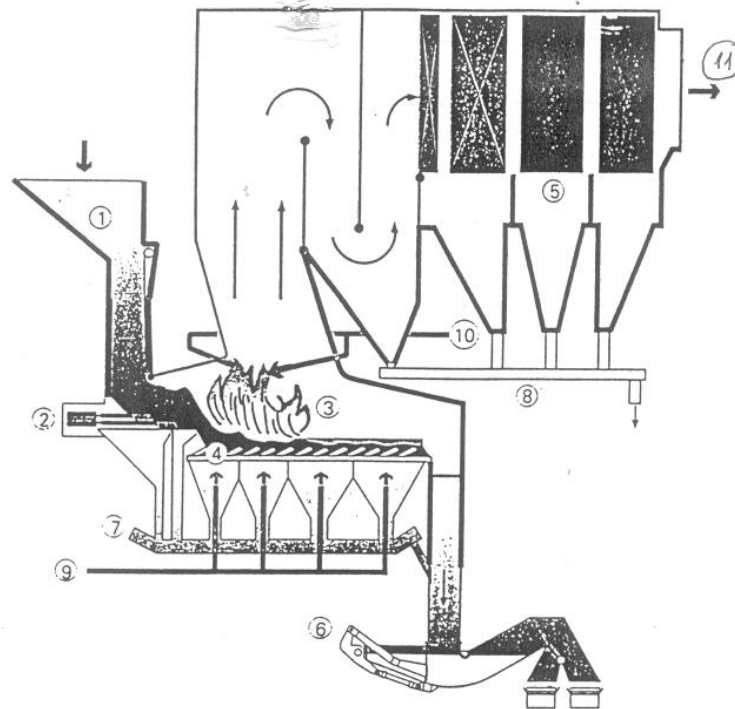
5. A gázok és szemcsék égése (T kb. 1200 °C)

6. Kiégetés az utóégető kamrában (a füstgázok kilépő hőmérséklete 800-900 °C): a szénvegyületek tökéletes elégetése

Légfelesleg:  $\lambda=1,6-1,9$  -> viszonylag nagy mennyiségű füstgázt kell tisztítani

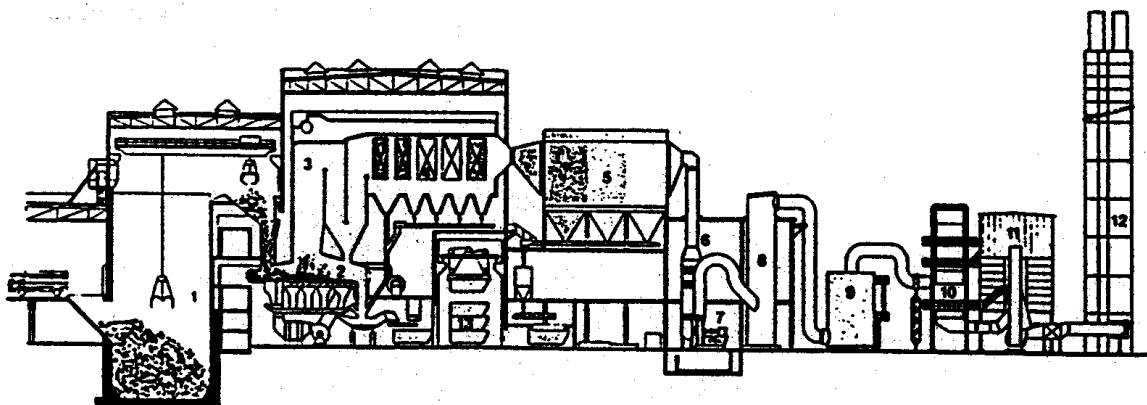
A füstgáz hőtartalmát gőz termelésére használják.

Rostélyos szemétegetők sémáját mutatja (füstgáztisztító berendezések nélkül) a 2. és (füstgáztisztító berendezésekkel) 3. ábra.



