

Megújuló energiaforrások I.

Biomassza 2.

***Szilárd biotüzelőanyagok
égetése, elgázosítása, pirolízise,
szenítése***

**Dr. Ivelics Ramón PhD.
egyetemi adjunktus**

**PTE MIK Mérnöki és Smart Technológiák Intézet
Környezetmérnöki Tanszék**

Primer energiahordozók csoportosítása kimerülésük alapján

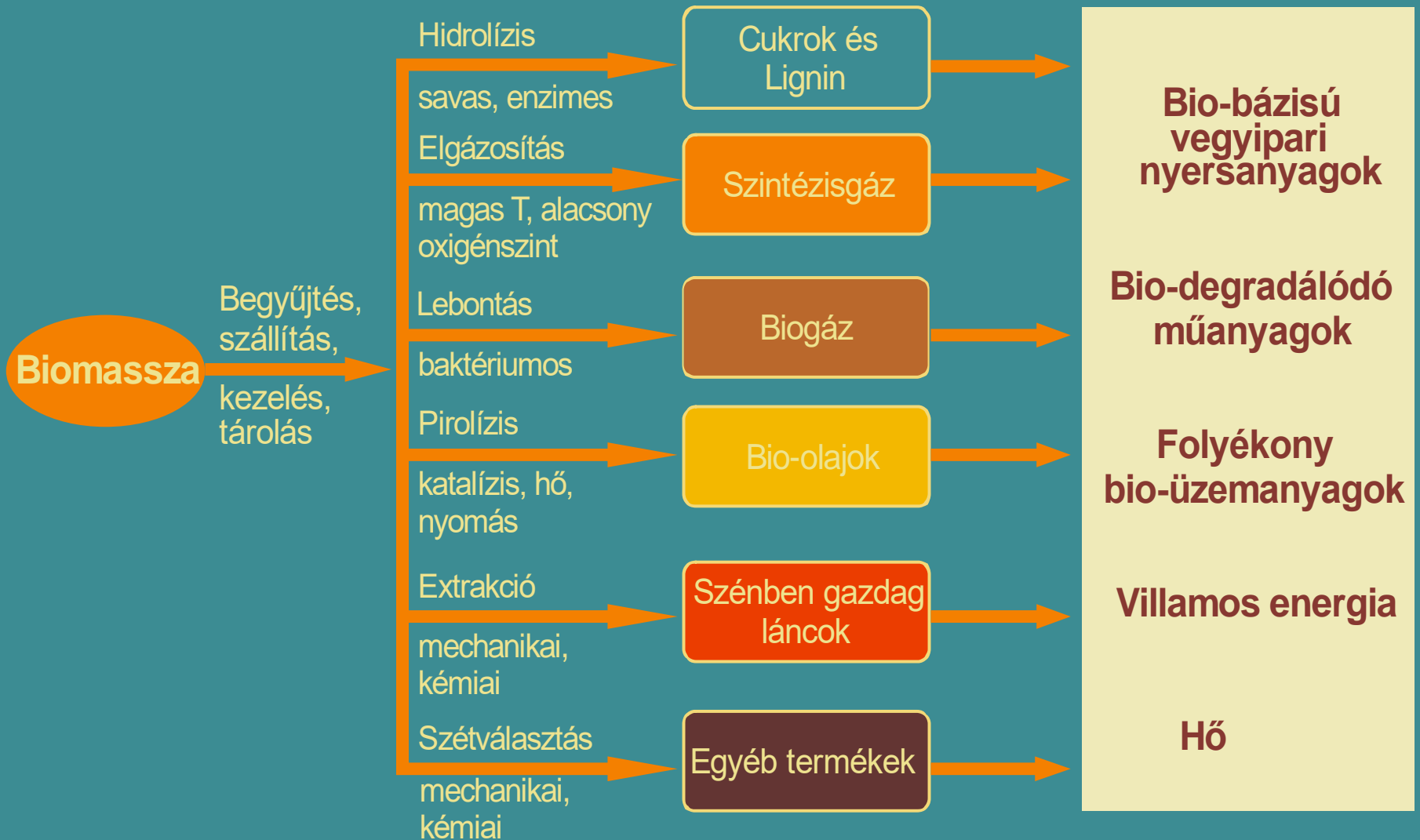
Kimerülő energiahordozók

- kémiai tüzelőanyagok:
 - szén, kőolaj, földgáz, egyéb,
- nukleáris tüzelőanyagok:
 - fissziós, fúziós,
- geotermikus energia
- exoterm reakciók

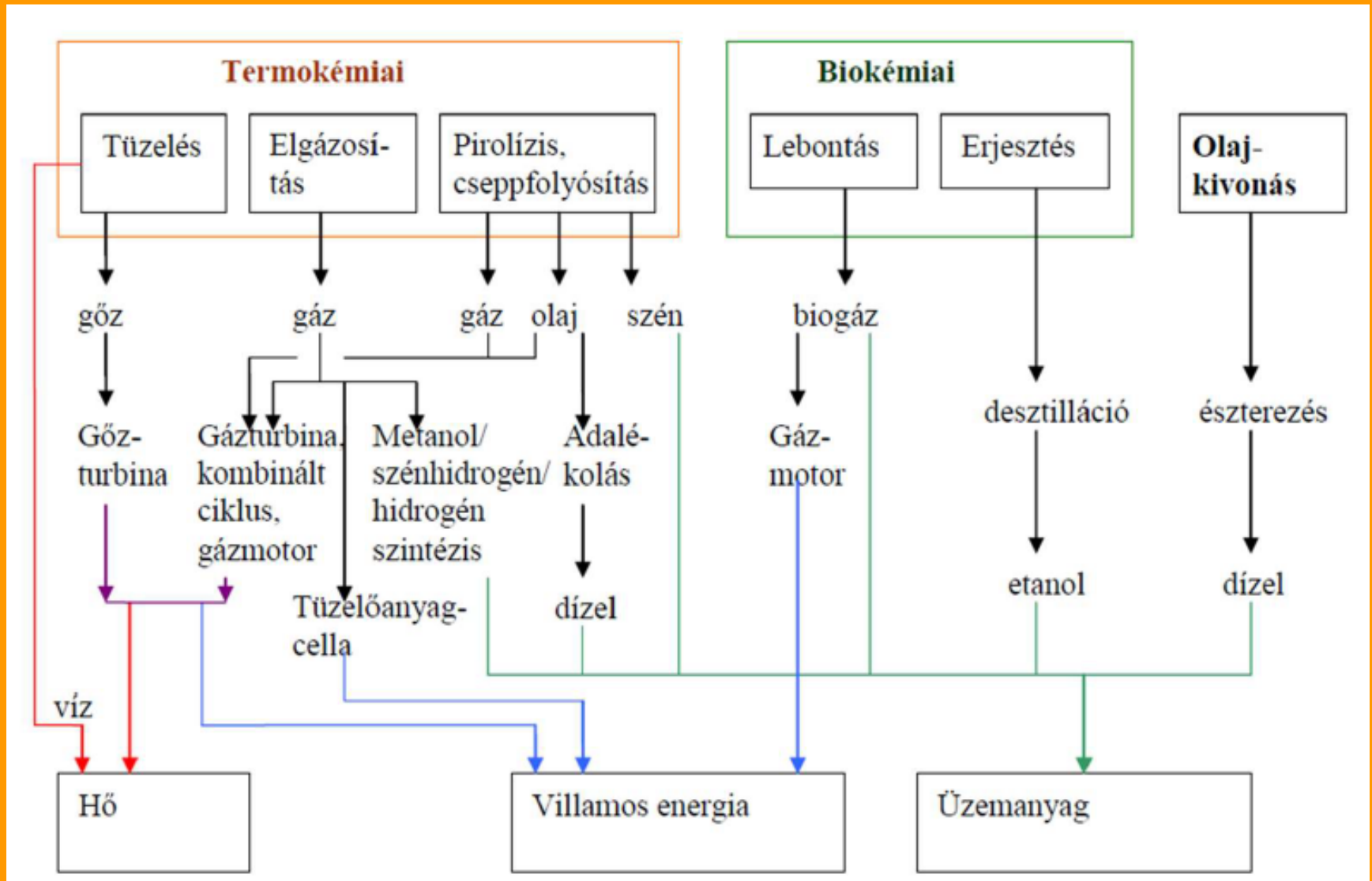
Megújuló energiahordozók

- napenergia: napsugárzás, fotoszintézis, szél, víz, hullámzás, hőfokkülönbségek, stb.
- **bioenergia: izomerő, biomassa, mikrobiológiai reakciók,**
- gravitáció: árapály.

A biomassza mint nyersanyag



Biomassza energia-konverziója



A biomassza közvetlen elégetése

A szilárd biomasszát közvetlen elégetéssel

- a biomassza közvetlen tűztérbe juttatásával,
- előkészítést követő elégetéssel (bála-, apríték-, biobrikett-, pellet-, egyéb tüzelés),
- termikus gázosítással (elgázosítás)

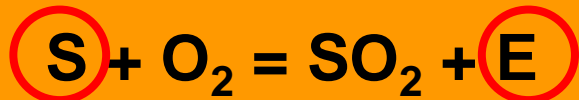
lehet energiatermelésre használni.

Égethető anyagok az energiahordozókban C, H, S

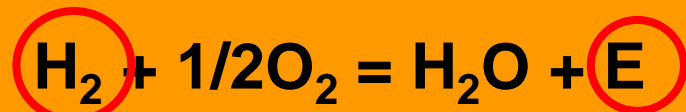
Égethető anyagok az energiahordozókban C, H, S



$$12 \text{ kg C} + 32 \text{ kg O}_2 = 44 \text{ kg CO}_2 + 407 \text{ MJ}$$



$$32 \text{ kg S} + 2 \text{ kg O}_2 = 64 \text{ kg SO}_2 + 297 \text{ MJ}$$



$$2 \text{ kg H}_2 + 16 \text{ kg O}_2 = 18 \text{ kg H}_2\text{O} + 287 \text{ MJ}$$

Levegő szükséglet meghatározása

A súly és térfogat szerinti egyesülési egyenleteket figyelembe, ha

$$C+H_2+S+O_2+N_2+n+h=1\text{kg}$$

Ahol, az **1kg tüzelőanyagban** lévő szén, hidrogén, kén, oxigén, nitrogén, nedvesség és hamu mennyisége kg-ban értendő és figyelembe véve a tüzelőanyag 21 Nm³/kg oxigéntartalmát az elméletileg **szükséges oxigén mennyisége:**

$$O_{2\text{elm}}=1,867C+5,6H_2+0,75S-0,7O_2 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

A **levegőszükséglet** pedig, mivel a levegő 0,21% O₂-t és 0,79% N₂-t tartalmaz

$$V_o=1/0,21O_{2\text{elm}}=4,76O_{2\text{elm}} \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

A **valóságos levegő mennyiség** pedig

$$V_v=\lambda V_o \text{ Nm}^3/\text{kg}, \text{ ahol } \lambda \text{ a légfelesleg tényező.}$$

Szilárd biotüzelőanyagok égési folyamata

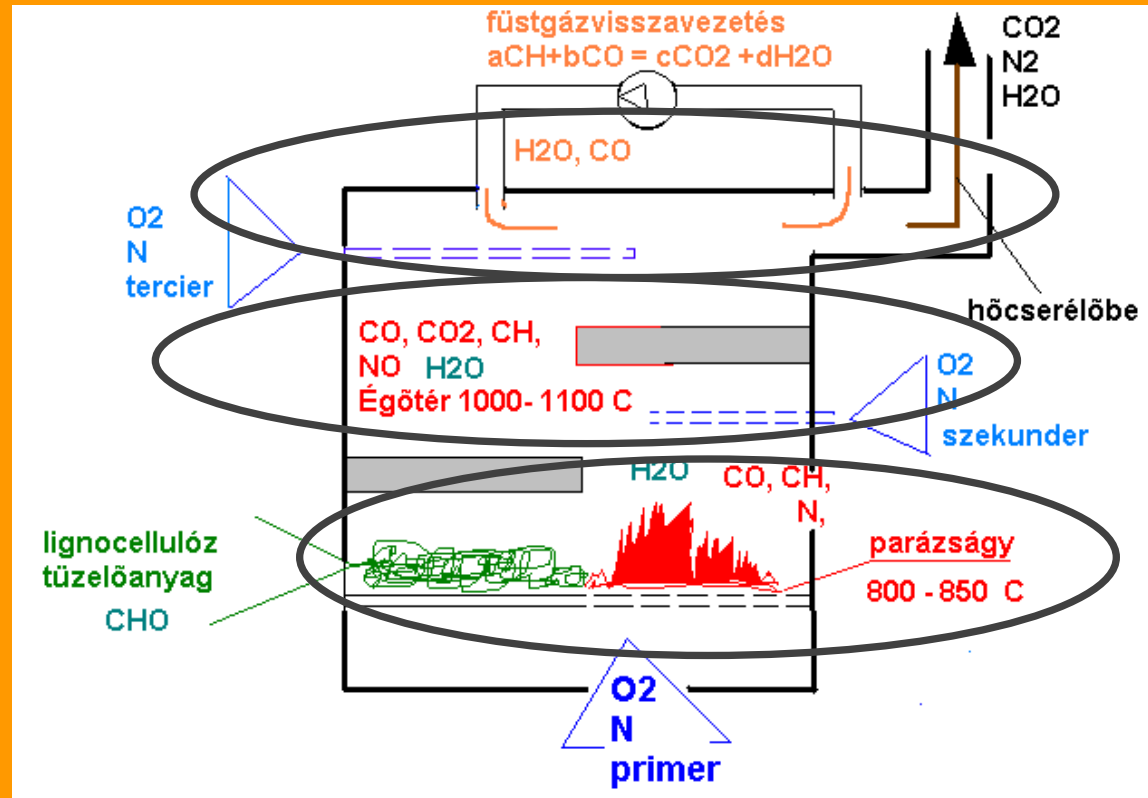
Égési folyamatok:

1. felmelegedés ($<100^{\circ}\text{C}$);
2. száradás ($100-150^{\circ}\text{C}$);
3. pirolitikus bomlás ($150-230^{\circ}\text{C}$; CO , C_mH_n);
4. folyékony és szilárd anyagok elgázosodása (primer levegő + pirolízisgáz, $230-500^{\circ}\text{C}$);
5. szén elgázosodása (vízgőz, CO_2 segítségével, $500-700^{\circ}\text{C}$);
6. éghető gázok oxidációja (szekunder levegő, $700-1400^{\circ}\text{C}$).

