

ПРЕДМЕТ

ЕНЕРГЕТСКИ ПОТЕНЦИЈАЛ ОТПАДА



**Мастер струковне студије: УПРАВЉАЊЕ
ОТПАДОМ**



Школска: 2022-
23
Семестар:
Зимски

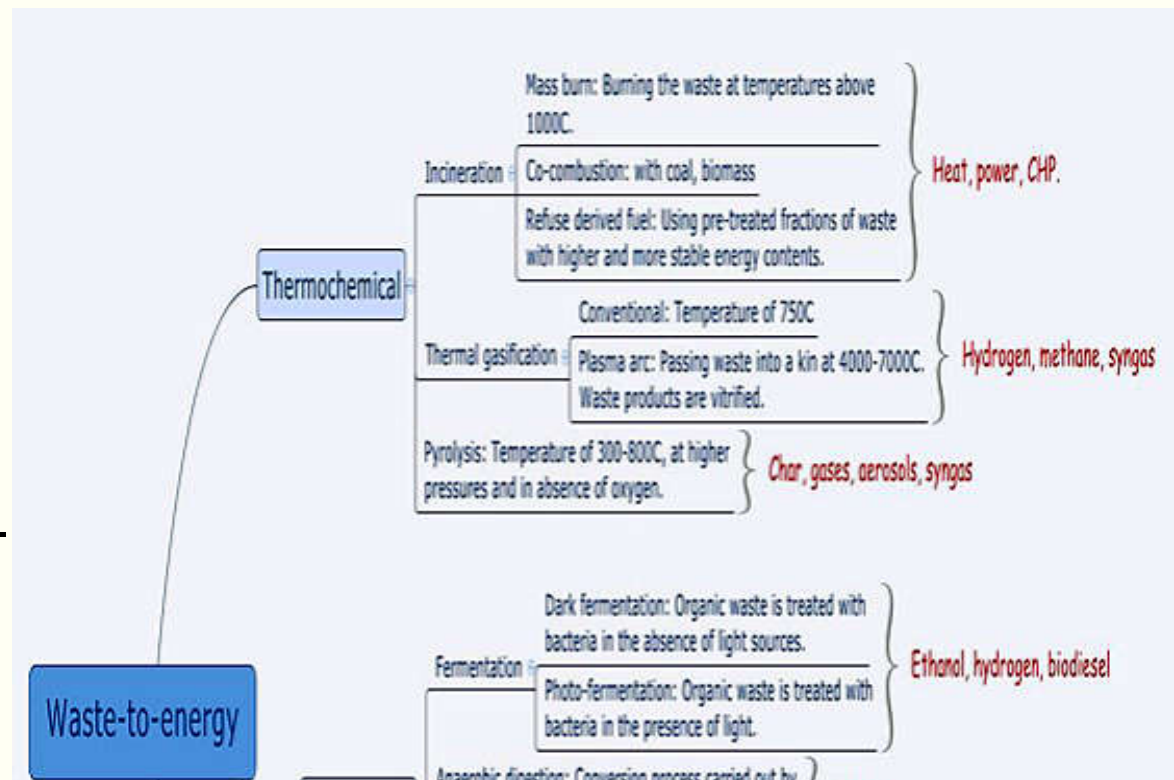
Предавање 5

КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРМИЧКИХ МЕТОДА ЗА ТРЕТМАН КОМУНАЛНОГ ЧВРСТОГ ОТПАДА

ТИПОВИ ТЕРМИЧКИХ ПРОЦЕСА

1. Инсинерација
2. Пиролиза
3. Гасификација

Плазма процес



Једна од предфаза термичких процеса је **сушење**
и дегазација

у којој долази до **издвајања испарљивих**
компоненти из отпада, при температурама
између **100 и 300 °C**.

ИНСИНЕРАЦИЈА



Инсинерација представља процес **контролисаног сагоревања** комуналног чврстог отпада, ради **смањења запремине** и **добивања** топлотне **енергије** (и евентуално електричне).

Основна карактеристика процеса је да се
одвија са **коефицијентом вишка ваздуха**
изнад један.

Долази до термохемијске конверзије уз
ослобађање хемијске енергије горива,
топлотне енергије.

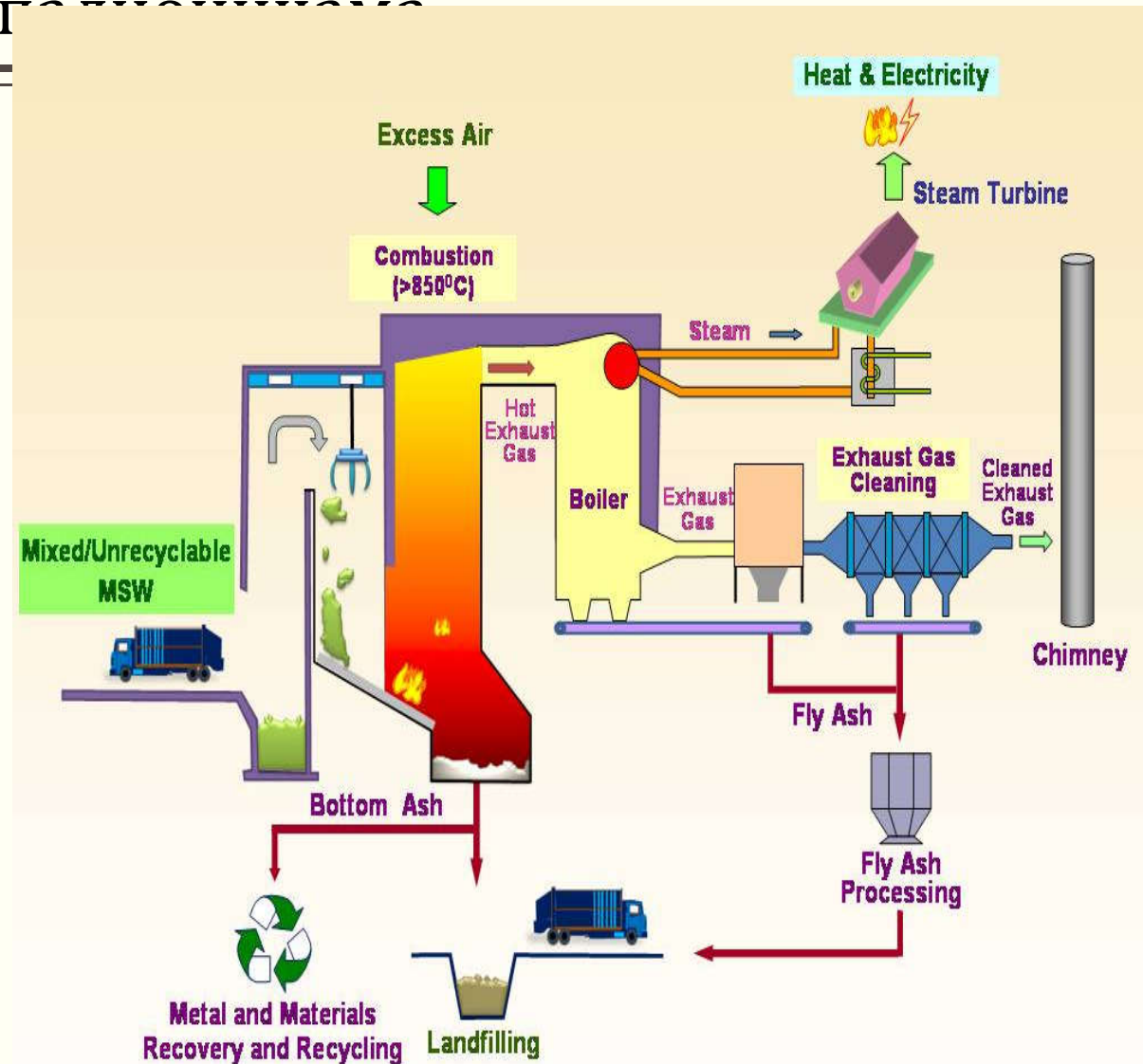
Примењује се код отпада
**с ограниченим
садржајем влаге и
ВИШОМ ТОПЛОТНОМ
моћи.**



У процесу инсинерације се, поред енергије,
добијају и **нуспроизводи.**

**Неки су некорисни као што су димни
гасови и пепео, а неки се могу искористити
као што су метали.**

Поступак спаљивања отпада и добијања енергије у савременом



При сагоревању, отпад се **прво загрева и суши, а потом разлаже, при чему се формирају гасови да би се потом одвијао процес потпуне оксидације.**

У процесу инсинерације, отпад се у зони сагоревања, задржава довољно дуго, што резултира **пепелом доброг квалитета у смислу да садржи мале количине несагорелог угљеника.**

ПИРОЛИЗА

Пиролиза представља поступак **термичке декомпозиције**, при којој се материјал загрева спољашњим извором топлоте **без присуства ваздуха (кисеоника)**, а као резултат се добија **мешавина чврстог, течног и гасовитог горива.**

- **Чврсти остатак:**
негориви материјал и знатне количине
угљеника

- **Течно гориво-пиролитичко уље:**
уља, парафин-минерално уље, катран

- **Гасовито гориво-синтетички гас**
угљенмоноксид, водоник и виши

Одвија се на температури
**300 - 650°C, при потпуном одсуству
ваздуха!!!**

Непостојање оксидације, као и недостатак додатног гаса за разређивање, значи да ће **топлотна моћ синтетичког гаса добијеног пиролизом бити већа од оног из процеса гасификације.**

Типична доња топлотна моћ гаса из пиролизе је
10 - 20 MJ/м³

Пиролитичко уље и синтетички гас могу директно
да се користе као гориво у котлу за сагоревање **или**
да се додатно прерађују за добијање високо
квалитетног моторног горива, хемикалија, лепкова и
осталих производа.