1. tölcser és szemétakna; 2. adagoló; 3. égetőtér; 4. rostély; 5. hőhasznosító kazán;  
6. leszalakoló; 7. rostélyhulladék elvezetés; 8. pernyeszállító rendszer; 9. primer levegő;  
10. szekunder levegő; 11. kilépő füstgáz

2. ábra Rostélyos szemétegető sémája (füstgáztisztító berendezések nélkül)



1. szeméthombár 2. égető rostély 3. utóégető kamra 4. gőzkazán 5. elektrofilter 6. tápvíz-  
előmelegítő 7. szívóventillátor 8. füstgázmosó 9. nedves porleválasztó 10. NO<sub>x</sub>-csökkentő  
11. dioxinleválasztó 12. kémény 13. salakkihordó

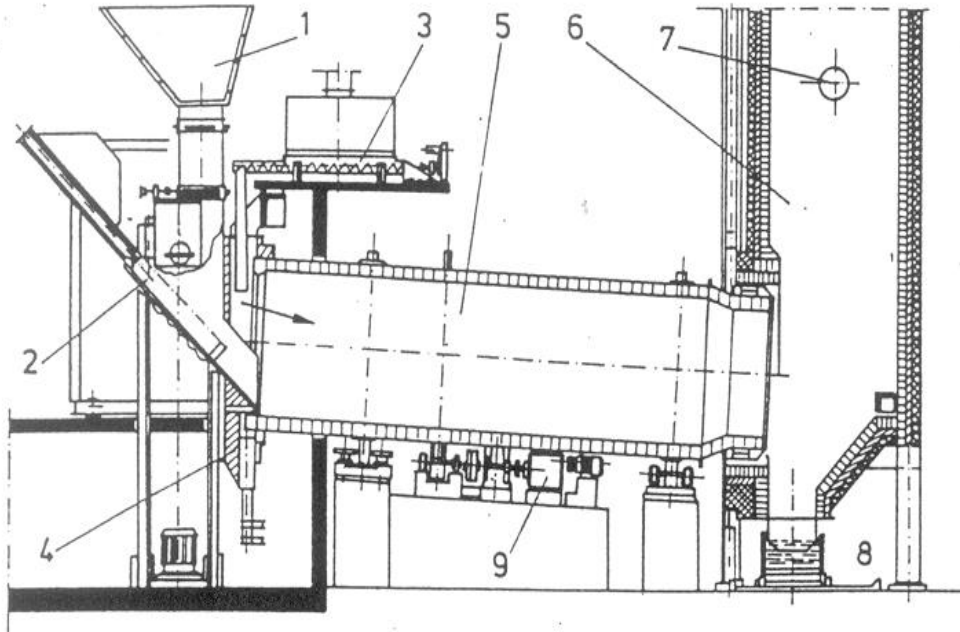
3. ábra Rostélyos szemétegető sémája (füstgáztisztító berendezésekkel)

### 1.2.2. Rostély nélküli berendezések:

Általában hengeres kialakítású tűztér (pl. forgódobos kemence). Emiatt a hőszugárzás intenzitása nagyobb, kisebb a hőveszteség.

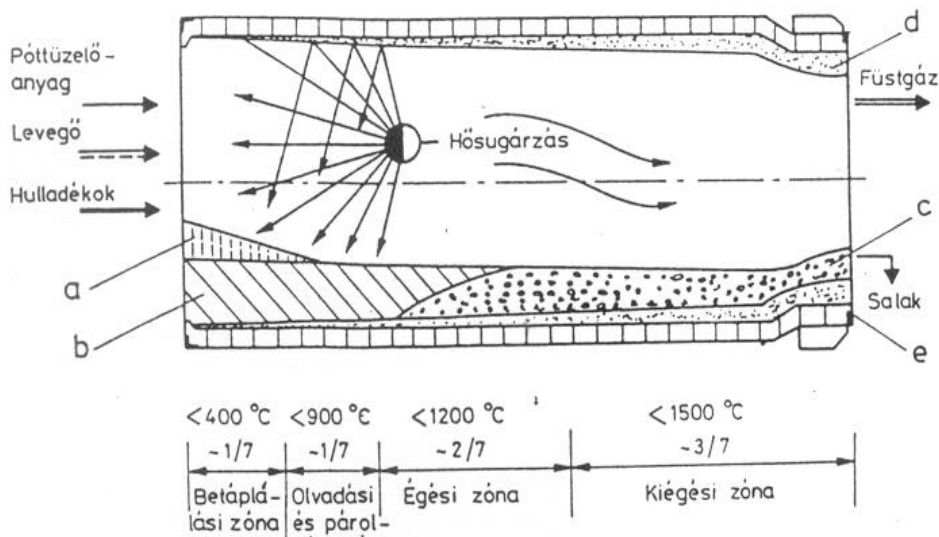
#### a. Forgódobos kemence:

- Egyenáramú (4. ábra) vagy ellenáramú.



1. szilárd anyag beadagolása; 2. hidraulikus adagoló; 3. csigas adagoló iszap beadagolásához; 4. kemence fejrésze; 5. falazott forgódobos kemence; 6. utóégető; 7. folyékony hulladék égetése; 8. salak kihordó; 9. hajtómű

4. ábra Forgó csőkemencés égető rendszer vázlatja



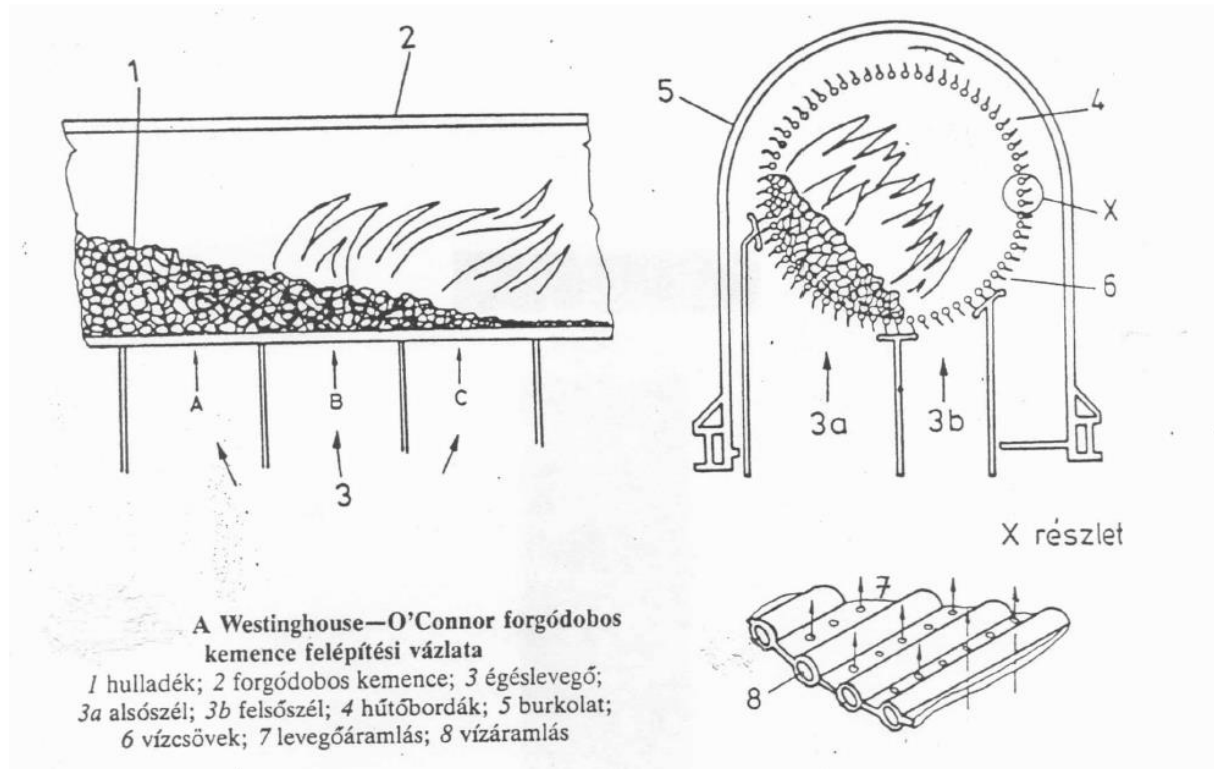
- a. vízgőz; b. éghető anyag; c. salak; d. salak olvadék; e. falazat