A lignocellulózok energiatartalmának közel 70 %-a az anyagból a hő hatására kilépő gáznemű anyagokban van, és csak 30% a szilárd maradványokban (karbon). A tüztérben jelen levő hő hatására a kigázosodás már 130 °C hőmérsékleten megkezdődik, és többnyire 350 °C hőmérsékleten a legintenzívebb. A kigázosodás időszakában a tökéletes égéshez sokkal nagyobb légfelesleg szükséges, mint a kigázosodott szilárd maradvány égésekor. Ez jelenti a legnagyobb vezérlési problémát, hiszen a légfelesleget a kigázosodással arányban kellene folyamatosan változtatni.

A lignocellulózok égését célszerű három szakaszban, de ugyanakkor folyamatosan végezni, az égő anyag folyamatos mozgása közben. Az első szakaszban a lignocellulózok száradása és kigázosodása megy végbe tökéletlen égés közben, ezért a parázságyban a hőmérséklet nem lépi túl a 800-850 °C-ot. A második szakaszban az éghető gázok égése folyik a szekunder-levegő hozzáadásával, a harmadik szakaszban pedig a füstgázok utóégetése következik be. Ez utóbbi a füstgázösszetételt is javítja (csökken az el nem égett CH mennyisége).

A biomassa energetikai hasznosításához használt tüzelőberendezések jelentősen eltérnek a hagyományos szilárdanyag-tüzelőktől



Tökéletlen égés

- **Tökéletlen égés miatti kibocsátás:**
 - CO,
 - C (korom),
 - C_mH_n ,
 - Elégetlen részecskék.
- **Megelőzhető:**
 - Min. 800 °C,
 - Légfelesleg tényező: > 1,5
 - Égési zónában töltött idő > 0,5 s.

Megnevezés	Sűrűség (kg/m ³)	Nedvesség (%)	Hamu (%)	Éghető kén (%)	Fűtőérték (MJ/kg)
Fa	400...890	10...65	0,5...6,0	kb.0	5...21
Lignit	670...700	40...50	15...40	2...5	5...15
Barnaszén	750...840	12...40	5...25	1...2	10...18
Feketeszén	800...860	5...15	3...10	0,5...2	15...25
Tüzelőolaj	800...960	0,5...3,0	0,02...0,5	1...2	40...42
Fűtőolaj	900...990	0,5...1,5	0,3...0,5	1,2...5	37...43
Földgáz	0,45...0,70	kb.0	kb.0	kb.0	34...43
PB-gáz	1,5...2,4	kb.0	kb.0	kb.0	23...27

➤ **Biomassza:**

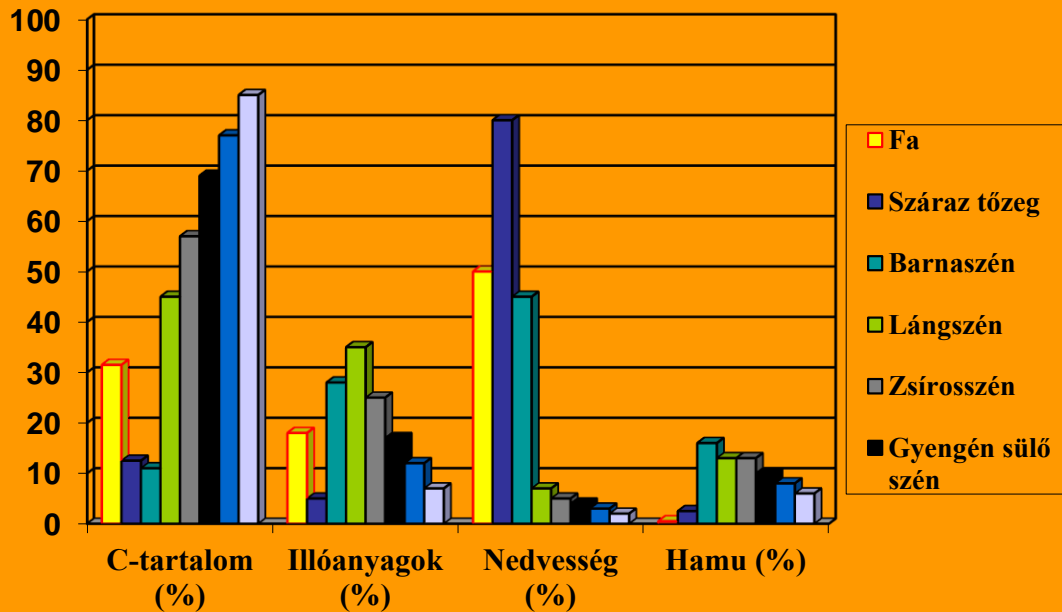
- C: 33-45%
- O: 28-36%
- H: 3,6-4,5%
- S: 0,01-0,1%
- h: 1,5-7%
- n: 14-34%

➤ **Szén:**

- C: 31%
- O: 8%
- H: 2,6%
- S: 3,8%
- h: 40%
- n: 13%

➤ Illó anyag: 70-85%

➤ Illó anyag: 28-35%



A energiahordozók tulajdonságai (átlagos értékek)

Biomassza tüzeléstechnikai jellemzői

- **Összetétel:**

- **C: 45-50%**

- **O: 40-45%**



**Kevesebb égési levegő,
kevesebb füstgáz**

- **H: 5-6%**



Fűtőértéket alig növeli

- **S: 0,02-0,15%**



Lignit: 1-1,5 %

- **Illóanyag:
70-85%**

A tüzelőanyagként felhasználható biomassza elemi összetétele és fűtőértéke

Biomassza	Kémiai összetevők (%)					Fűtőérték (MJ/kg)	Hamu (%)	Illó éghető (%)
	C	H	O	N	S			
Búzaszalma	45	6	43	0,6	0,12	17,3	5,28	74
Kukoricaszár	44	5,8	40	1,3	0,12	17,5	8,78	76
Fa	47	6,3	46	0,16	0,02	18,5	0,52	85
Kéreg	47	5,4	40	0,4	0,06	16,2	7,14	75
Fa+kéreg	47	6	44	0,3	0,05	18,1	2,65	82
Miscanthus	46	6	44	0,7	0,1	17,4	3,2	80

Tüzelőberendezések fajtái

A tüzelőberendezések lehetnek:

A működési elv szerint
direkttüzelők,
előtéttüzelők.

A felhasználási terület szerint
egyedi hőtermelők,
fűtőberendezések.

A direkt tüzelők főleg háztartási kistüzelők (10-50 kW)

kályhák

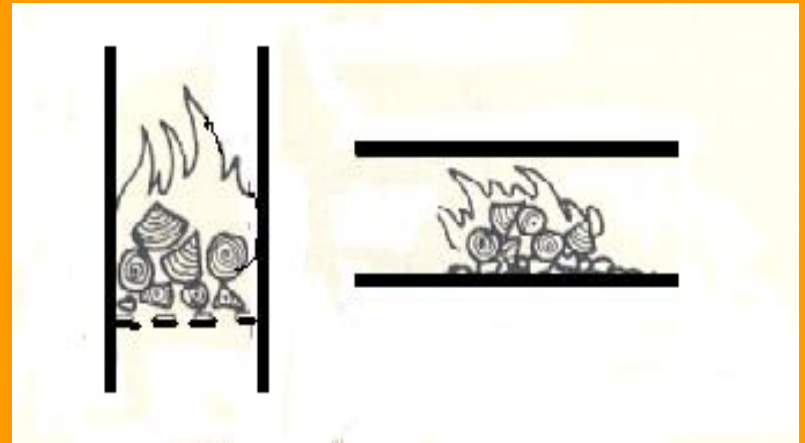
- vaskályhák
- cserépkályhák

kandallók

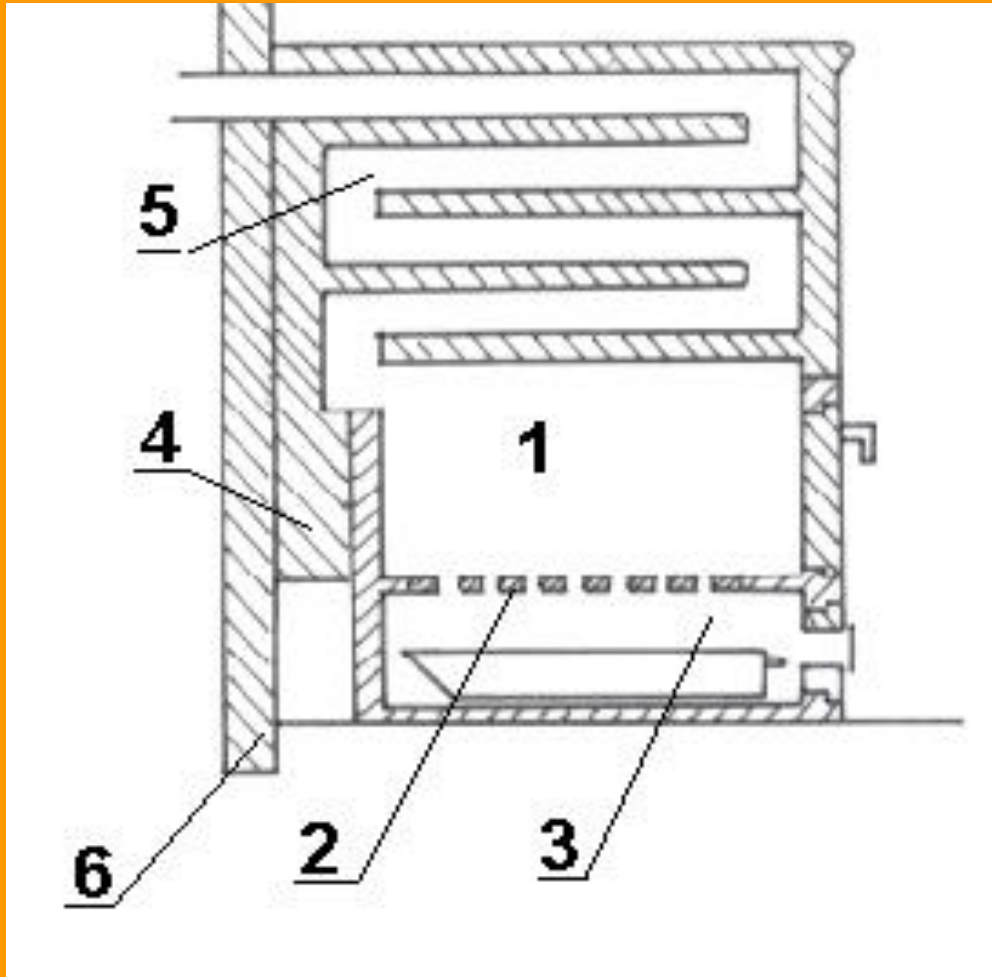
- nyitott kandallók
- kazettás kandallók
- hőcserélős kandallók
 - vizes hőcserélők
 - levegős hőcserélők

kiskazánok

- egyaknás
- kétaknás
- kombinált



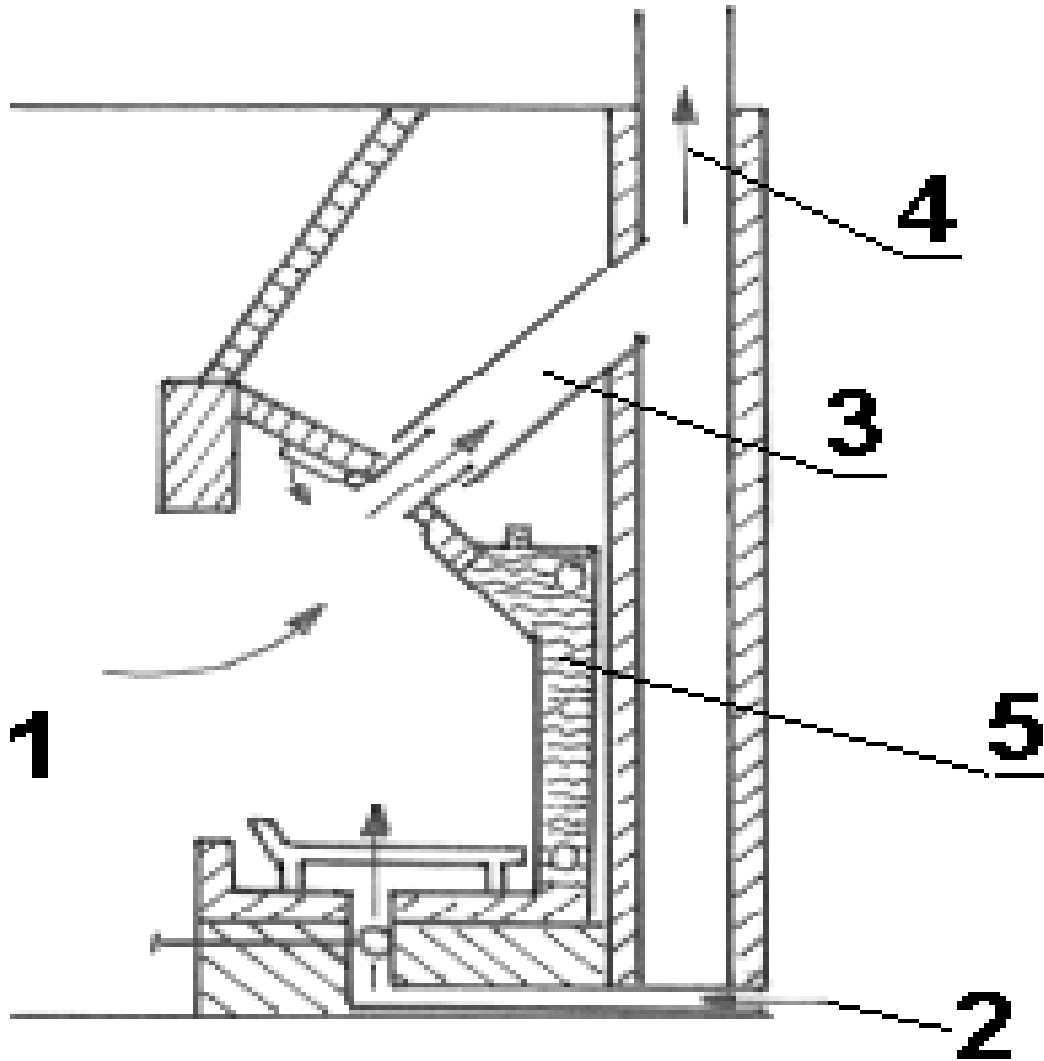
Cserépkályha



A cserépkályha felépítése (hagyományos és hőcserélős)