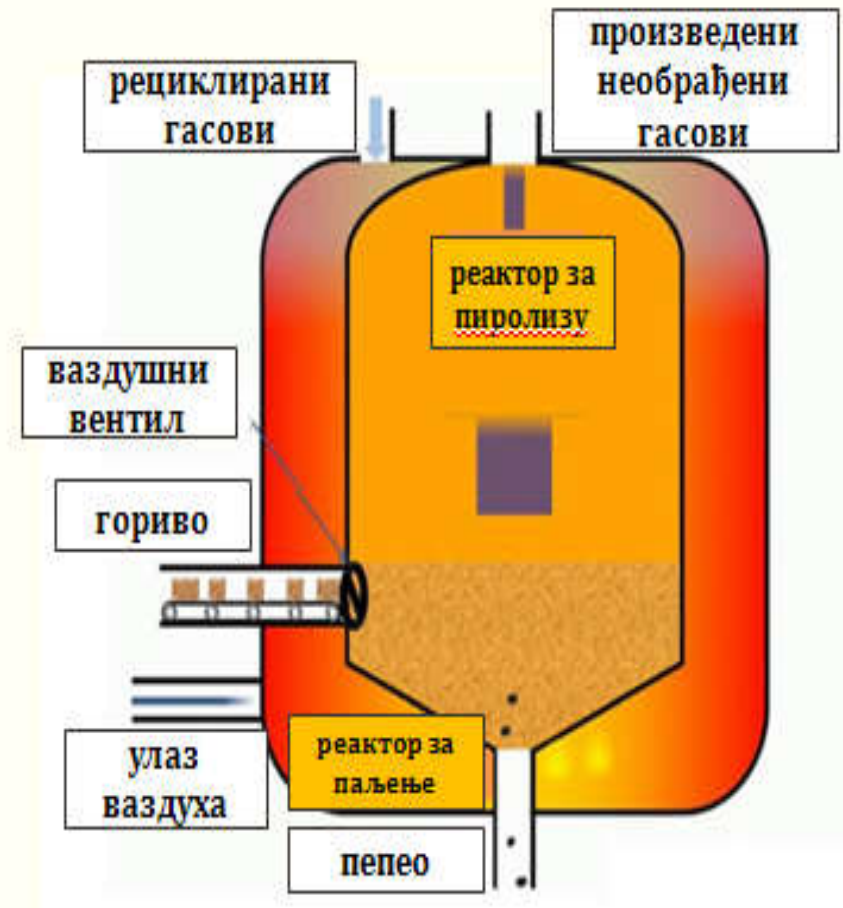
Удео продуката који настају након процеса пиролизе могуће је модификовати у зависности од температуре, брзине одвијања самог процеса и количине доведене топлоте.

Течна фаза (пиролитичко уље) добија се на нижим температурама, за разлику од синтетичког гаса који се ствара на вишим температурама!

Процес пиролизе **захтева**

**довођење спољне
топлотне енергије**, која се
**индиректно помоћу
кондукције доводи кроз
зидове реактора.**

**Ваздух, односно кисеоник
се не користи у процесима
који се одвијају у
реактору!**



Због ниже температуре процеса, код пиролизе је смањено испаравање угљеника и диоксида.

Велики недостатак пиролизе је релативно мала енергија која се добија на излазу.

Тренутно постоји **6 постројења** оваквог типа у Јапану (највеће капацитета 150.000 т/год), док се једно мањег капацитета налази у Бургау у Немачкој.

Такође у немачком граду Фирт, 1997. године је отворено постројење капацитета 100.000 т/год, али је већ 1998. године затворено због експлозије у реакторској комори.

ГАСИФИКАЦИЈА

Гасификација је поступак **термичке декомпозиције** и одвија се слично као и сагоревање (инсинерација), али с **коэффицијентом вишка ваздуха мањим од један.**

Отпад се приликом овог процеса конвертује у
синтетички гас, који се састоји у највећој
мери од
угљенмоноксида, водоника и метана,
уз мање количине N₂, H₂O и CO₂.

Добијени синтетички гас се може транспортовати и искористити на неком другом месту, за добијање топлотне и/или електричне енергије, а могуће је и директно искоришћење у оквиру друге фазе процеса сагоревања отпада.

На почетку процеса **отпад пролази кроз дегазициону цев, где се врши смањење удела влаге у отпаду (сушење и дегазација)** након чега доспева у **гасификациони реактор** и термички се обрађује при контролисаним условима.

У реактор се споља доводи и кисеоник, чиме се доводи до тога да се **органска фракција у комуналном отпаду претвара у синтетички гас.**

У наредној фази се синтетички гас даље обрађује у циљу уклањања водене паре и загађујућих супстанци, након чега може да се искористи у циљу добијања енергије.

**Температура на којој се одвија процес
гасификације представља један од најутицајнијих
фактора, који утиче на количину и састав
произведеног гаса, а самим тим и на његову
топлотну моћ.**

Процес гасификације одвија се на релативно високим
температурама, **700 - 1000 °C.**

Састав произведеног гаса осим што зависи **од услова** одвијања процеса гасификације (температуре, притиска и брзине загревања и времена боравка у уређају за гасификацију), такође зависи и **од врсте отпада**, садржаја влаге, типа гасификатора и многих других.

У Европи тренутно **не постоје оперативна комерцијална постројења** која раде на принципу гасификације комуналног отпада.

Једино веће постројење пуштено у рад, било је у граду Карлсруе (Немачка), али је оно затворено због потешкоћа техничке и финансијске природе.

Неколико постројења која су у функцији изграђена су у последњих 10 година у Јапану.

ПЛАЗМА

Комунални чврст отпад се загрева на високу температуру, (преко 3000°C), при чему се **органички отпад конвертује у гас богат водоником**, а неорганичке материје се након топљења витрификују (прелазе у инертне стаклене остатке).

Суштина плазма процеса јесте да се **користи**
електрична струја која пролази кроз ваздух у
комори, чиме се ствара стање плазме која
разлаже гас настао при термичкој обради
отпада на ниво молекула.

Иако спада у технологију са високим искоришћењем енергије, тренутно плазма технологија у пракси **није довољно доказана** као могућност за термички третман комуналног отпада.

Основни разлог лежи у **великим капиталним и оперативним трошковима за таква постројења.**

Поред тога, комора за сагоревање је склона веома брзом хабању, тако да су за одржавање континуитета процеса често потребне и резервне коморе.

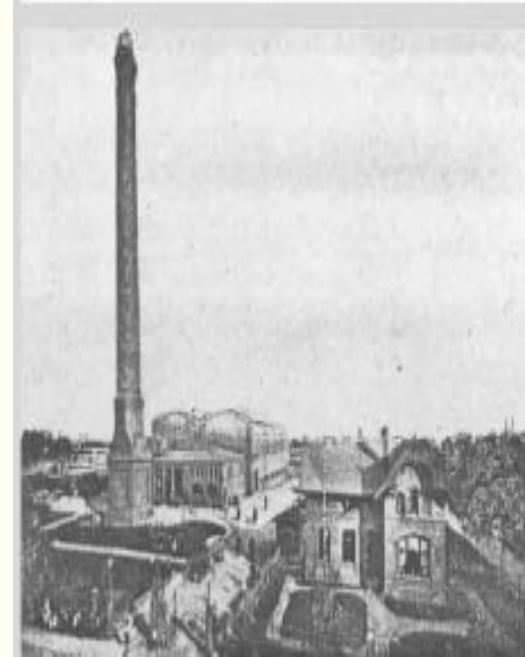
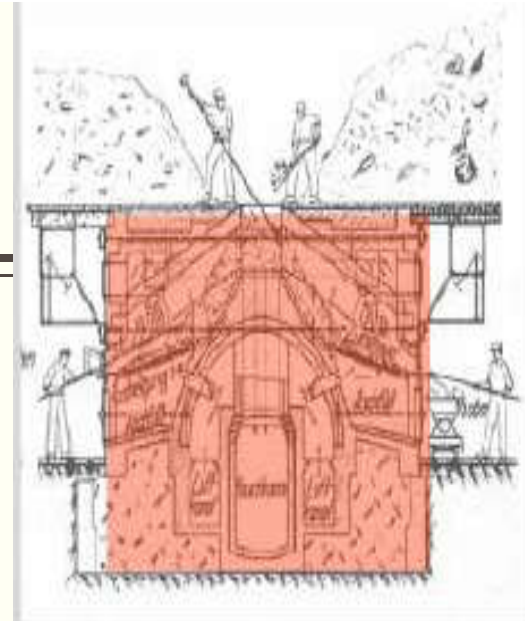
Највеће плазма постројење у свету налази се у Јапану
и има капацитет од 90.000 тона комуналног отпада
годишње.

Ипак, највећи број постројења која раде на овом
принципу су у форми пилот постројења, односно још
увек служе само за тестирање и унапређење
могућности третмана комуналног отпада.