5. ábra Forgódobos kemence hőmérsékleti szakaszai

- Enyhén (2-4%) lejt és lassan forog ( $n=0,2-2 \text{ min}^{-1}$ )
- A dőlésszög és a fordulatszám változtatható.
- Méretek:  $L=8-13 \text{ m}$ ,  $D=3-4 \text{ m}$
- Kibélelt hengeres tűztér
- Az égéságy homorú formát vesz fel, így aktív felülete nagyobb.
- A hulladék mozgása kétirányú: 1. A palásttal forog (majd visszacsúszik). 2. Halad előre.
- Belső terelőfogazat növeli a hulladék tartózkodási idejét.
- A dob végén a gázok feltorlódhatnak => nagy turbulencia, ami kedvez az égésnek.
- Általában van utóégető tér: olaj vagy gázégők,  $T=900-1000 \text{ }^\circ\text{C}$
- A salak a gravitáció segítségével távozik (kifolyik).
- Salakolvasztás esetén a falazat védelme érdekében vékony (15-20 cm-es) salakréteg előzetes felvitele
- A légfelesleg tényező  $\lambda=2-2,5$  szerez
- Szilárd, iszapos és folyékony hulladék is égethető benne.

b. Westinghouse – O'Connor forgódobos kemence:

- Vízhűtéses membránfal, mely nincs kifalazva
  - Levegő bevezetése a membránfal csövei közti furatokon történik, jó levegő eloszlás
  - A levegő közvetlenül az égéstér fölé is bevezethető
- A légfelesleg:  $\lambda=1,5$



6. ábra Westinghouse – O'Connor forgódobos kemence

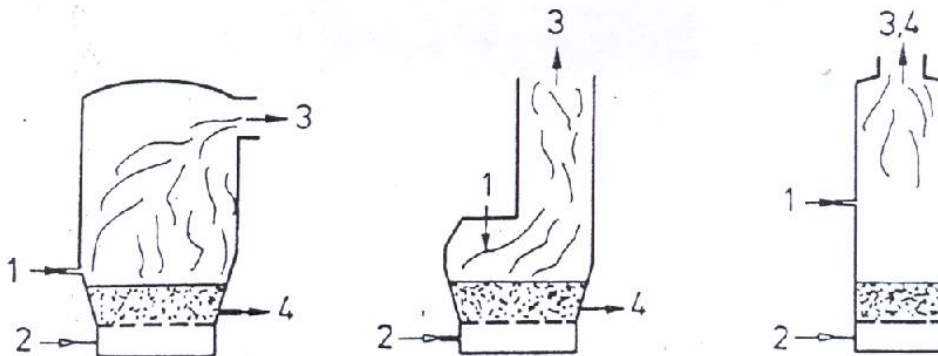
### c. Fluidizációs kemence

#### A fluidizáció jelensége:

Szilárd szemcsés anyagot alulról felfelé áramló gázzal (esetleg folyadékkal) lebegtetünk (pulzáló mozgásba hozunk). (A szilárd fázis fluidumként viselkedik.)