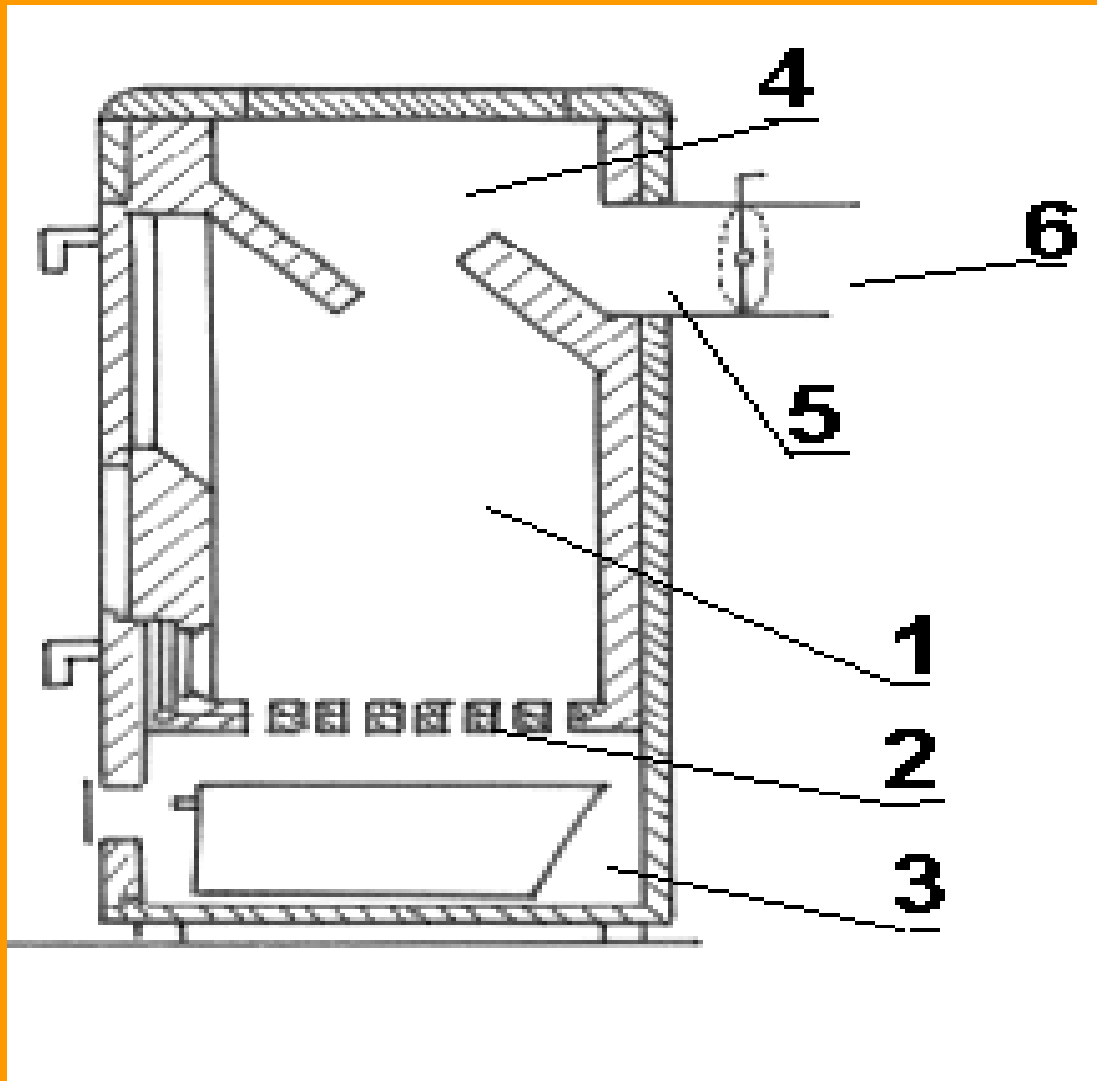
1. Tűztér,
2. Rostély,
3. Hamutér,
4. Kerámiatest,
5. Hőcserélő labirint,
6. Épület falazat.

Kandalló



Központi fűtéshez
kazánként is
használható
kandalló metszete.
1. Tűztér,
2. Primer levegő
bevezetés,
3. Füstcső,
4. Kémény,
5. Vizes hőcserélő

Egyaknás darabosfa-tüzelő kályha metszete



1. Tűztér,
2. Rostély,
3. Hamuszekrény,
4. Utóégető,
5. Pillangószelep,
6. Füstcsatorna-csonk.

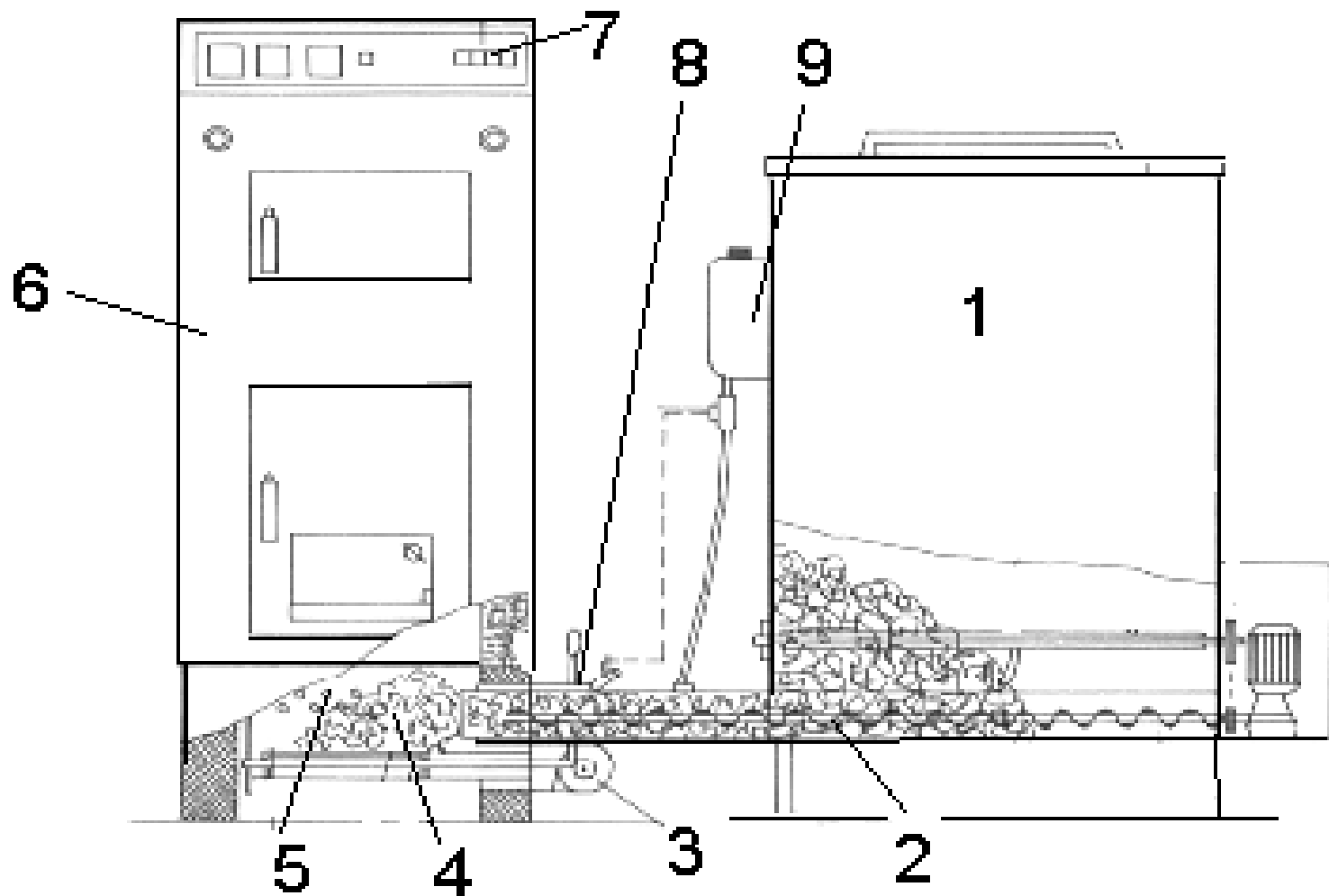
Különböző tüzelési módok hatásfok tartománya

tüzelési mód	hatásfok(%)
nyitott tűz (tábortűz)	5-10
nyitott kandalló	10-30
egyszerű kályha (egyaknás)	15-30
kandalló hőcserélő betéttel (vizes)	15-60
kétaknás kályhák	15-60
egyaknás kiskazán hőtároló nélkül	40-60
betétes cserépkályha	40-75
egyaknás kazán hőtárolóval	50-75
alsóégésű kazán hőtároló nélkül	50-75
alsóégésű kazán hőtárolóval	70-85
előtettüzelő, automatikus betáplálással	75-92

Hasábfá és brikett tüzelés

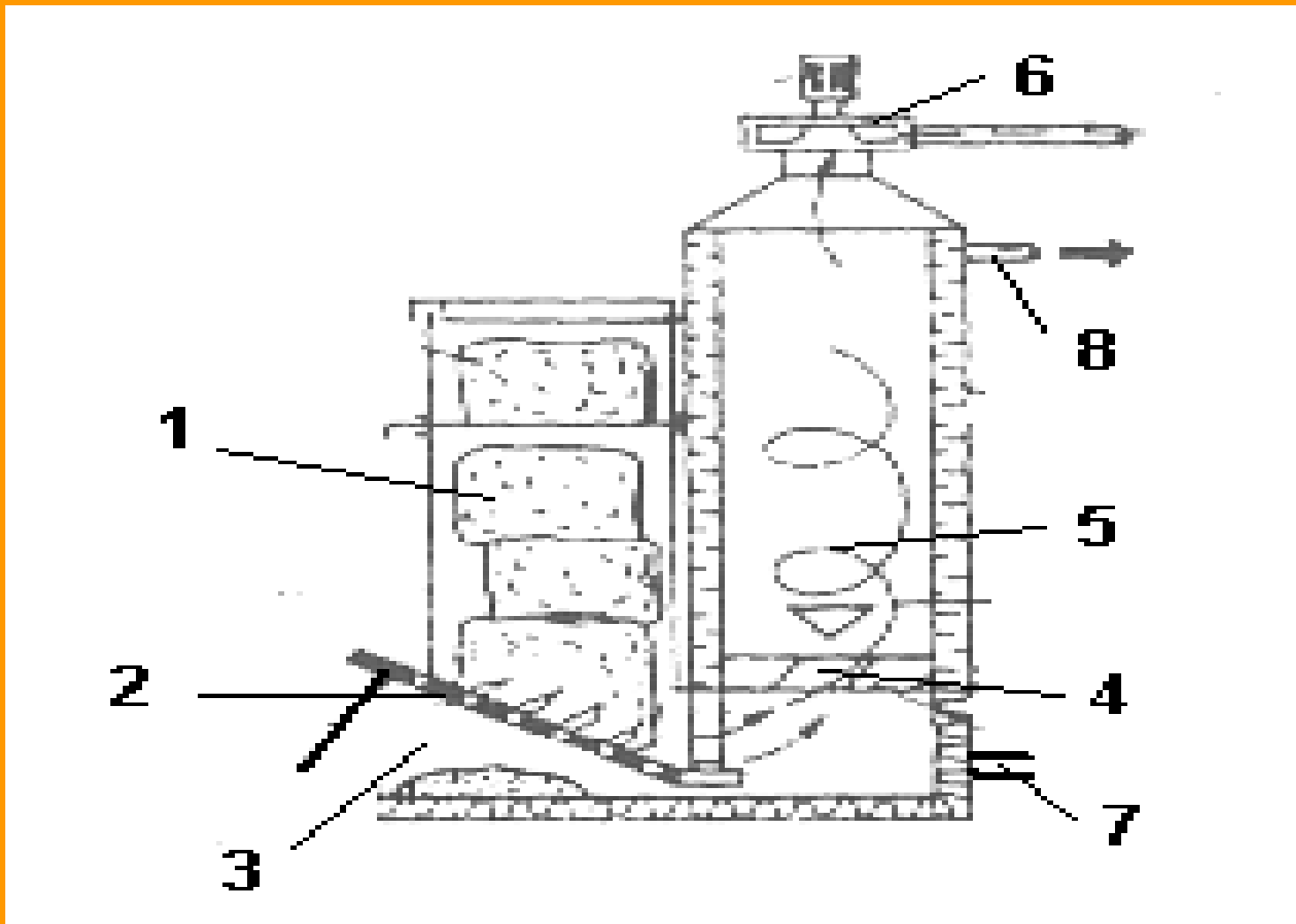


- Egyedi, ill. kis teljesítményű központi fűtéshez – kályhák, kazánok, kandallók.
- **Kényelem:**
 - tü.a. utánpótlás naponta egyszer,
 - Automatikus szabályozás a légszennyezővel.
- **Környezetvédelem:**
 - Emisszió-szonda.



Apríték tüzelő háztartási kiskazán elvi elrendezése.

(1. apríték tároló, 2. Behordócsiga, etetőcsiga, 3. Ventilátor a primer és a szekunder levegő betáplálásához, 4. Parázságy és primer levegő bevezetés a rostélyon, 5. Szekunder levegő bevezetés, 6. Hőcserélő, 7. A vezérlést végző PC, 8. Hőérzékelő a betápláló csatornában, 9. Oltóvíz visszaégés megakadályozásához)

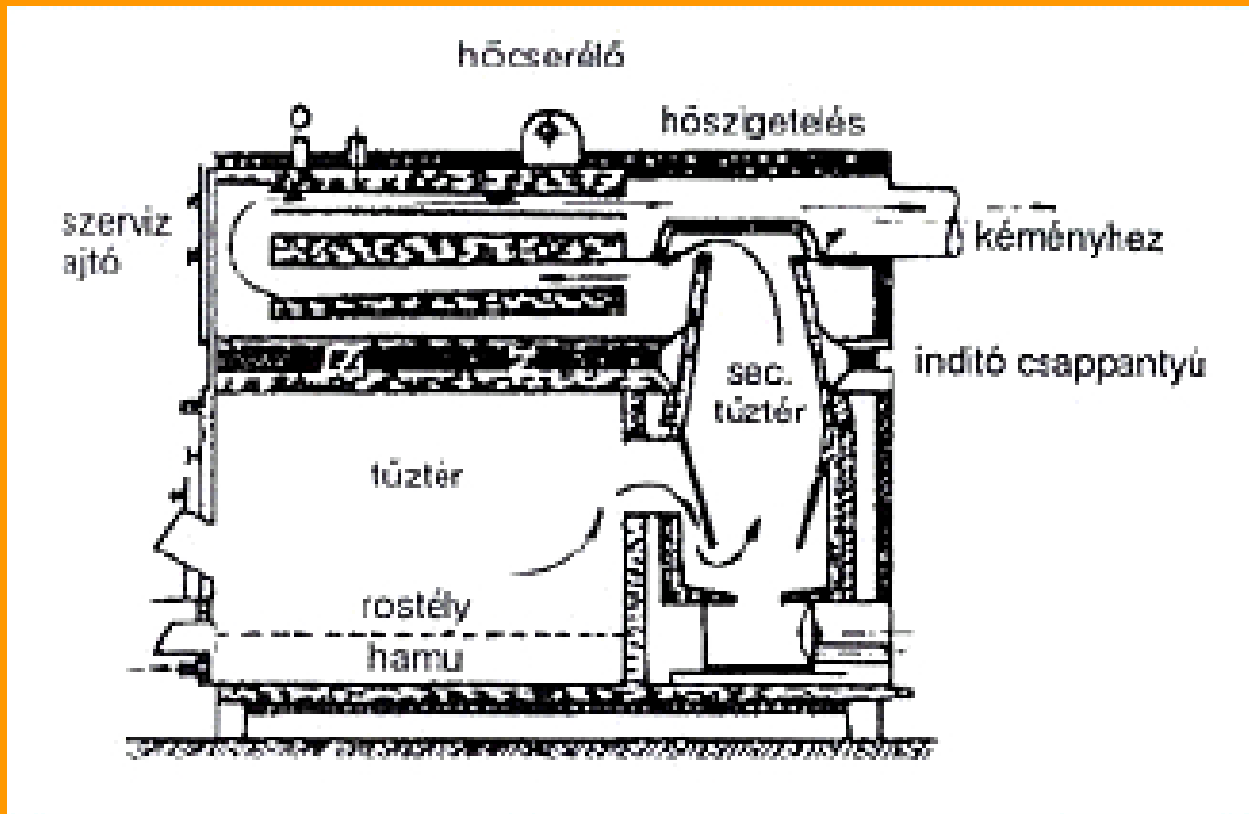


Bálatüzelő elrendezési vázlat

1. szalmabála, 2. Rostély, 3. Hamukamra és a primer levegő bevezetése, 4. Keverő és szekunder levegő bevezetése, 5. Utóégető, 6. Füstgázventillátor (depressziós tűztérhez), 7. hőhordozó visszatérő csonk, 8. Hőhordozó előremenő csonk.)