**Конвенционално
сагоревање
отпада
(Инсинерација)**



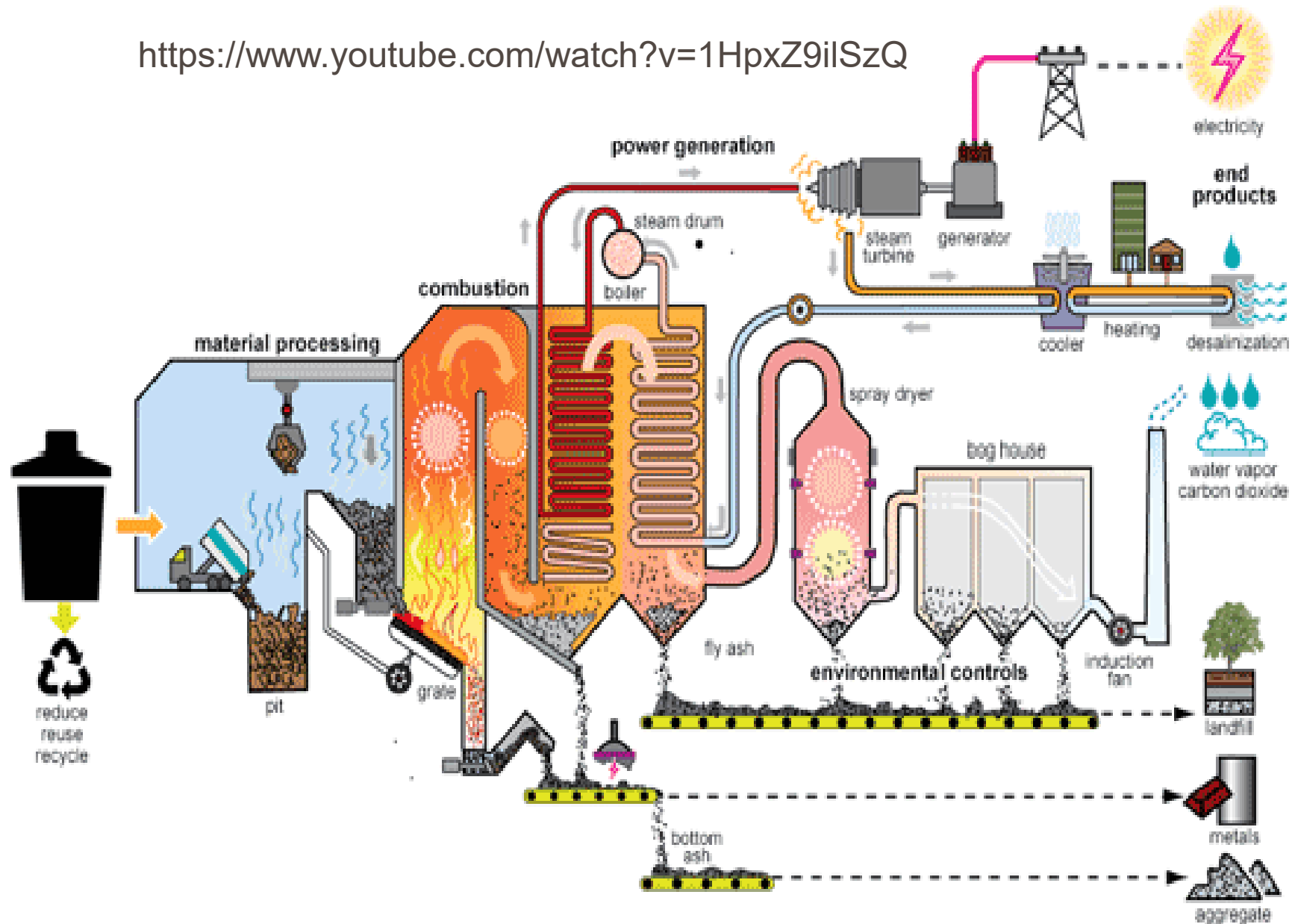
Представља највише коришћену
технологију третмана отпада, која је
почела да се развија пре више од 100
година.