#### A fluidizációs kemencék jellemzői:

- Aprított szilárd, iszapos és folyékony hulladékokra.
- Örvényágy: fonom szemcsés ömlesztett anyagból álló réteg, a tartórostély felett örvénylő mozgást végez. Anyaga: kvarc, korund vagy bazalt. (az 1.3.8. ábrán a sűrűn pontozott rész)
- A hulladék bevitele az örvényágy fölé beejtéssel vagy beporlasztással történik.
- $T = 750-850^{\circ}\text{C}$  (viszonylag alacsony)
- Légfelesleg tényező:  $\lambda = 1,1-1,3$
- A hamu az örvényágy anyagával (a, b) vagy a füstgázzal (c) távozik.
- Lehetséges üzemzavar: a hulladék (pl- alkáli só) megolvad, rátapad az örvényágy szemcséire, és az örvényágy zsugorodik.
- Hőhasznosítási lehetőségek:
  1. Az örvényágyban hűtőcsövek
  2. Utánkapcsolt kazán (A füstgáz magas por és pernyetartalma miatt ez nem túl jó megoldás.)



1 hulladék; 2 levegő; 3 füstgáz; 4 hamukihordás

7. ábra Különböző fluidizációs kemence kialakítások

#### d. Emeletes kemence

Ellenáramú. Iszapok égetésére.

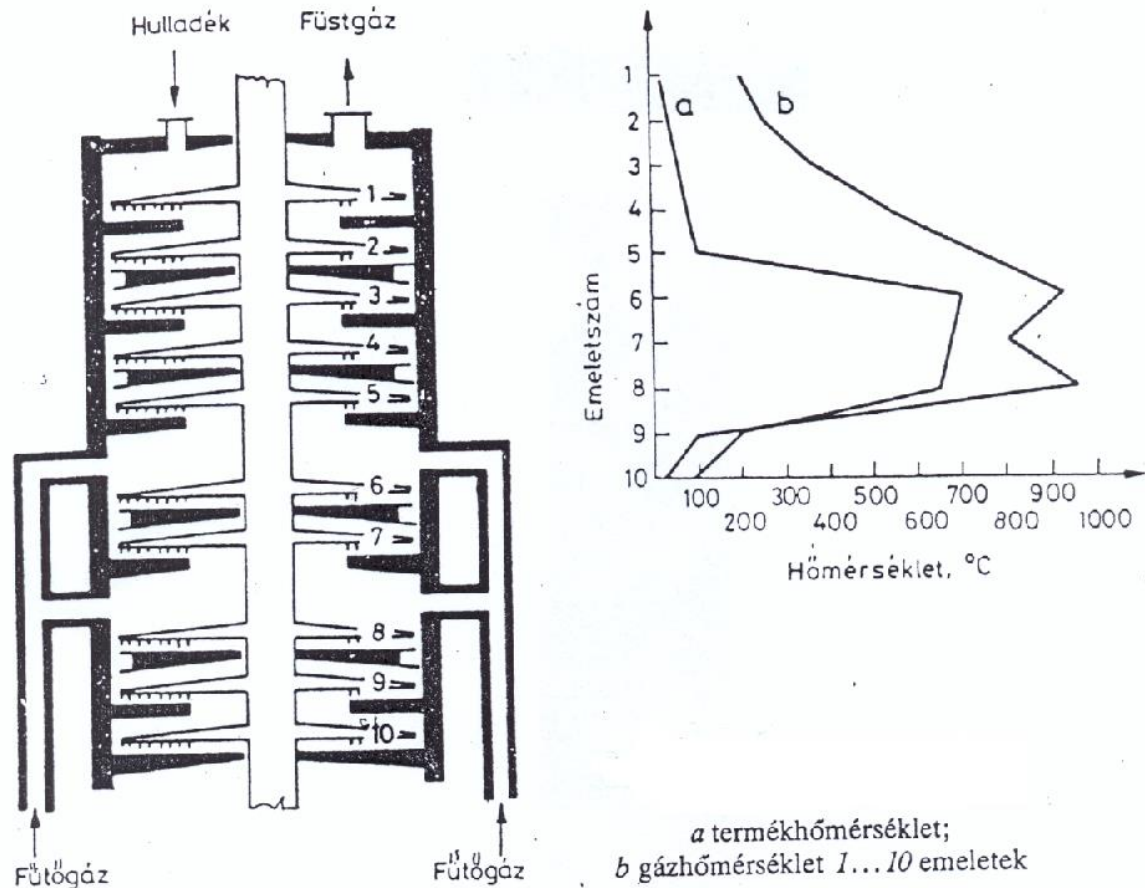
Működési szakaszok: 1.-5. emelet: szárítás

6.-7. emelet: égetés

8.-10. emelet: salak hűtése

Hűtött tengelyen kaparók vannak elhelyezve: az anyag közepre terelése a feladatuk.