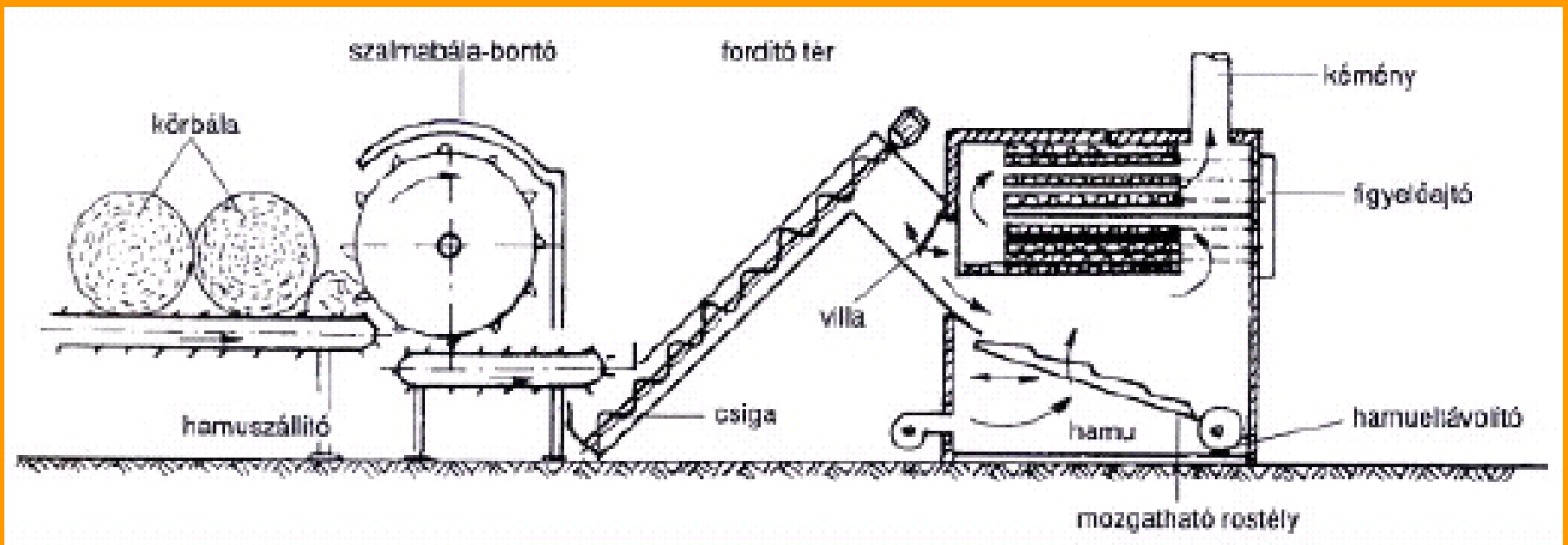
Szalmatüzelés

Átégetős (rostélyos) kazán

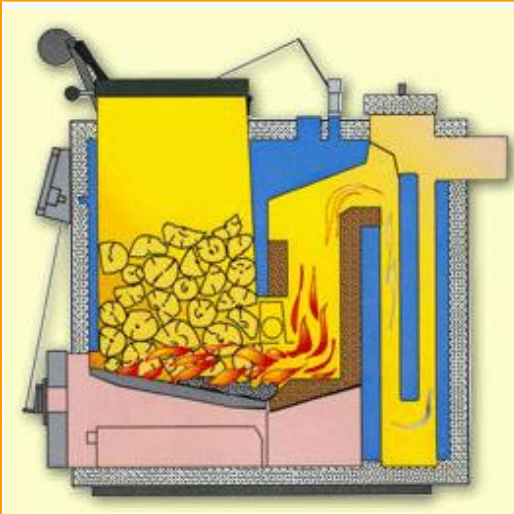


Szalmatüzelés

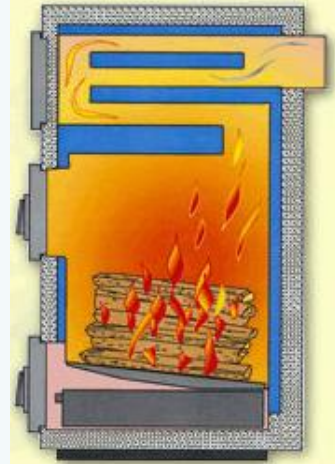
Szabályozás a tüzelőanyag adagolásával



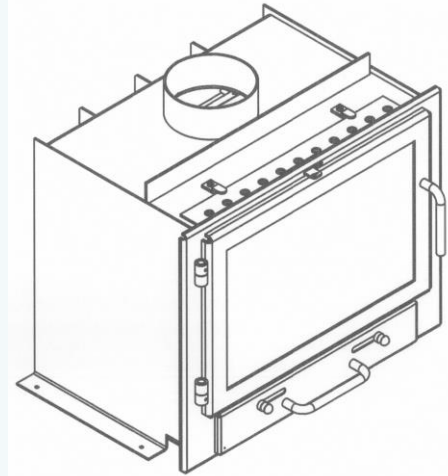
Tüzelőanyag formája alapján: Darabos fatüzelésű kazánok, kályhák, kandallók



Alsóégésű darabos fatüzelésű kazán



Átégős rendszerű darabos fatüzelésű kazán



Beépíthető kandallóbetét hasábfatüzelésére

Ezek kisebb, háztartási célra használt berendezések, melyekben általában rostélytüzelést alkalmaznak.

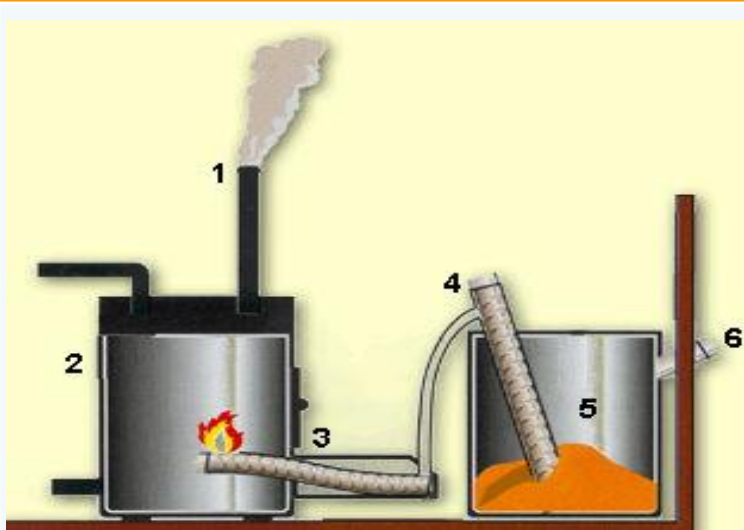
Pellet és apríték tüzelése

- **Automatikus adagolás.**
- **Teljesítményszabályozás.**
- **Egyedi fűtéstől több MW-ig.**

- **Pellet:**
 - **elsősorban egyedi fűtéshez,**
 - **állandó minőség,**
 - **nagy energiasűrűség,**
 - **jól csomagolható.**

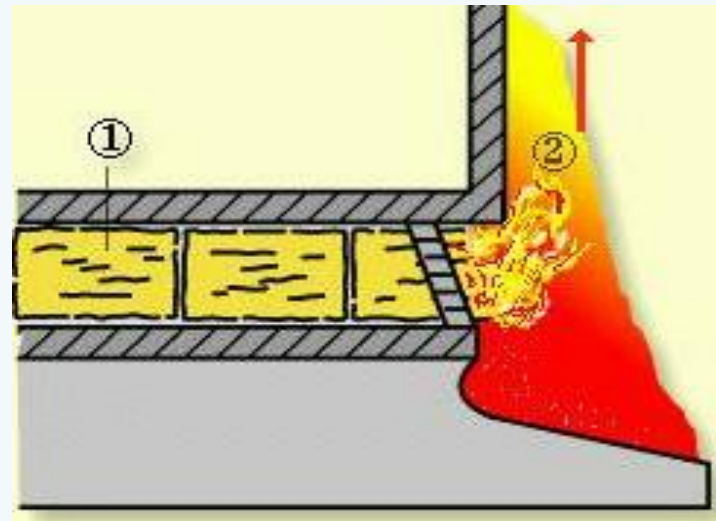


Kis méretben alkalmaznak még aprítéktüzelő vagy szalmatüzelő berendezéseket is.



1. Kémény
2. Tüztér
3. Alátoló csiga
4. Végtelenített adagoló csiga
5. Napi tároló
6. Betároló

Apríték előtét tüzelőberendezés elve



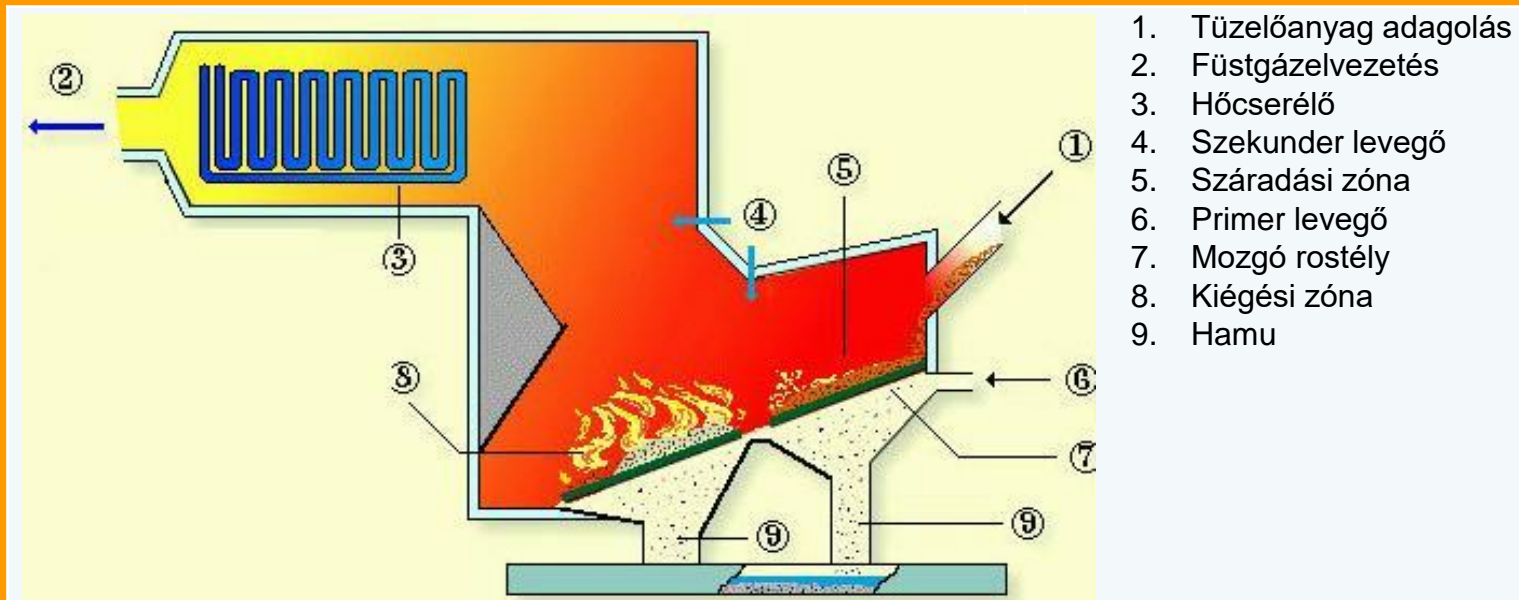
1. Szalmabála
2. Égéstér

Szivarrendszerű szalmatüzelő

Az eltüzelés technológiája alapján 5 főcsoportot különböztetünk meg:

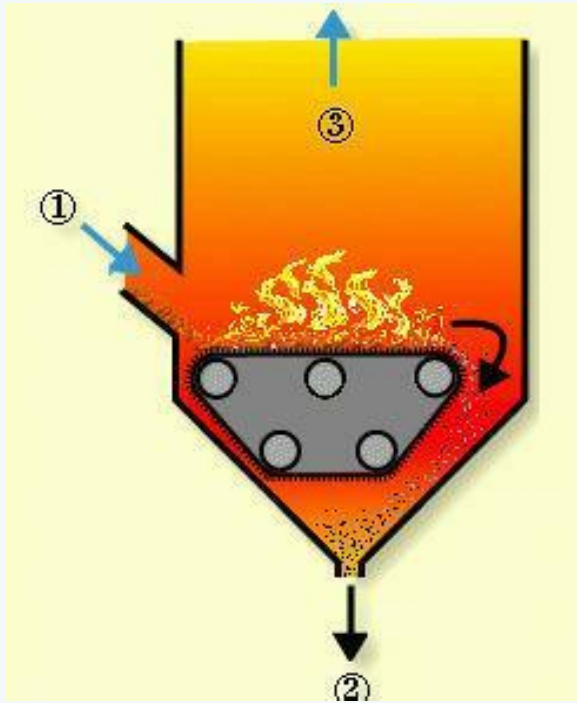
- Rostélytüzelés rendszerű
- Alátoló rendszerű tüzelés
- Befúvatásos rendszerű tüzelés
- Gázosító rendszerű tüzelő berendezések
- Fluidágyas rendszerű tüzelés