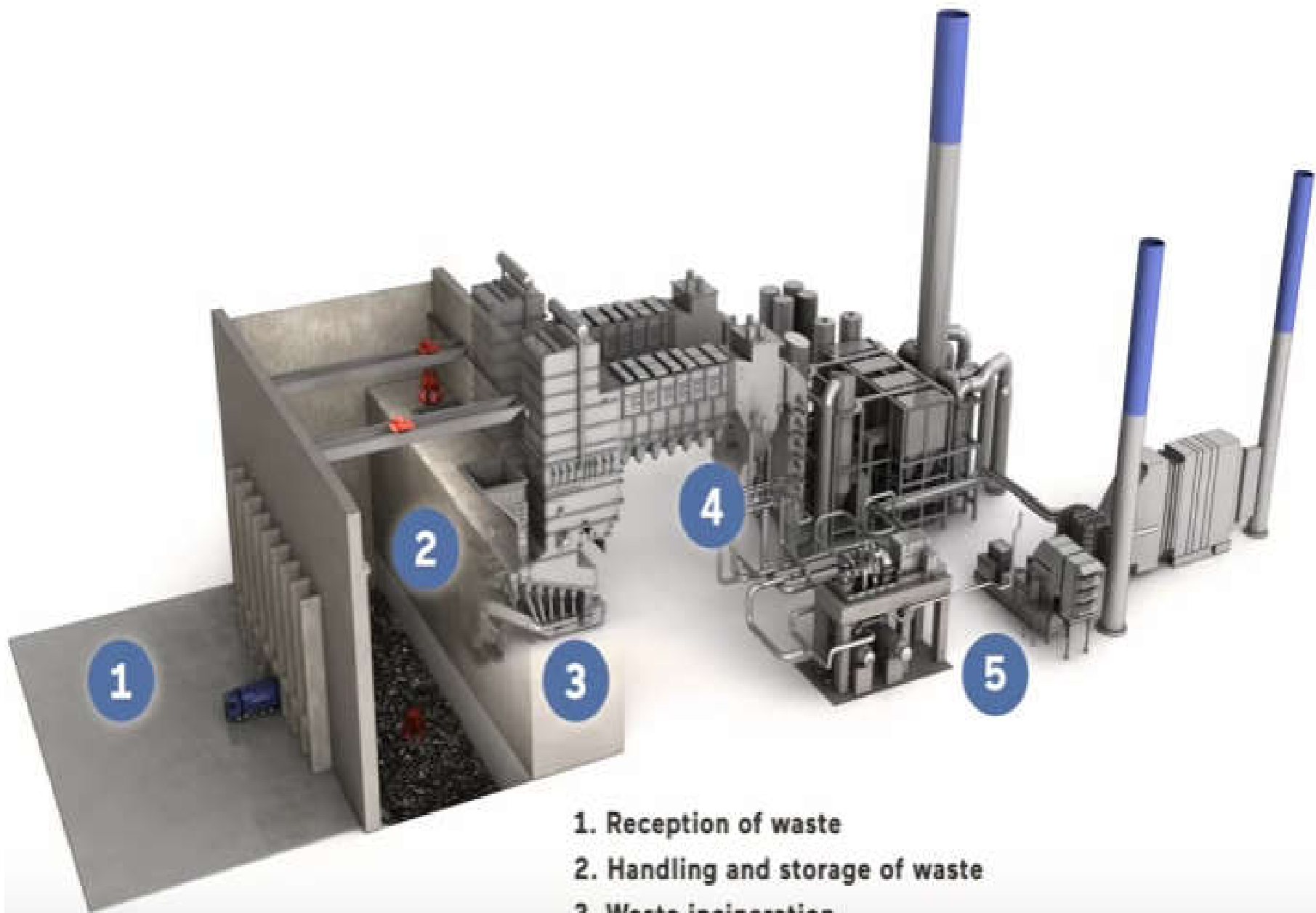
1896

Waste-to-energy plant

<https://www.youtube.com/watch?v=1HpxZ9ilSzQ>



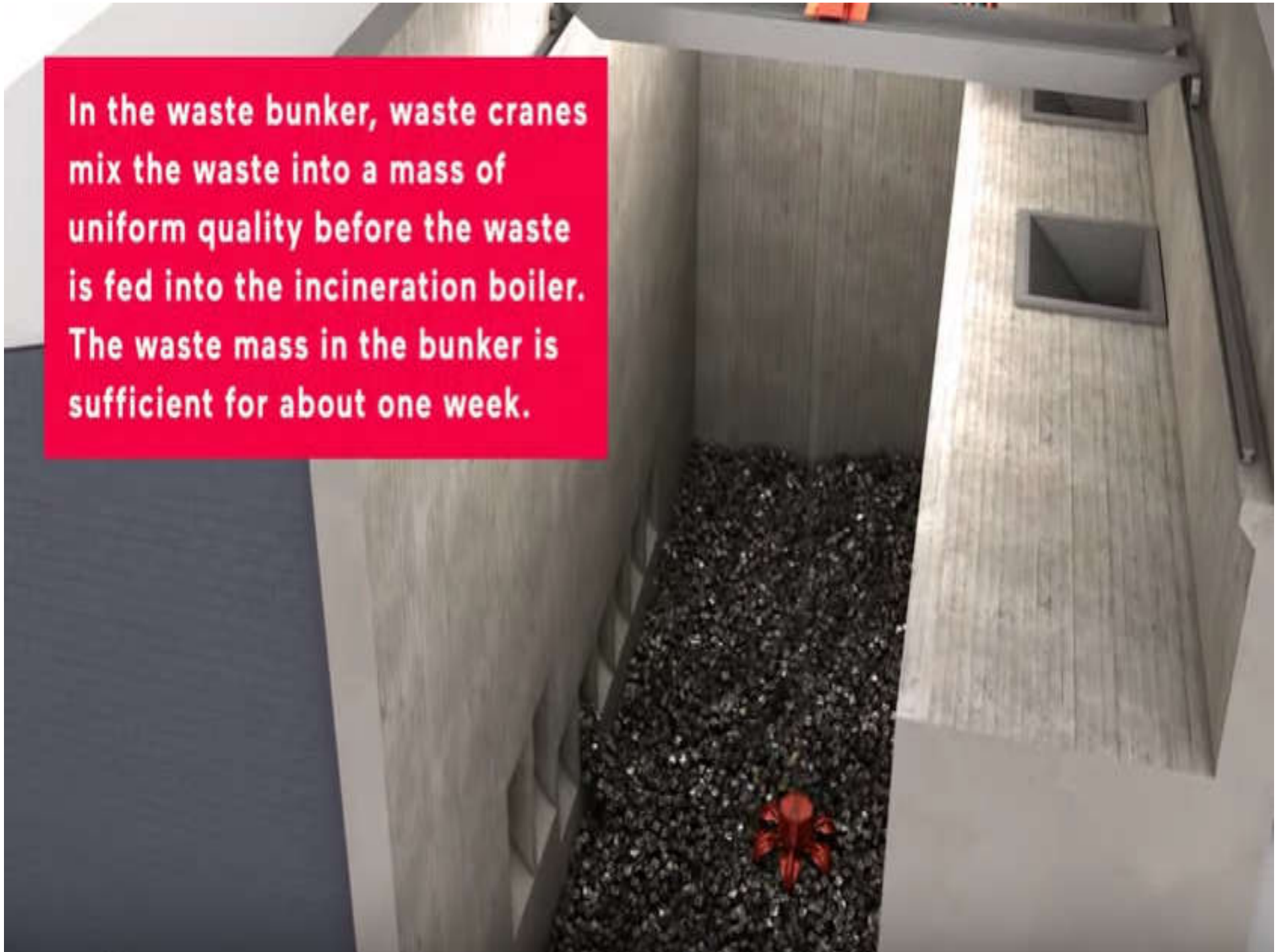
Source: Adapted from the National Energy Educational Development Program



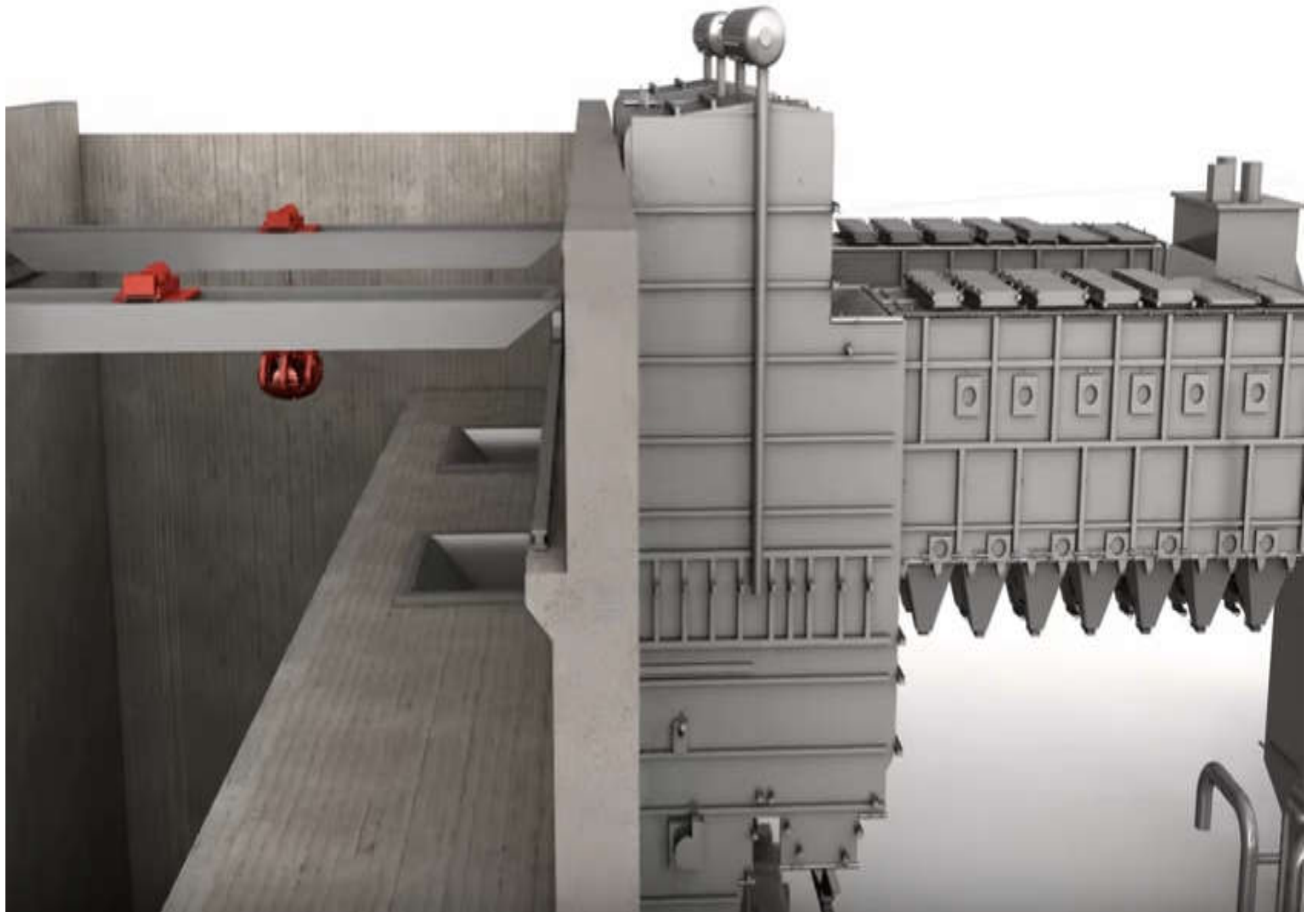
1. Reception of waste
2. Handling and storage of waste
3. Waste incineration
4. Recovery of combustion energy in the waste-to-energy boiler
5. Production of electricity and district heat

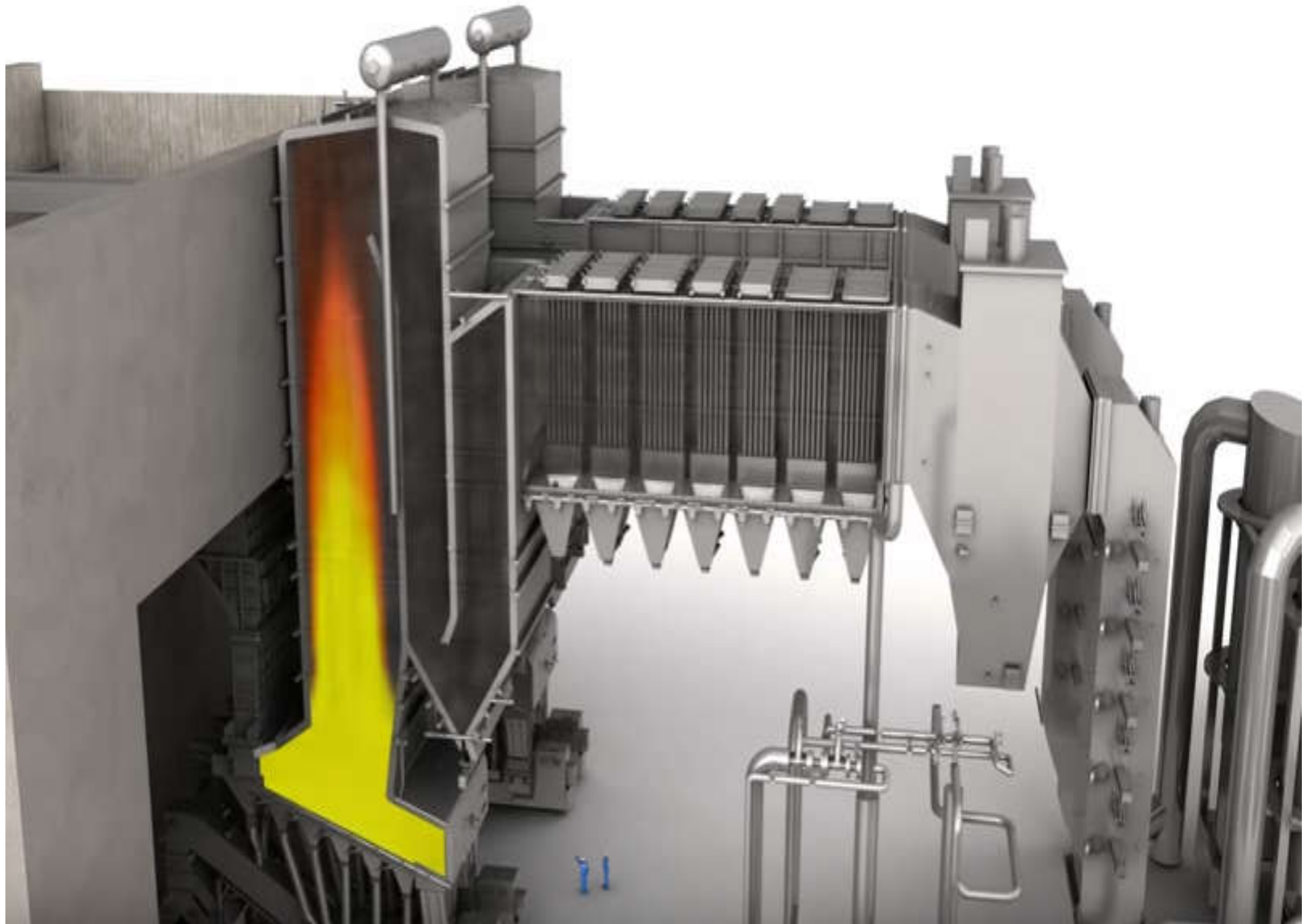


In the waste bunker, waste cranes mix the waste into a mass of uniform quality before the waste is fed into the incineration boiler. The waste mass in the bunker is sufficient for about one week.