A távozó füstgáz vízgőzzel telített, bűdös. -> Tisztítani kell.



8. ábra Emeletes kemence felépítése és hőmérséklet profilja

#### e. Kombinált fluidizációs és emeletes kemence

Az emeletes rész a hulladék kiszárítását végzi

A fluid rész a hulladék tökéletes égését biztosítja. (itt már kisebb a levegő szükséglet)



#### f. Égető kamrák

Fix dob, kifalazott.

A hulladék és a levegő megfelelő összekeverése fúvókákkal és porlasztókkal.

##### a. Párhuzamos (egyen-) áramú:

A hulladék és a levegő (+füstgáz) egy irányba halad (párhuzamosan), a keveredés emiatt lassabb.

Könnyen porlasztható és égethető folyadékok és gázok égetésére.

##### b. Keresztáramú:

A levegő befúvatása radiális furatokon a hulladék haladási irányára merőlegesen történik. Jobb keveredés, kisebb berendezés is elegendő.

Nehezen éghető hulladékokra is (emulziók, iszapok előaprított szilárd hulladékok)

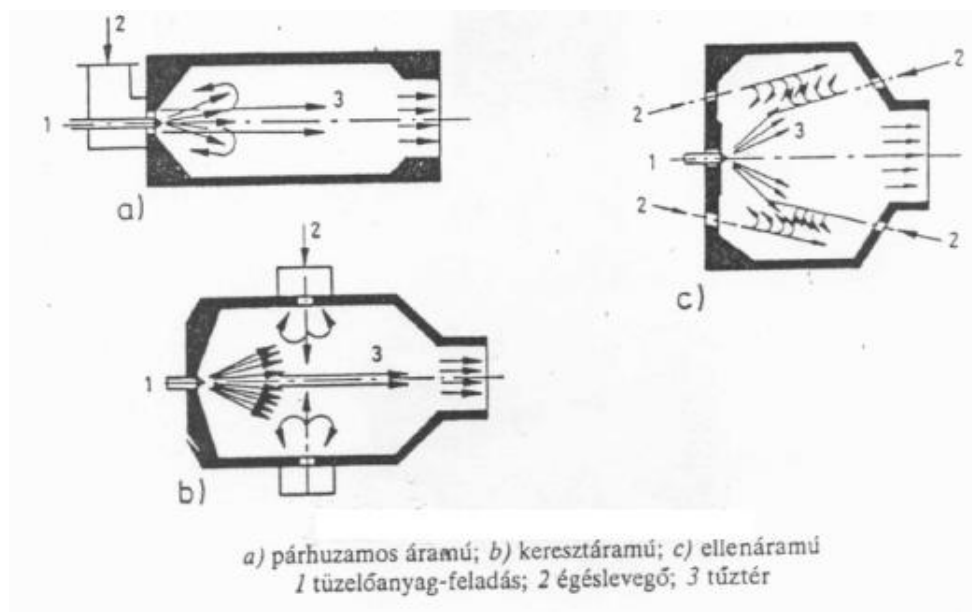
Kétkamrás változat: az első kamrában előégetés (néha, levegőhiánnyal hőbontás)

##### c. Ellenáramú

A levegő befúvatása több szabad sugárban, egymással szembe történik.

Intenzív keveredés és égés.

Kizárólag folyadékokra.



9. ábra Égető kamrák alaptípusai

#### g. Sólolvadékos kemence:

A kemence alján sóolvadék ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ )

A hulladékot a só alá vezetik, a füstgáz az olvadékon átbuborékol.