Mozgó rostélyos tüzelőberendezés



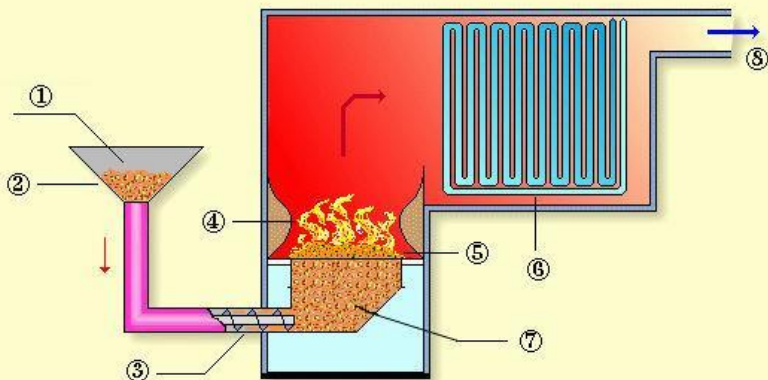
Mozgó rostélyos tüzelőberendezés

Hűtött rendszerű szalagos rostély



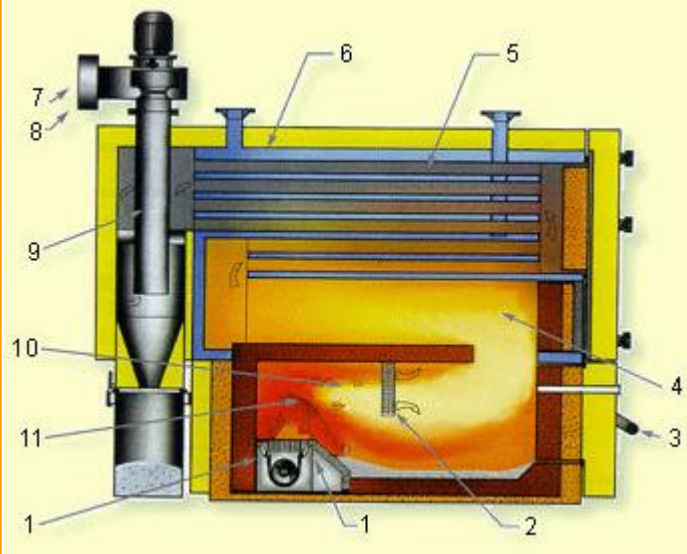
1. Beadagolás
2. Hamu ürítés
3. Füstgázok

Hűtött rendszerű szalagos rostély



1. Biomassza tüzelőanyag
2. Adagoló tartály
3. Alátoló csiga
4. Levegő bevezetés
5. Tűzágy
6. Hőcserélő
7. Alátolás a rostélyhoz

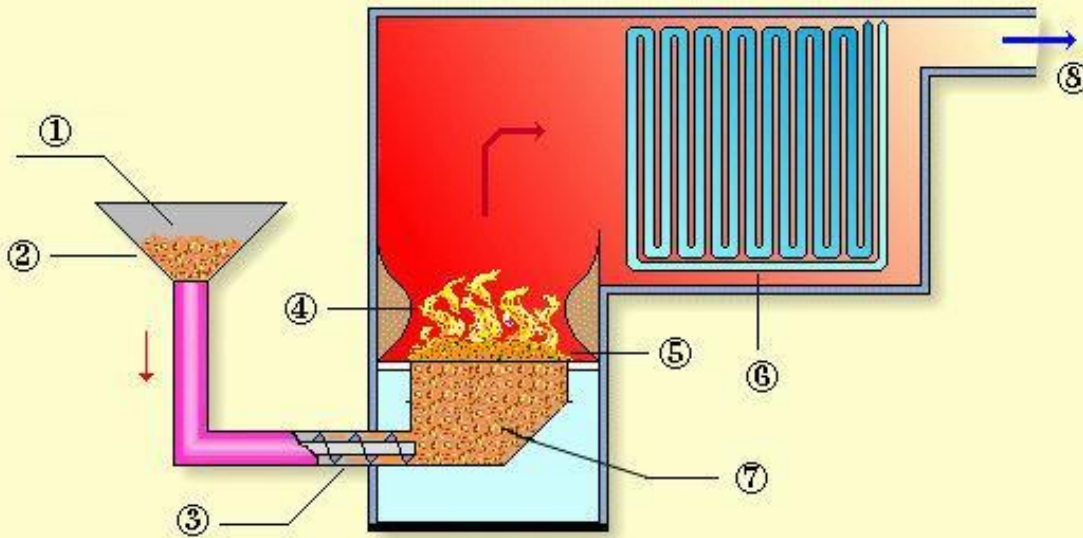
Alátoló tüzelés elve



1. Alátoló csiga és primer levegő bevezetés
2. Szekunder levegő
3. Tűztérajtó
4. Utóégető
5. Hőcserélő
6. Keringetett víz
7. Füstgáz hőmérséklet mérő
8. Füstgázelvezetés
9. Füstgáztisztító
10. Égéstér
11. Lánghőmérséklet mérő

Alátoló rendszerű kazán felépítése

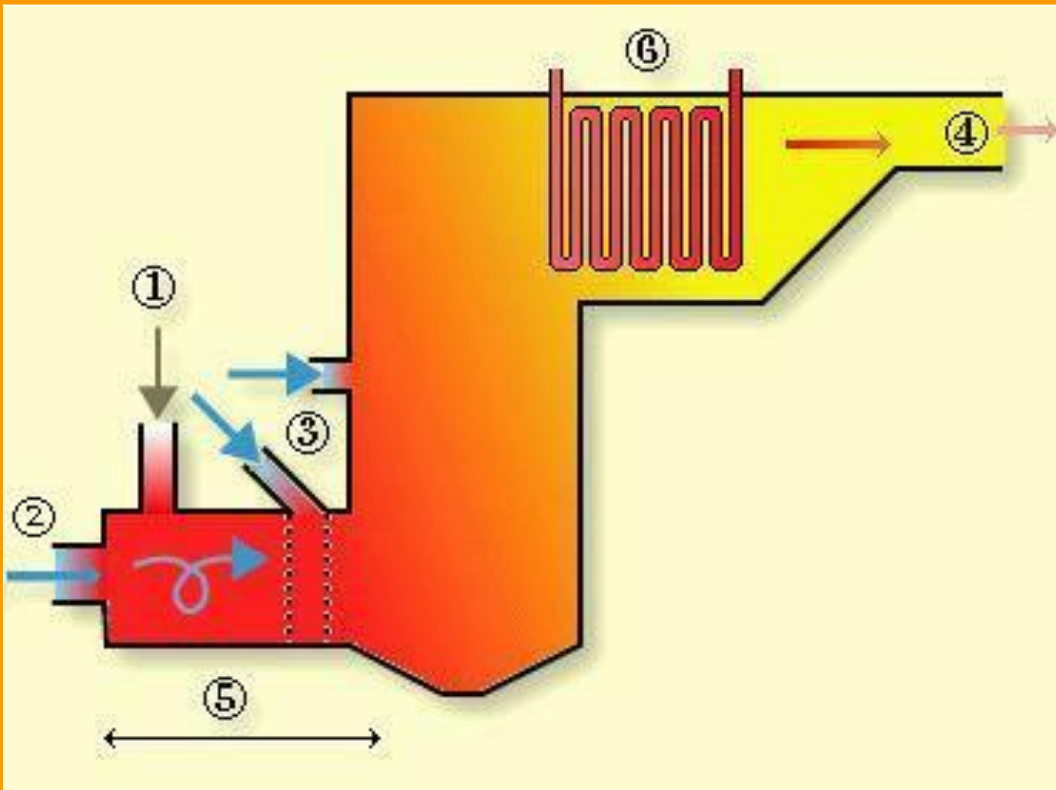
Alátoló tüzelés elve



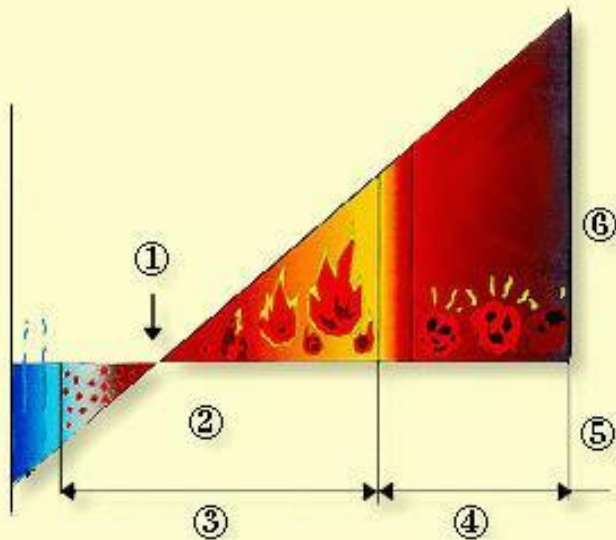
1. Biomassa tüzelőanyag
2. Adagoló tartály
3. Alátoló csiga
4. Levegő bevezetés
5. Tűzágy
6. Hőcserélő
7. Alátolás a rostélyhoz

Alátoló tüzelés elve

Befúvatásos rendszerű tüzelőberendezés elve



1. Tüzelőanyag és primer levegő
2. Levegő befúvatás
3. Szekunder levegő
4. Füstgáz
5. Égéstér
6. Hőcserélő



1. Gyulladás
2. Pirolízis szakasza
3. Illó anyagok 80-90 %-ának felszabadulása
4. Szén égése
5. Hőfelvétel
6. Hőfelszabadulás

A gázosítás három lépcsőben történik:

1. tüzelőanyag kiszáradása, 2. pirolízis, 3. oxidáció, redukció.

Biomassza gázosítás folyamata

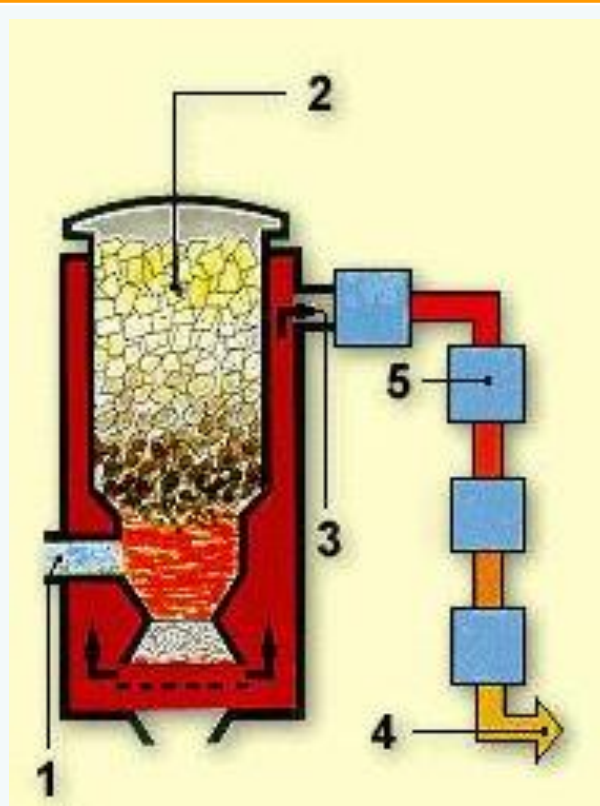
A száradási szakasz 100-105 °C-on megy végbe, itt már megkezdődik a pirolízis. A pirolízis már 150 C°-nál intenzíven felgyorsul, a hő hatására a tüzelőanyag felbomlik. Új C_xH_y vegyületekre, szénmonoxidra, széndioxidra, ecetsavakra, metanolra, acetone, terpentinre és kátrányra bomlik. A kátrány kialakulásának hőmérséklete 400-600 °C.

A tüzelőanyagot körülveszik a pirolízis gázok, a gyulladás akkor következik be, amikor a hőfelszabadulás nagyobb, mint a hőfelvétel, ez kb. 270 °C-on történik. A gyulladás függ a külső hőmérséklettől, a gáz és oxigén keverék arányától és a külső energia beviteltől pl. gyújtóláng. A faalapú tüzelőanyagok gyulladása különösen függ a nedvességtartalomtól, a mérettől és a tüzelőberendezés belső hőmérsékletétől.

A gázok égéséhez ilyenkor primer és szekunder levegőt kell hozzávezetni. A szénhidrogének felszabadulása 800 °C körül történik, a szekunder levegő belépésével a tűzagyba a gázok látható lánggal égnek el. A visszamaradt szén később lassú izzás közben ég el, de ilyenkor is szükséges a szekunder levegő bevezetése.

Biomassza elgázosító berendezések fajtái

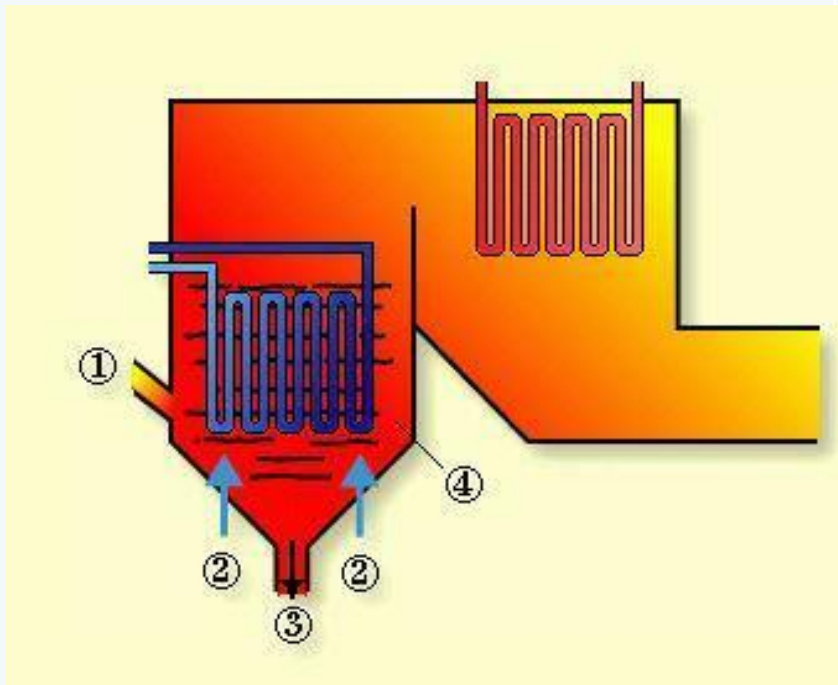
Egyenáramú; Ellenáramú; Keresztáramú; Fluidágyas