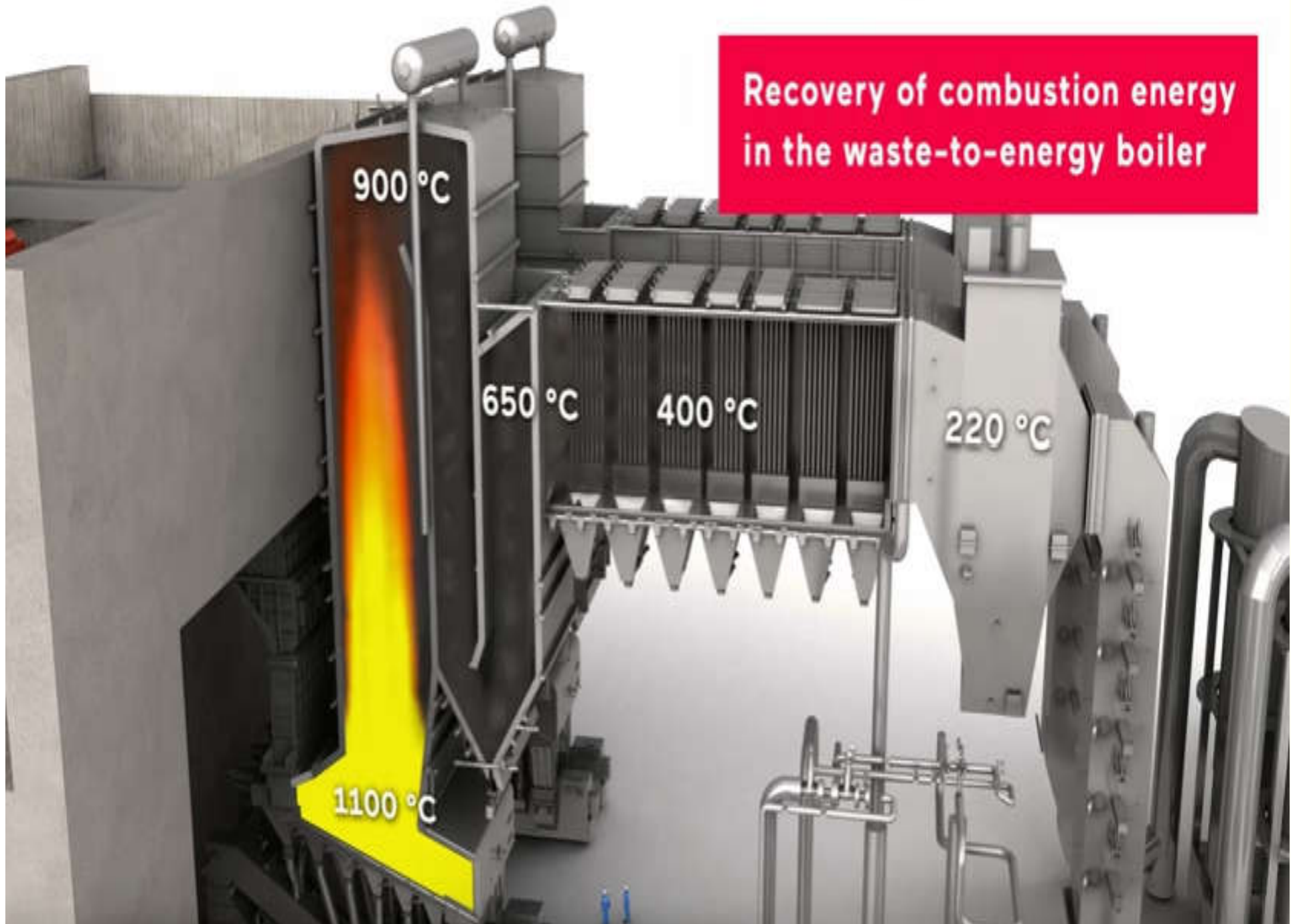


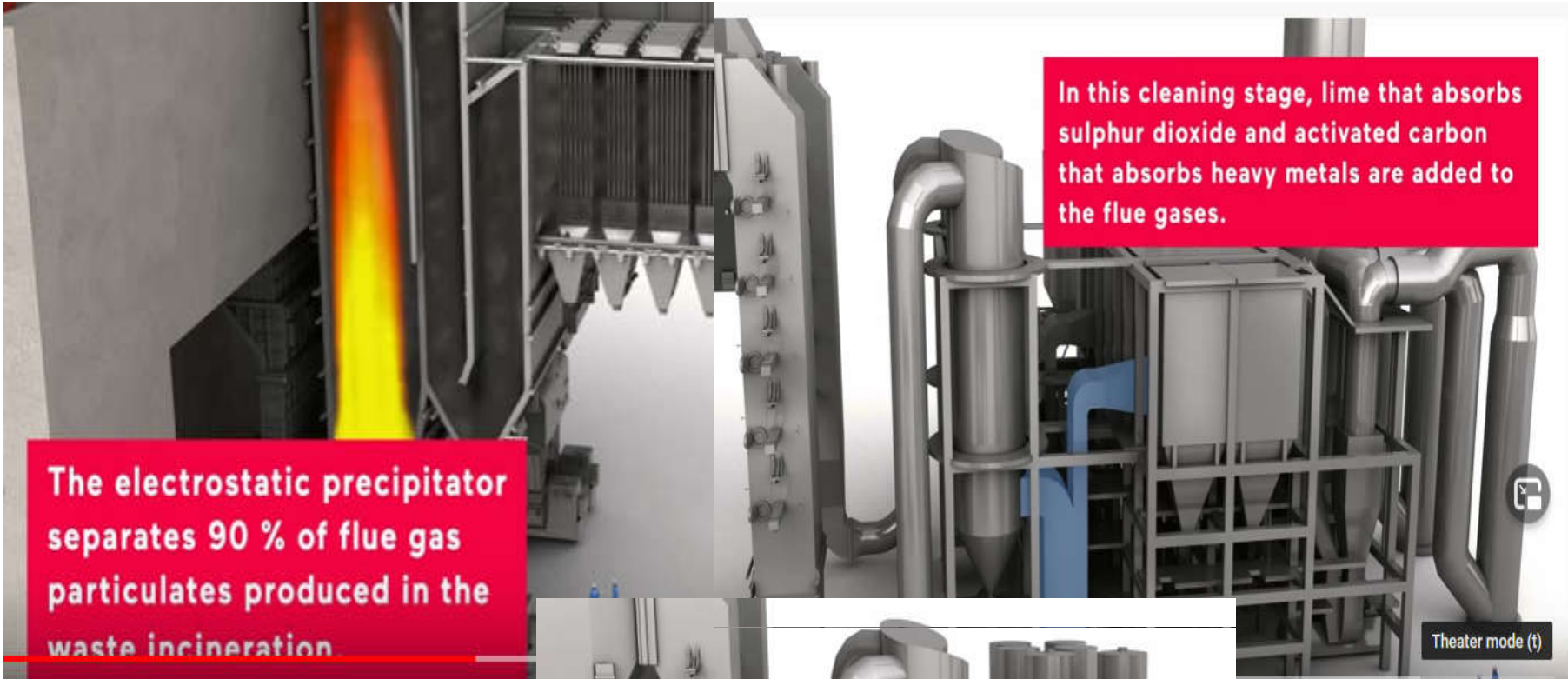






Recovery of combustion energy
in the waste-to-energy boiler





The electrostatic precipitator separates 90 % of flue gas particulates produced in the waste incineration.

In this cleaning stage, lime that absorbs sulphur dioxide and activated carbon that absorbs heavy metals are added to the flue gases.