A só szerepe:

- Hőátadó közeg
- Az égéstermék tisztítása
- Katalizátor

Igen magas ártalmatlanítási határfok

#### h. További berendezések:

Plazmaíves  
Nagy hőmérsékletű fluid ágyas  
Infravörös sugárzás  
Mikrohullámú és elektromágneses sugárzás

## **2. Füstgázhűtés és hőhasznosítás**

A füstgáz a tüztérből 900-1000°C-on távozik.

Célok: - a füstgáz hőjének hasznosítása  
- a tisztító berendezések védelme (T ne legyen túl magas);  
- a savas gázok (harmatpontjuk:  $T_{hp}=140-180\text{ °C}$ ) miatti korrózió csökkentése  
( $T_{vég}>T_{hp}$ )

A füstgázok hűtése általában 250-300 °C-ra történik.

### **2.1 Füstgázhűtés**

A füstgázt le kell hűteni (vízzel vagy levegővel)

a. Közvetlen hűtési módok: a hűtőközeg érintkezik a füstgázzal

-Levegő befúvatás:

A hűtőközeg könnyen hozzáférhető (+)

A kiülepedett por felkavarodhat és visszakerülhet a gázáramba (-)

Nagyon sok levegő kell (a füstgáz mennyisége 3-4-szeresre nő) (-)

-Vízbepermetezés:

Kevés víz kell (+).

A nedves füstgáz reakcióképesebb: korrózió! (-)

-A kettő kombinációja:

Először hűtés vízbepermetezéssel kb. 5-600 °C-ra, majd további hűtés levegővel (a füstgáz mennyisége csak kb. 2-szeresre nő)

b. Közvetett hűtés: a hűtőközeg nem érintkezik a füstgázzal (hűtés falon át)

Általában gőzkazánokkal.

Speciális szempontok a kazán tervezésekor:

- a hulladék heterogenitása,
- a füstgáz magas portartalma,
- pernye lerakódás veszélye,
- a halogének miatt korrózió:  $T_{max}=450\text{ °C}$ ,
- harmatponti korrózió:  $T_{min}=200\text{ °C}$ .

A fűtőfelület tisztítása:

- kopogtatókkal,
- a korom lefúvatása gőzzel vagy sűrített levegővel.

A kazánok működése ingadozik (kb. 20 %), de ez csökkenthető:

- automatizálással,
- a hulladék homogenizálásával.

## 2.2. Hőhasznosítás

Általában a füstgázok hőtartalmát gőz előállítására hasznosítják.

Kapcsolási rendszerek a hőenergia hasznosítására:

1. *Fűtőmű*: kis nyomású gőz termelése távhő- vagy ipari gőz szolgáltatására.

Az ipari fogyasztók igénye egyenletesebb. Fogyasztás a közelben!

2. *Fűtőerőmű*: gőz és villamos energia termelése (min. 8-10 t/h gőztermelés kell az ellennyomásos erőgép számára).

3. *Kondenzációs erőmű*: csak villamos energia termelése kondenzációs turbinával (1 t hulladék -> 350-400 kWh, nagy beruházási költség és magas fajlagos gőzfogyasztás).

4. *Fűtőerőmű elvételes kondenzációs turbinával*: a gőztermelés a hőfogyasztók igényéhez igazítható.

A *kazánvizet* újra felhasználják, de egy részét (kb. 10 %-át) leeresztik, és friss vízzel pótolják az oldott sók koncentrációjának megakadályozása céljából. Ha a kis nyomású gőzt nem használják fel, hanem kondenzáltatás után kiengedik, lehet, hogy előtte még hűteni is kell (pl. hűtőtoronyban), mert a befogadó víz (pl. folyó) hőmérséklete 1 °C-nál többet nem emelkedhet.

*Szükségkondenzátor*(ok) alkalmazása: a hőhasznosító rendszer kiesése (pl. karbantartás) esetén használják. => Az égetőt nem kell leállítani. (A max. teljesítmény 50%-ára méretezik.)

Ha az égető *szennyvíztisztító közelében* van: a füstgáz/vízgőz a szennyvíziszap termikus kezelésére (szárítás) is használható.