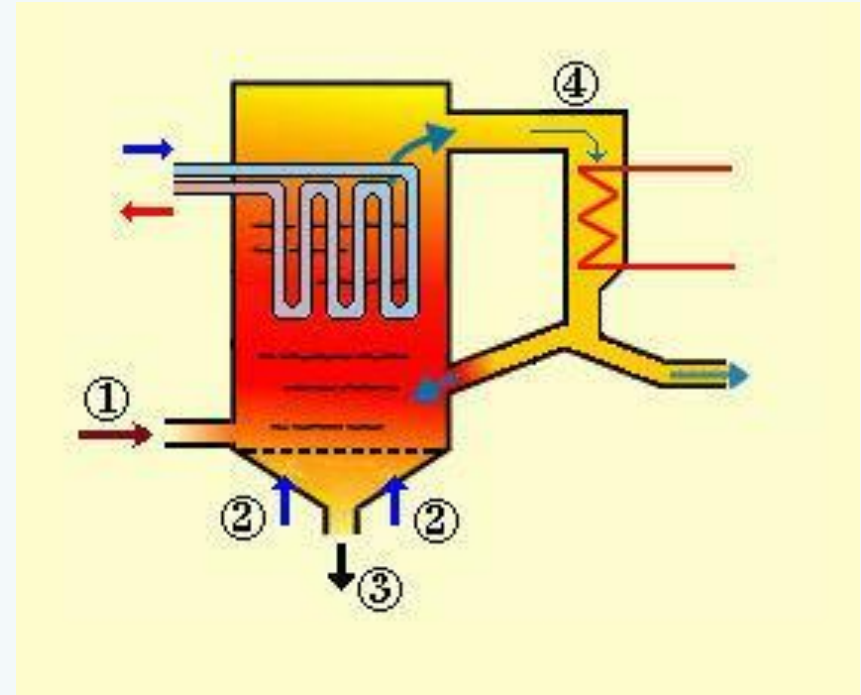
1. Levegő bevezetés
2. Gázosítandó biomassza
3. Pirolízis gáz
4. Tisztított gáz
5. Szűrő

Ellenáramú gázosító

Biomassza elgázosító berendezések fajtái

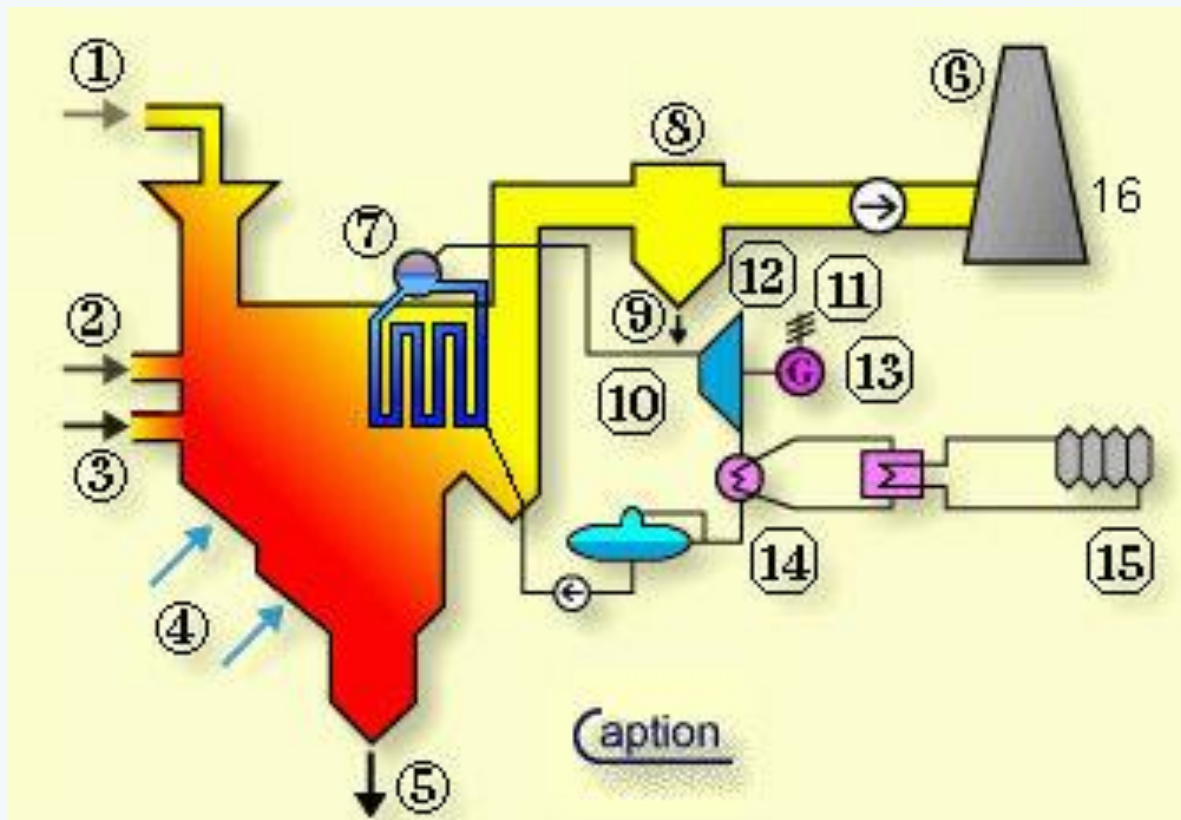


1. Tüzelőanyag
2. Levegő bevezetés
3. Hamuelvezetés
4. Fluidágy



1. Tüzelőanyag
2. Levegő bevezetés
3. Hamuelvezetés
4. Fluidágy recirkuláció

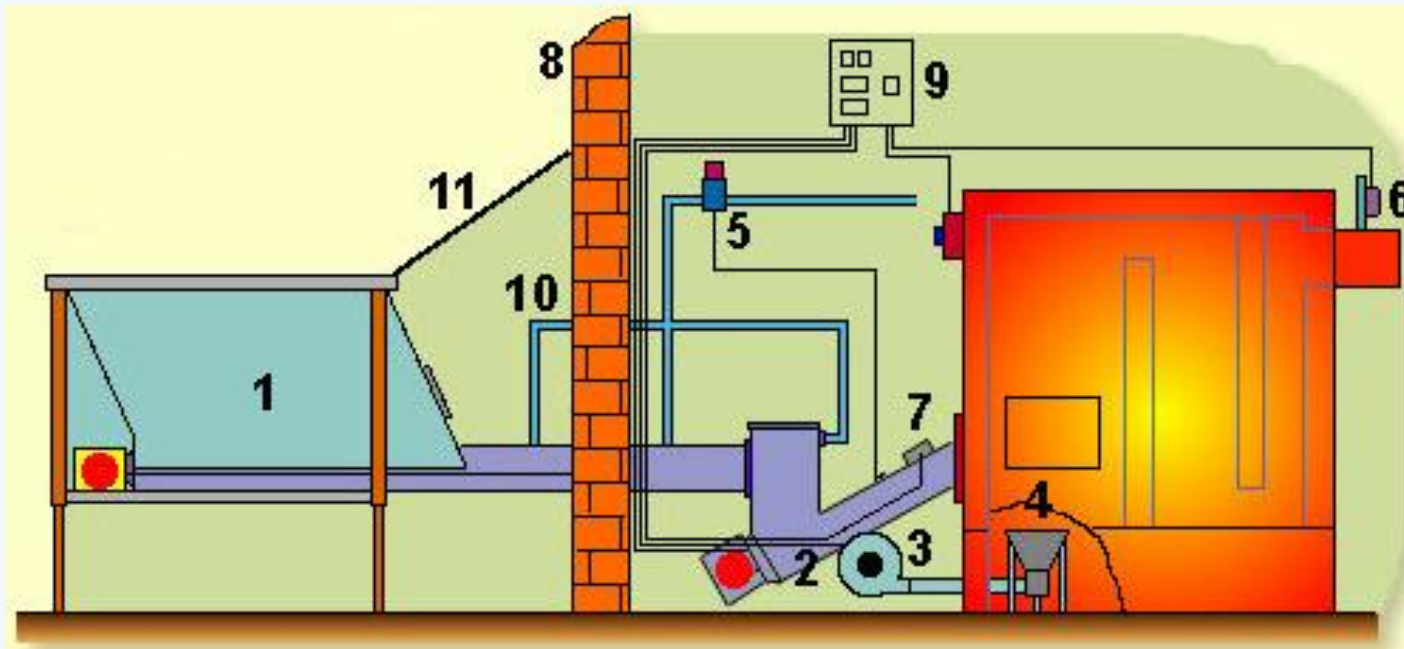
1. Faalapú tüzelőanyag, 2. Szalma tüzelőanyag, 3. Szén, 4. Levegő befűvés, 5. Hamu elvezetés, 6. Füstgáz tisztító, 7. Hőcserélő, 8. Porleválasztó, 9. Porelvezetés, 10. Gőz, 11. Villamossági rendszer, 12. Turbina, 13. Generátor, 14. Kondenzátor, 15. Távfűtés, 16. Kémény



Caption

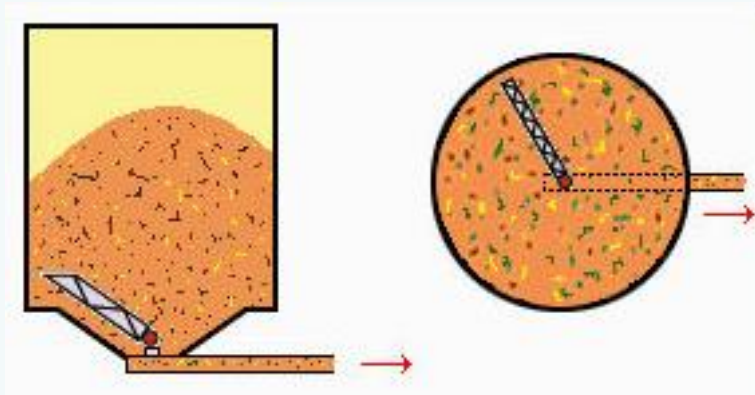
Szilárd biotüzelőanyag hasznosító rendszer felépítése

1. Tároló, 2. Adagoló csiga, 3. ventilátor, 4. Hamukihordó csiga, 5. Tűzvédelmi szelep, 6. Füstgáz hőmérő, 7. Visszaégés gátló, 8. Tűzfal, 9. Vezérlőszekrény, 10. Visszaégés gátló, 11. Külső tárolófal