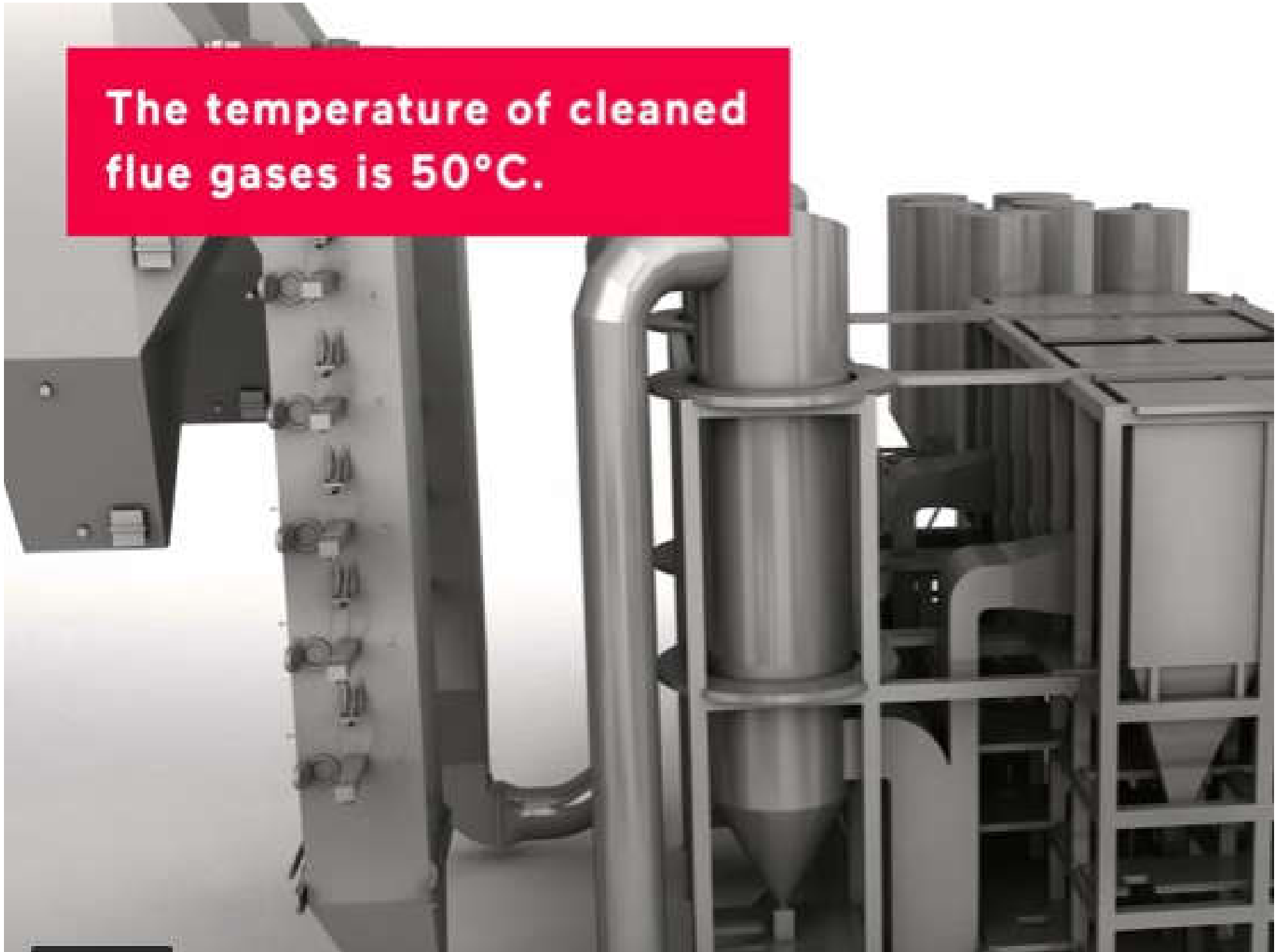


Bag filters collect impurities from the flue gases, after which the flue gases meet the limit values set for them.

The heat recovered from flue gases is transferred into the district heating water.



The temperature of cleaned flue gases is 50°C.



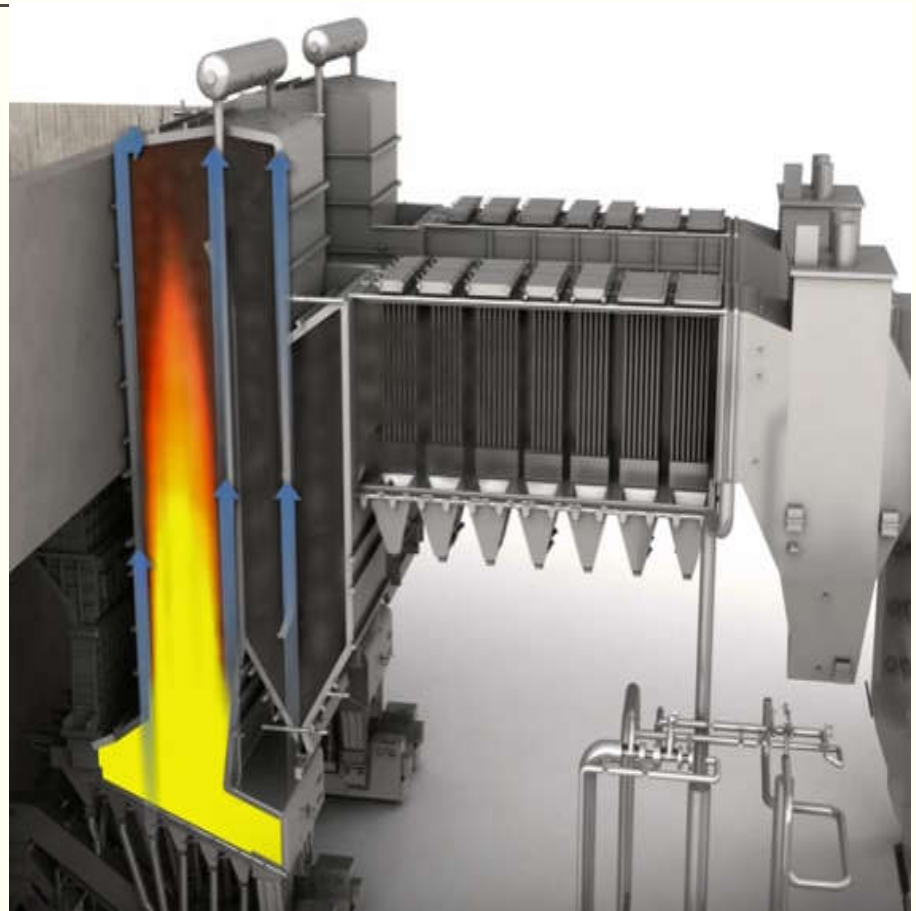
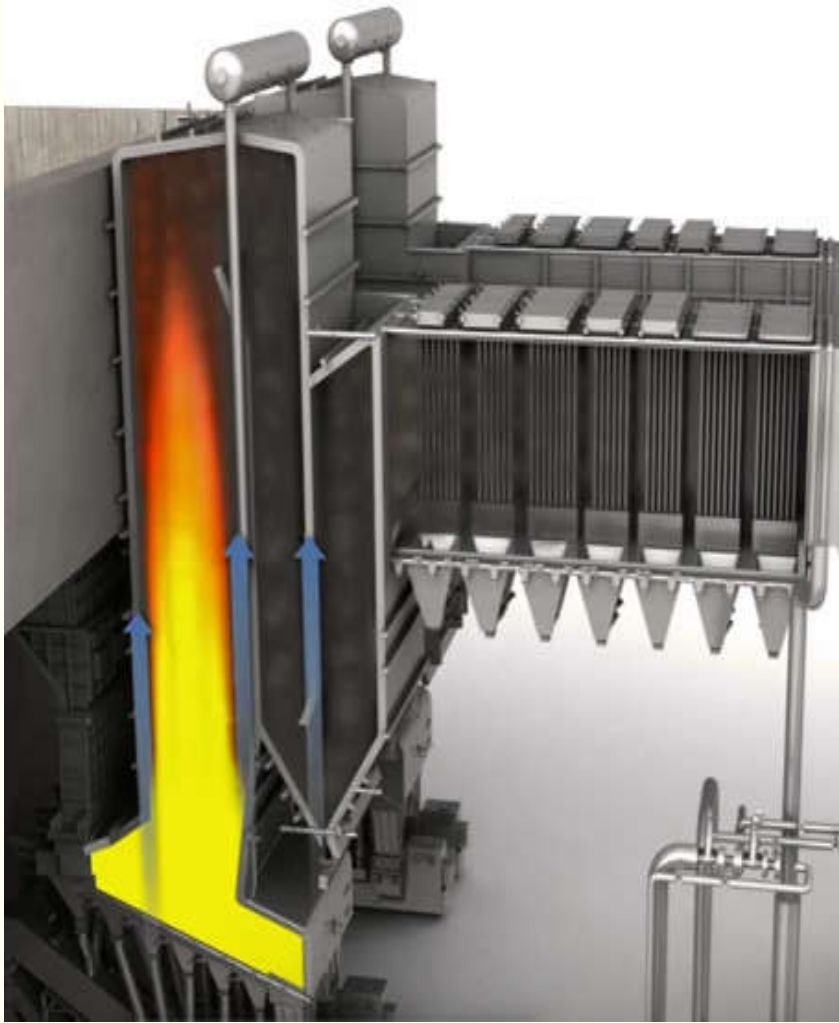
RECYCLED HEAT

The district heat produced in the waste-to-energy plant is called Recycled Heat.