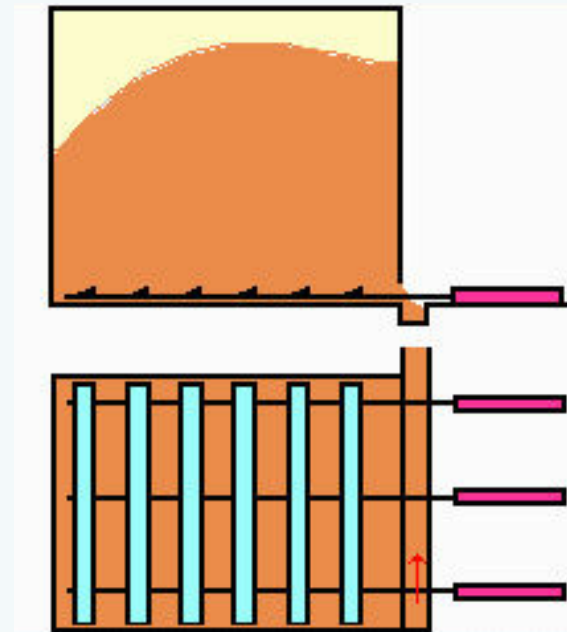


Kazánház és egyéb berendezései

Szilárd biotüzelőanyag tárolás

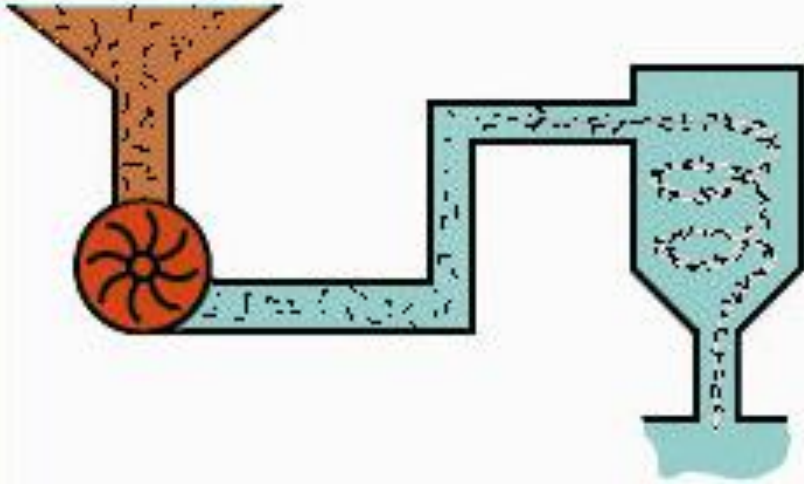


Csigás kitároló

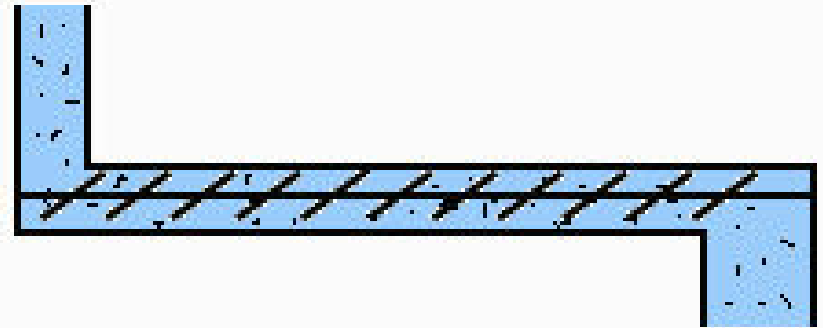


Éklétrás kitároló

Szilárd biotüzelőanyag adagolás



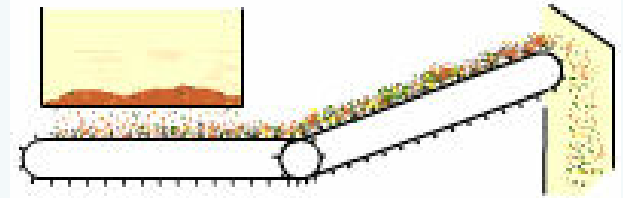
Pneumatikus szállító



Végtelencsigás szállító

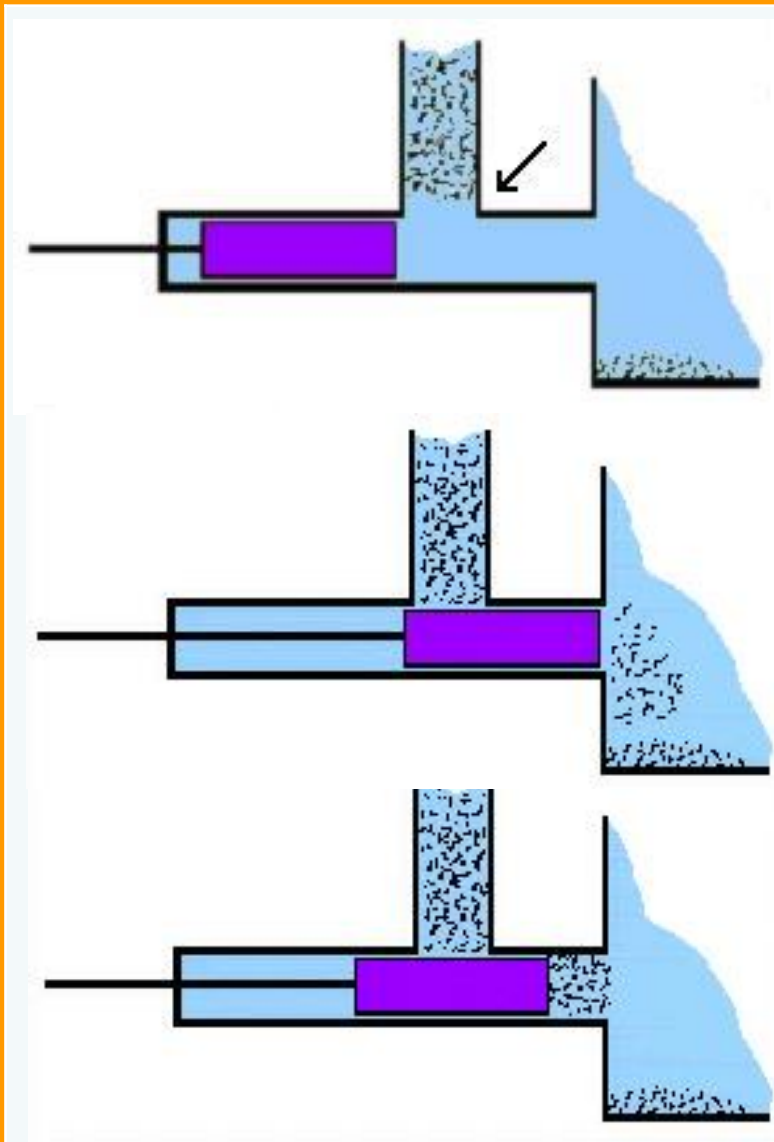


Kaparóléces szállító

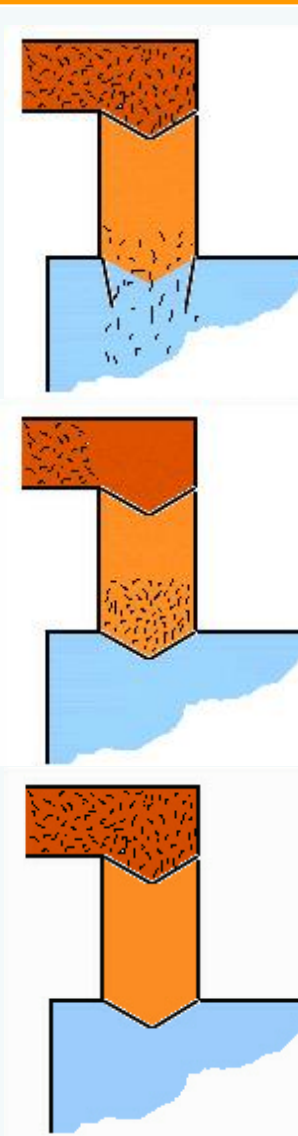


Szalagos szállító

Szilárd biotüzelőanyag adagoló



Dugattyús adagoló



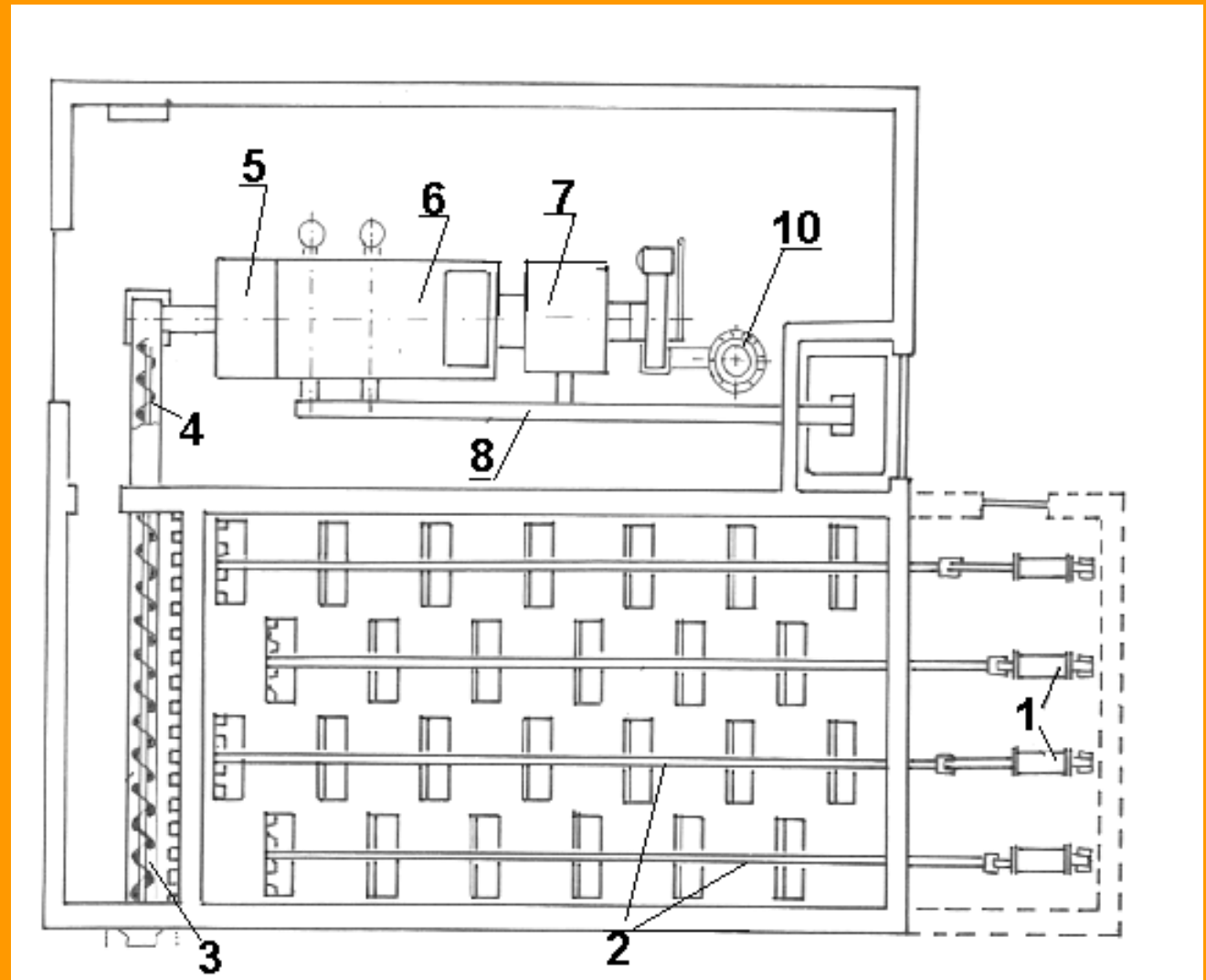
Zsilipes adagoló

Adagolás – betáplálás

- Alsó:
 - A tüzelőanyag mennyisége „önmagát szabályozza”;
 - Visszagyulladás veszélye fennáll;
 - Nehézkesen szabályozható.
- Oldalsó:
 - Gyors szabályozhatóság;
 - Visszagyulladás veszélye fennáll;
 - Inhomogén tűzágy, pellet gyakran lepotyog a hamuval.
- Felső:
 - Visszagyulladás veszélye nem áll fenn;
 - Homogén tűzágy, jó kiégés;
 - Pellet-szint monitoringja a tűztérben nehézkes.

Szilárd biotüzelőanyagok hőközpont általános elrendezése

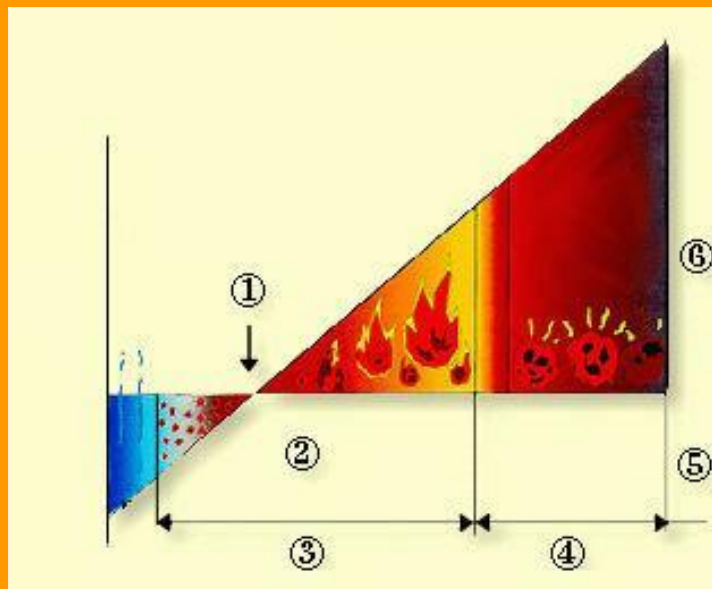
1. Az éklétras anyagmozgató működtető munka-hengerek,
2. Az éklétrák,
3. kereszt-mozgató csiga,
4. Adagoló csiga,
5. Tüztérbe juttató berendezés,
6. Tüztér és hőcserélő,
7. Por-leválasztó,
8. Salakki-hordó,
10. Kémény



Elgázosítás: gyors hőbontás, részleges oxidációval (némi levegő vagy oxigén bevezetése mellett), 750 C fok körüli hőmérsékleten.

Pirolízis: gyors hőbontás, levegő, vagy oxigén adagolása nélkül (a lebontásban ugyanakkor egy kis mennyiségű oxigén megtalálható, amely a hulladékokból származik). A hőbontás általában 250-700 C fokon zajlik.

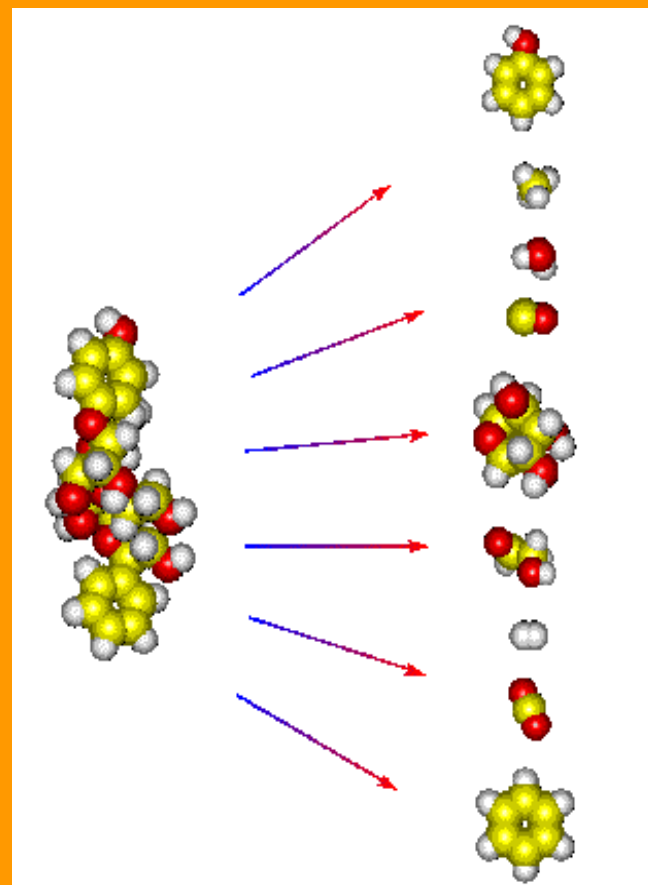
Pirolízis, elgázosítás



1. Gyulladás
2. Pirolízis szakasza
3. Illó anyagok 80-90 %-ának felszabadulása
4. Szén égése
5. Hőfelvétel
6. Hőfelszabadulás

Biomassza gázosítás folyamata

- Izzó, parázsló biomassza
- Oxigén-szegény környezet



Elgázosítás, pirolízis kémiai reakciók

- ÉGÉS:

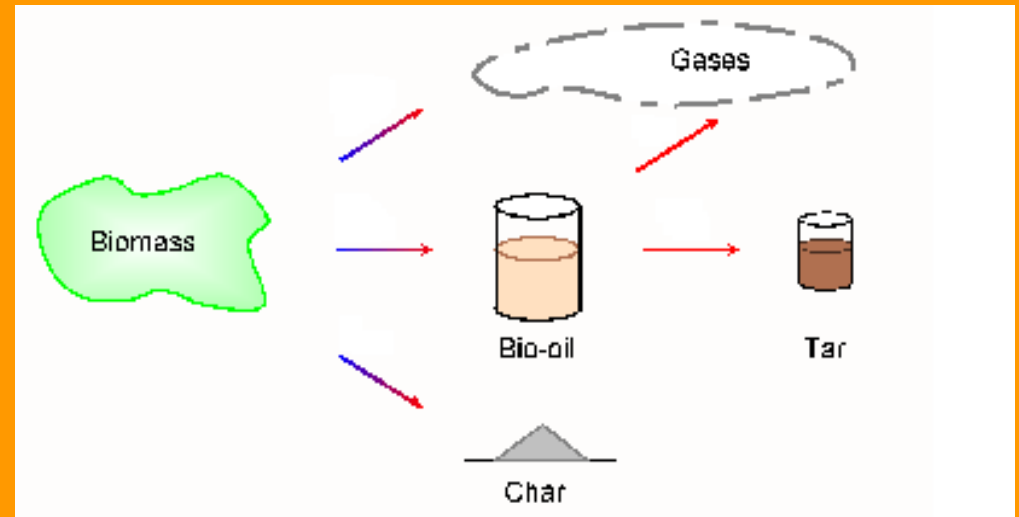
- $C + O_2 = CO_2 + 393,77 \text{ kJ/mol karbon}$
- $H_2 + 0,5 O_2 = H_2O + 742 \text{ kJ/mol } H_2$

- GÁZOSÍTÁS:

- Víz-gáz reakció: $C + H_2O = H_2 + CO - 131,38 \text{ kJ/mol karbon}$
- Boudouard reakció: $CO_2 + C = 2CO - 172,58 \text{ kJ/mol karbon}$
- „Shift” konverzió: $CO + H_2O = CO_2 + H_2 - 41,98 \text{ kJ/mol}$
- Metánképzés: $C + 2H_2 = CH_4 + 74,90 \text{ kJ/mol karbon}$

Keletkező anyagok

- **Gázok**
- **Faszén**
- **Hamu**
- **Kátrány**



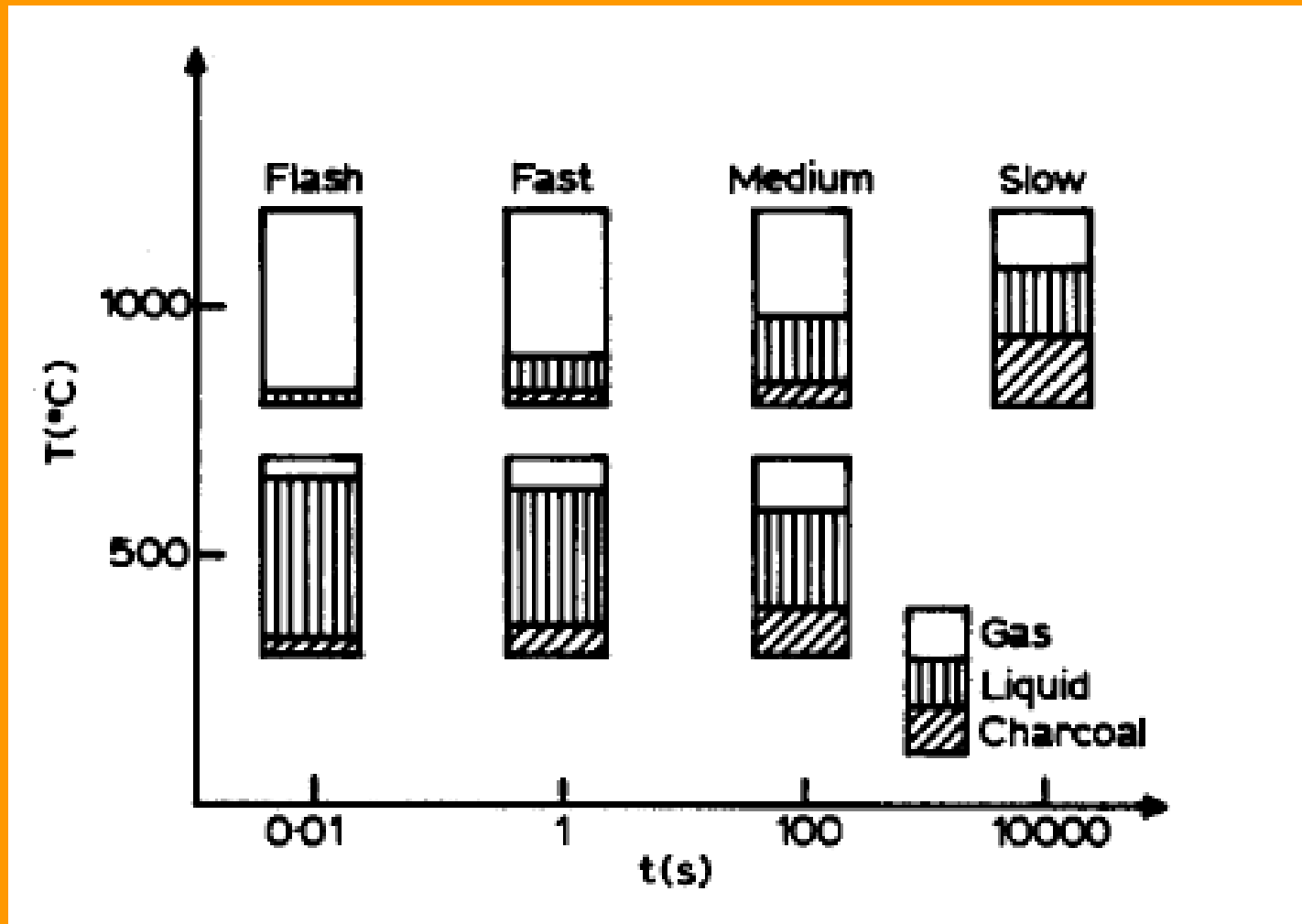
Gázikihozatal összetétele függ

- Tüzelőanyag összetétel
- Gázosító közeg
- Működési nyomás
- Hőmérséklet
- Tüzelőanyag nedvességtartalom
- Reagensek kapcsolatba hozási módja

Pirolízis-elgázosítás

- **Pirolízis:**
 - 200- °C,
 - Oxigén nélkül,
 - Endoterm,
 - CO, CO₂, szénhidrogének.
- **Elgázosítás**
 - 500- °C,
 - Gázosítók: O₂, CO₂, H₂O,
 - Keletkezik (szintézisgáz): CO, H₂, CH₄.

Elgázosítás, pirolízis fajtái, keletkezett anyagok megoszlása



Gázösszetétel (V/V) változása

- **Környezeti levegő:**
[5 MJ/Nm³]
 - CO: 16 %,
 - H₂: 24 %,
 - CH₄: 2 %,
 - CO₂: 16 %,
 - N₂: 42 %.
- **Tiszta oxigén:**
[10 MJ/Nm³]
 - CO: 28 %,
 - H₂: 41 %,
 - CH₄: 3 %,
 - CO₂: 28 %.

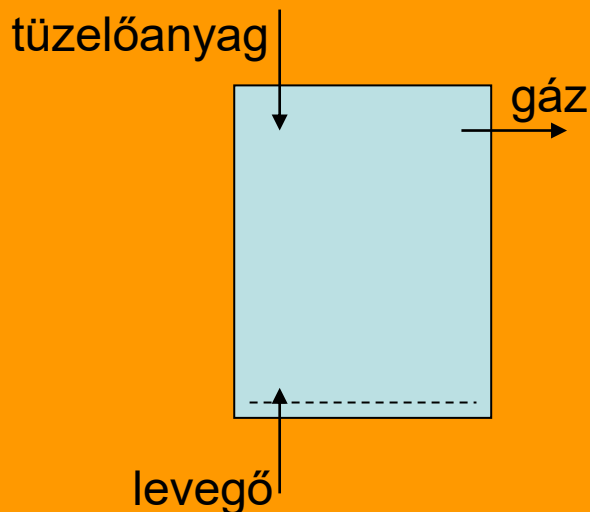
Gáz tisztítása

- **Hamu:**
 - Ciklon,
 - Szűrő.
- **Kátrány:**
 - Atmoszférikus mosással,
 - Katalitikus leválasztóval.
- **CO₂:**
 - Nagy nyomáson lehet kimosatni.

Fixágyas elgázosítók

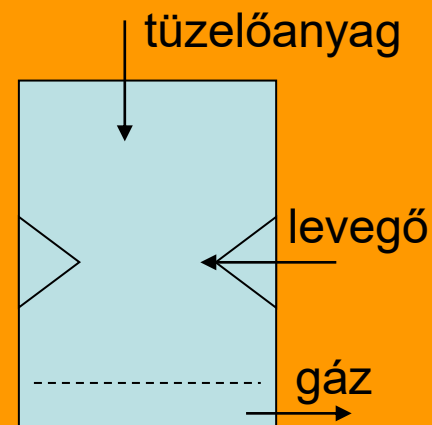
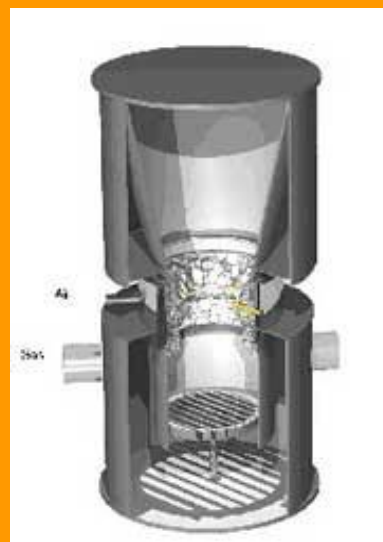
- **Ellenáramú**

- 700-900°C
- Egyszerű, könnyen szabályozható
- Kátránytartalom sok



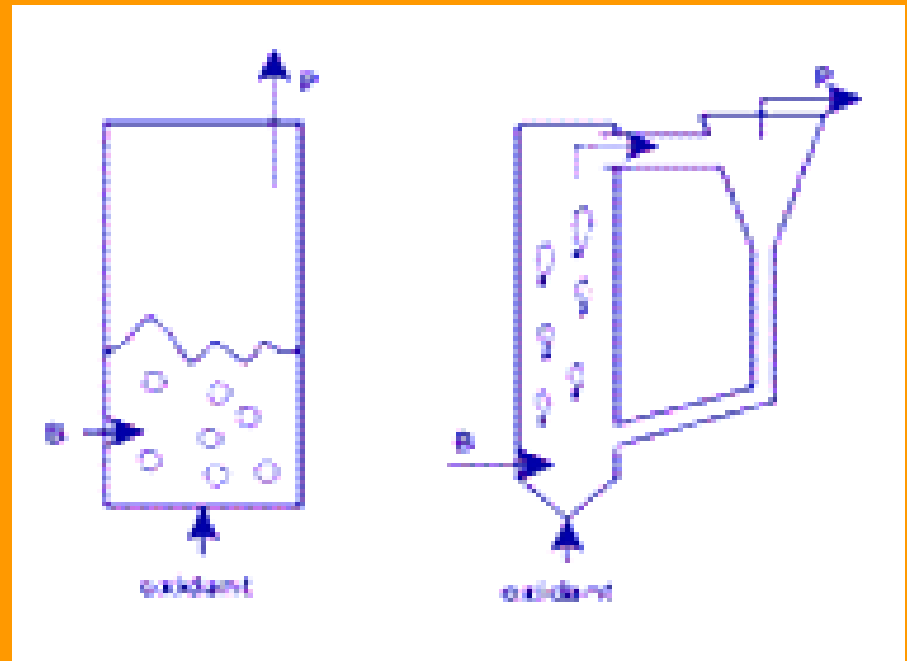
- **Egyenáramú**

- 700-1200 °C
- Jól szabályozható
- Kevés kátrány
- Tü.a. minőségére kényes

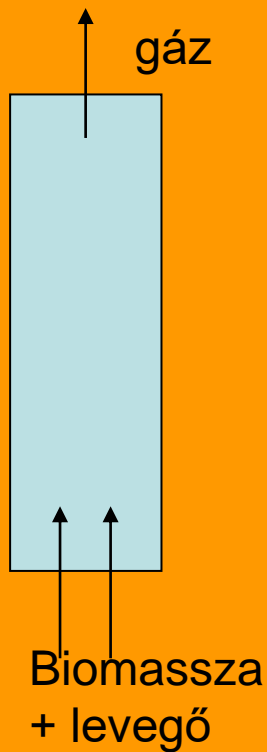


Fluidágyas elgázosító

- $< 900\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Elgázosodás gyors és hatékony.
- Hőmérséklet jól szabályozható.
- Salak kezelhető.
- Tü.a. minőségére kevésbé érzékeny.



Légbefűtéses elgázosító

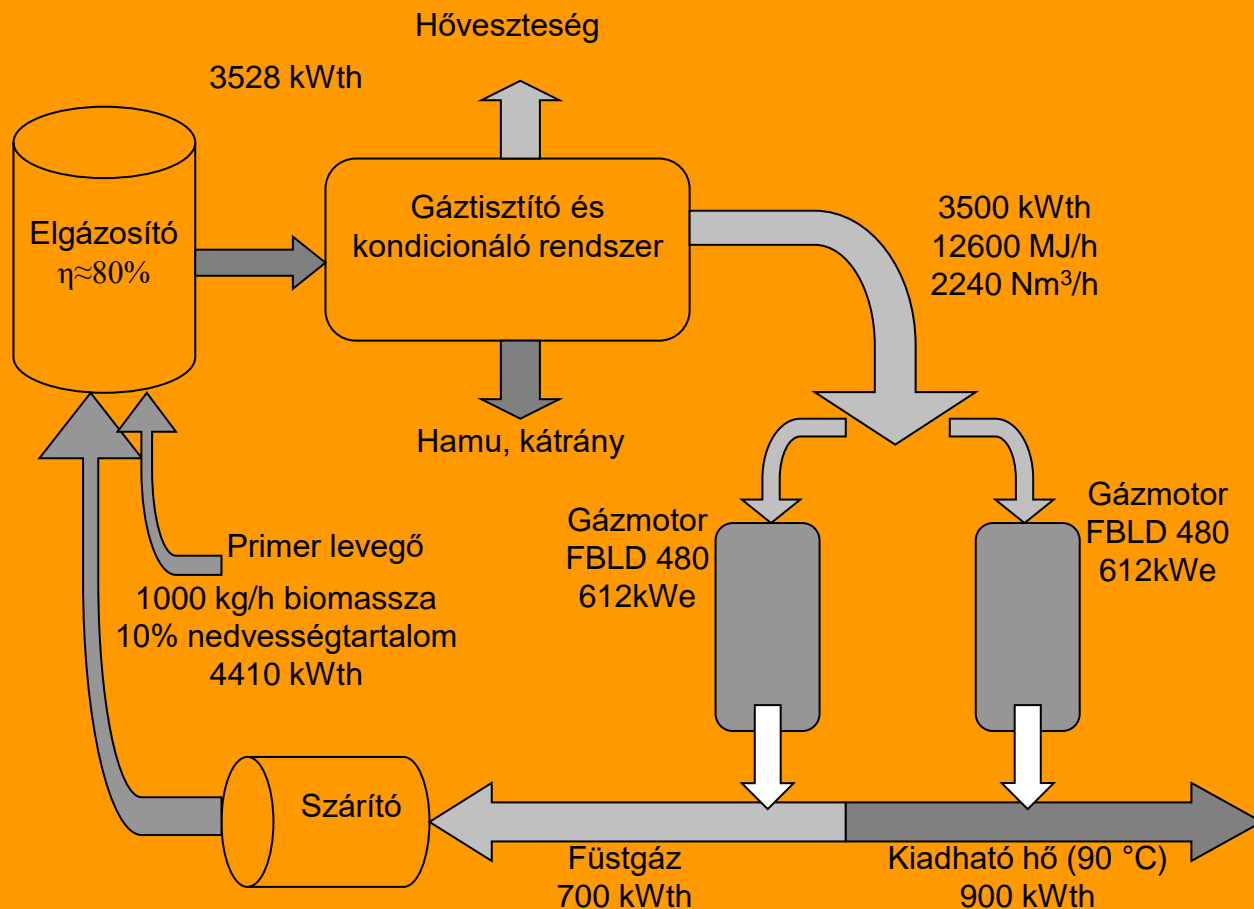


- **1500°C.**
- **Kísérleti stádiumban van.**
- **Nagyon kis szemcseméret szükséges.**
- **Szabályozása összetett.**
- **Kátránymentes.**

Energetikai felhasználás

- **Gáz halmazállapot előnye: kezelhetőség.**
- **Viszonylag új technológia:**
 - **elsősorban decentralizált villamosenergia-termelésre: gázmotor, gázturbina -> kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés.**

Faelgázosító kiserőmű folyamatábrája



Elrendezési rajz