**Waste to
energy
boiler**

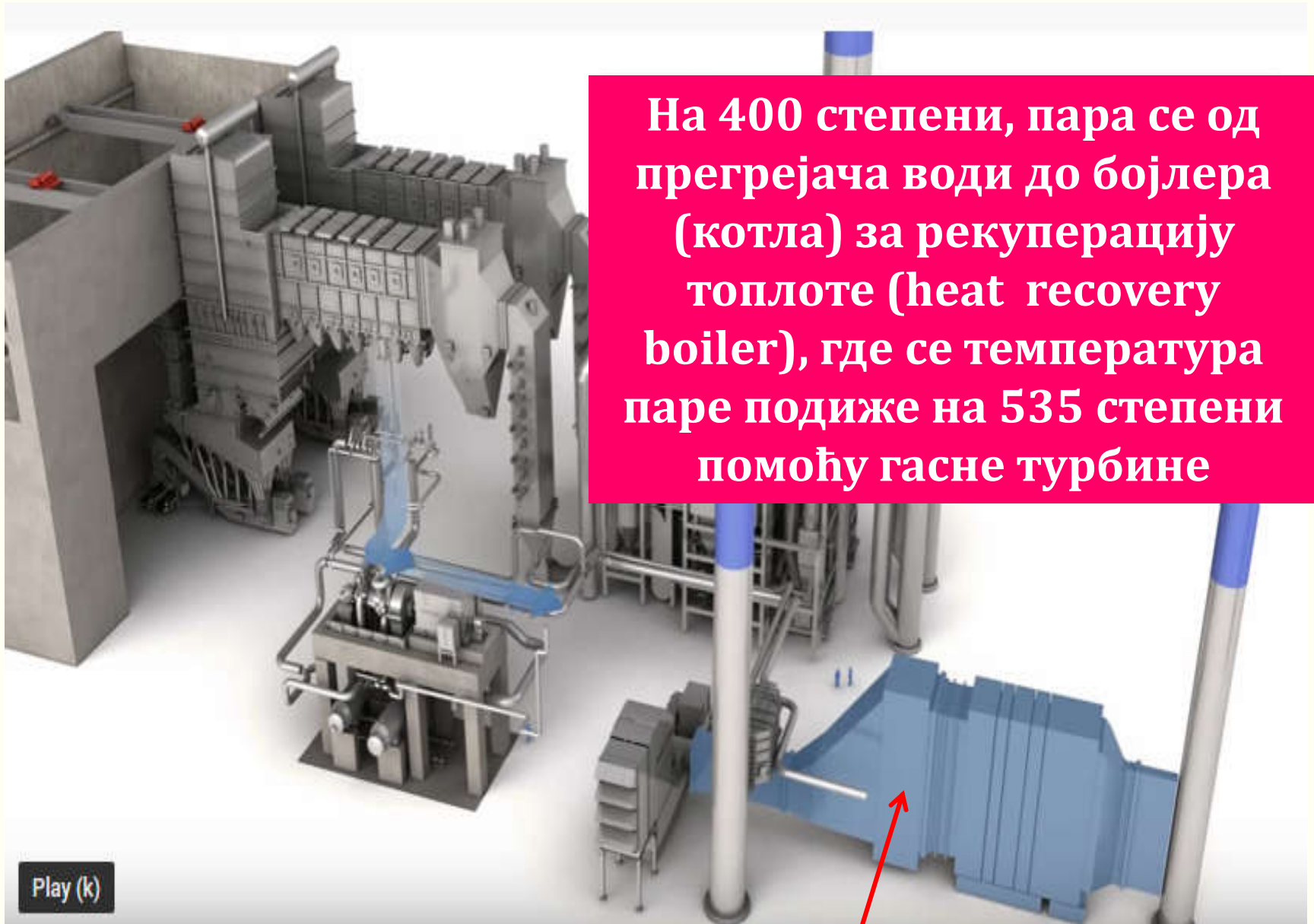


**Напојна вода се пумпа кроз
предгрејач до зидова цеви
бојлера (котла) за отпадну
енергију (waste to energy
boiler)**





На 320 степени, пара се одводи из цилиндра високог притиска до прегрејача где се температура диже до 400 степени



На 400 степени, пара се од прегрејача води до бојлера (котла) за рекуперацију топлоте (heat recovery boiler), где се температура паре подиже на 535 степени помоћу гасне турбине

Play (k)

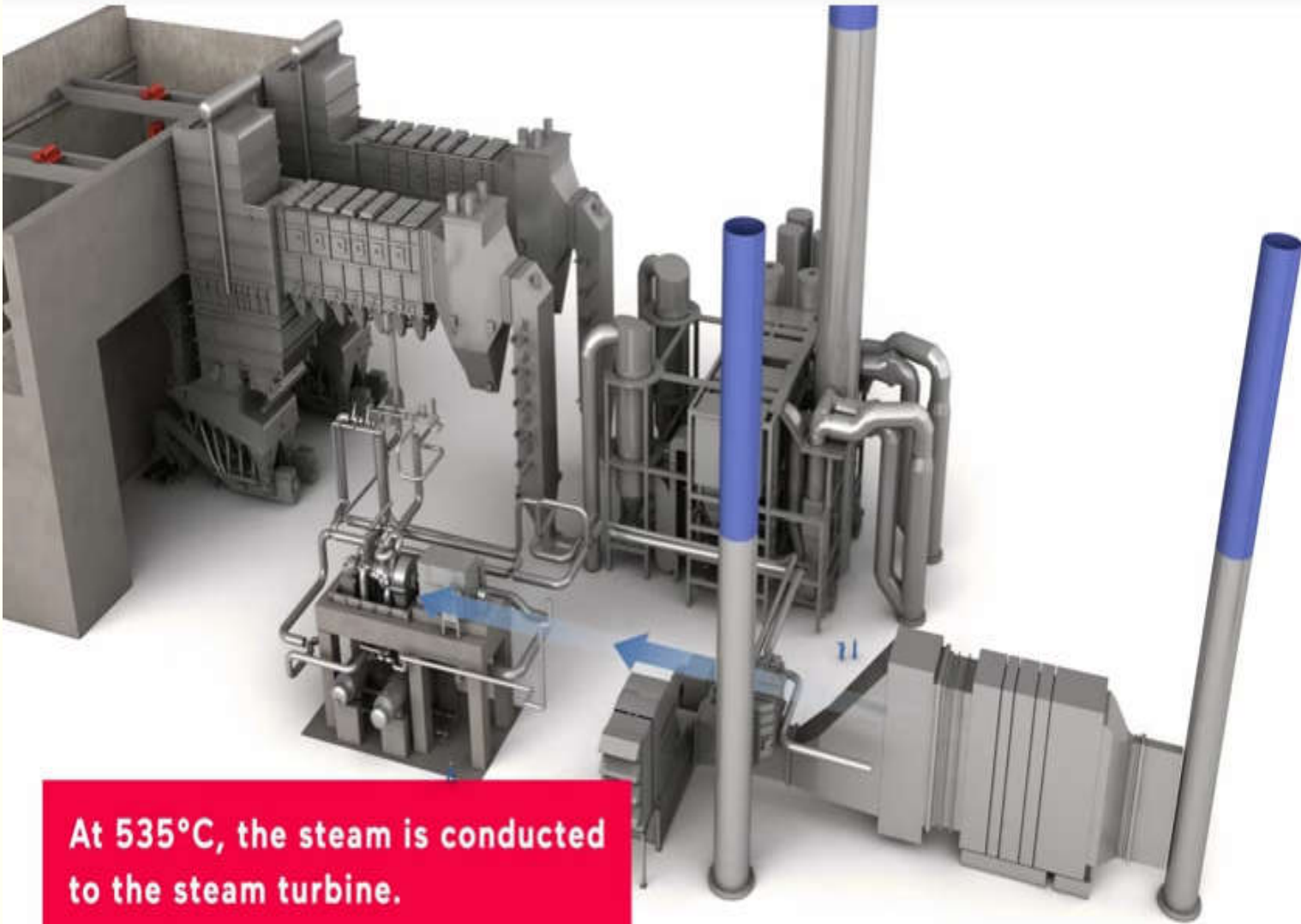
Heat
recovery



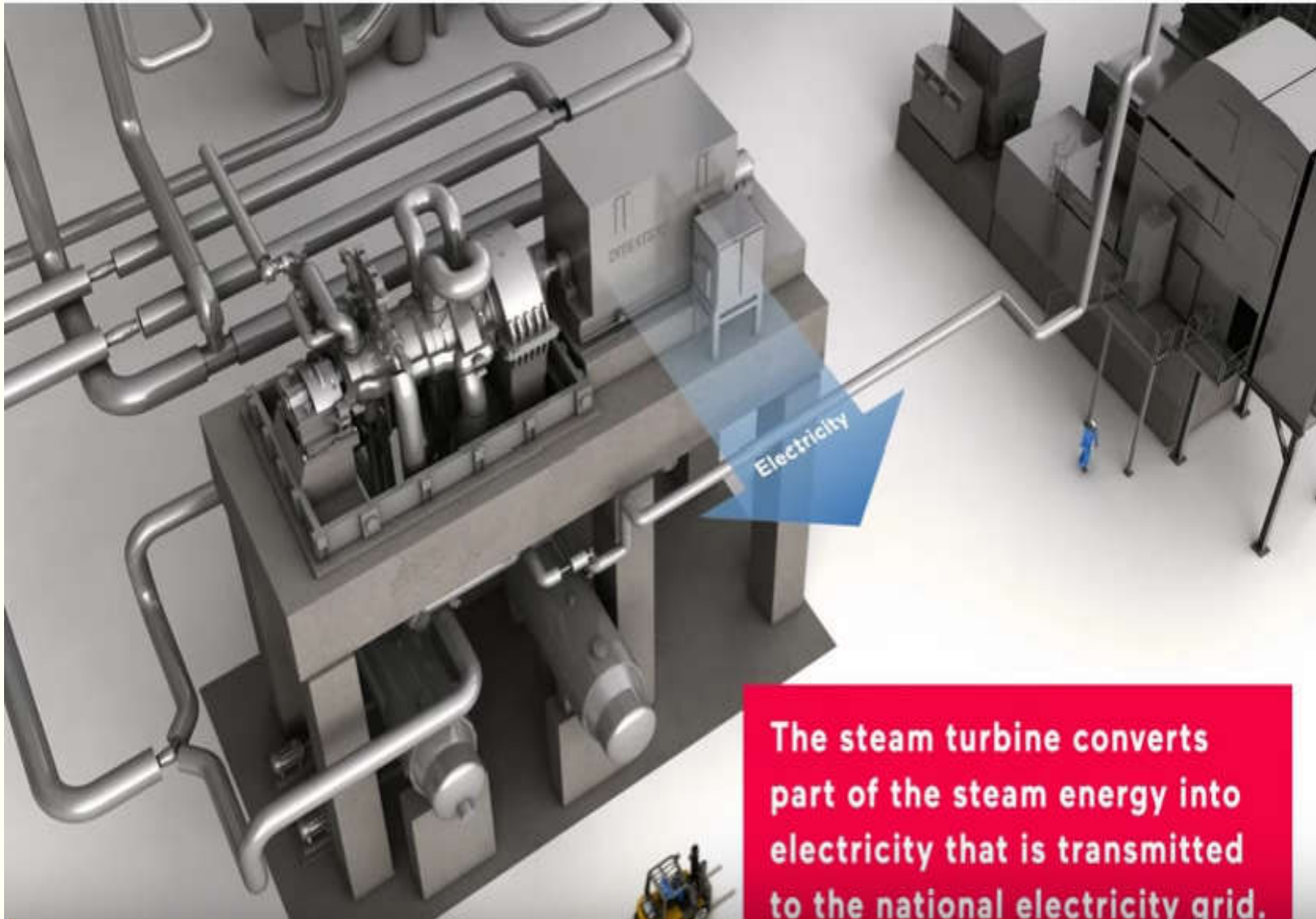
**Пара загрева воду која се
води у мрежу даљинског
грејања**

RECYCLED ELECTRICITY

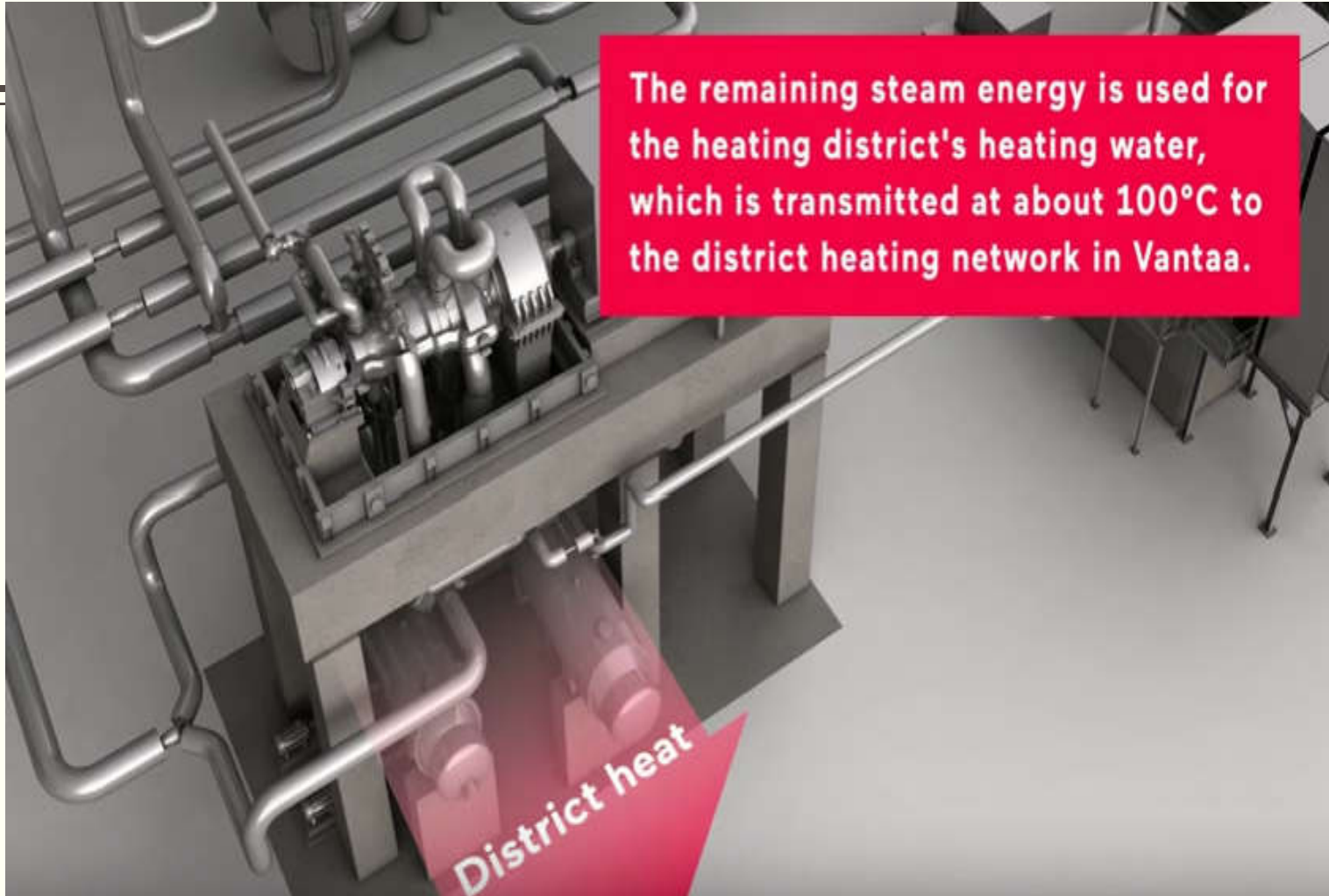
The electricity produced in the waste-to-energy plant is called Recycled Electricity.



=



The steam turbine converts part of the steam energy into electricity that is transmitted to the national electricity grid.



The remaining steam energy is used for the heating district's heating water, which is transmitted at about 100°C to the district heating network in Vantaa.

District heat

У зависности од квалитета отпада и врсте инсталираног система, сортирање отпада може бити неопходно или непотребно, али је по правилу неопходна **хомогенизација отпада.**

То подразумева **адекватно мешање отпада краном,** пре самог процеса инсинерације.



У делу за сагоревање, одвија се неколико фаза.

Прво се отпад суши и смањује му се влага, а после тога почиње сагоревање лако запаљивих компоненти у отпаду, а касније и остатка при чему долази до оксидације везаног угљеника.

Значи, у ложишту отпад пролази кроз неколико фаза:

1. сушење (испаривање влаге) и испаривање волатила (лако испарљиве органске компоненте)

2. сагоревање волатила (органске компоненте)

3. сагоревање чврстог угљеног остатака

У пракси су неке од ових фаза спојене у једну, пошто се отпад разликује по садржају влаге, температури сагоревања, саставу волатила, количини везаног угљеника и температури⁶²

Када се отпад нађе у врућем ложишту:

- сушење се врши на температури од 50 - 100 оС.
- након сушења, долази до распадања под дејством топлоте и до топлотне разградње органског материјала при повишеној температури и одсуству кисеоника и том приликом стварања волатила, горивих гасова и испарења (ослобађање волатила је на температури од 200 - 750 оС, а интензивније ослобађање између 425 - 550 оС).

Отпад се у зони сагоревања задржава довољно дуго,
што, уз адекватан садржај кисеоника, резултира
**потпуним сагоревањем и оксидацијом димних
гасова, мањим садржајем суспендованих честица
у димним гасовима и пепелом доброг квалитета**
у смислу да садржи мале концентрације
неасогорелог угљеника.

Термокинетички услови спаљивања отпада

Како би се створили услови за ефикасну термичку обраду отпада, у процесу спаљивања потребно је осигурати тзв. „3Т+О“ (Temperature, Time, Turbulence+Oxygen), односно:

- **температура** у
ложишту.....(Temperature),
- **време** задржавања – ретенција.....(Time),
- **брзина** гасова у
ложишту.....(Turbulence),
- садржај **кисеоника** у
ложишту.....(Oxygen).

Уређаји за термичку обраду отпада требају бити пројектовани и изведени на начин да осигурају **температуру у ложишту од најмање 850°C и то тако да се димни гасови на тој температури задржавају најмање 2 секунде.**

Ако отпад садржи халогене органске материје (нпр.хлор), с масеним уделом више од 1 %, температура димних гасова у ложишту мора достићи

Уређај за спаљивање мора имати аутоматски систем који **спречава додавање отпада у ложиште** у случајевима:

- када **није постигнута тражена температура,**
- ако се **не одржава захтевана температура,**
- ако **емисије прекорачују допуштене вредности**

Типови процеса

Технолошки гледано, разликују се три типа процеса инсинерације:

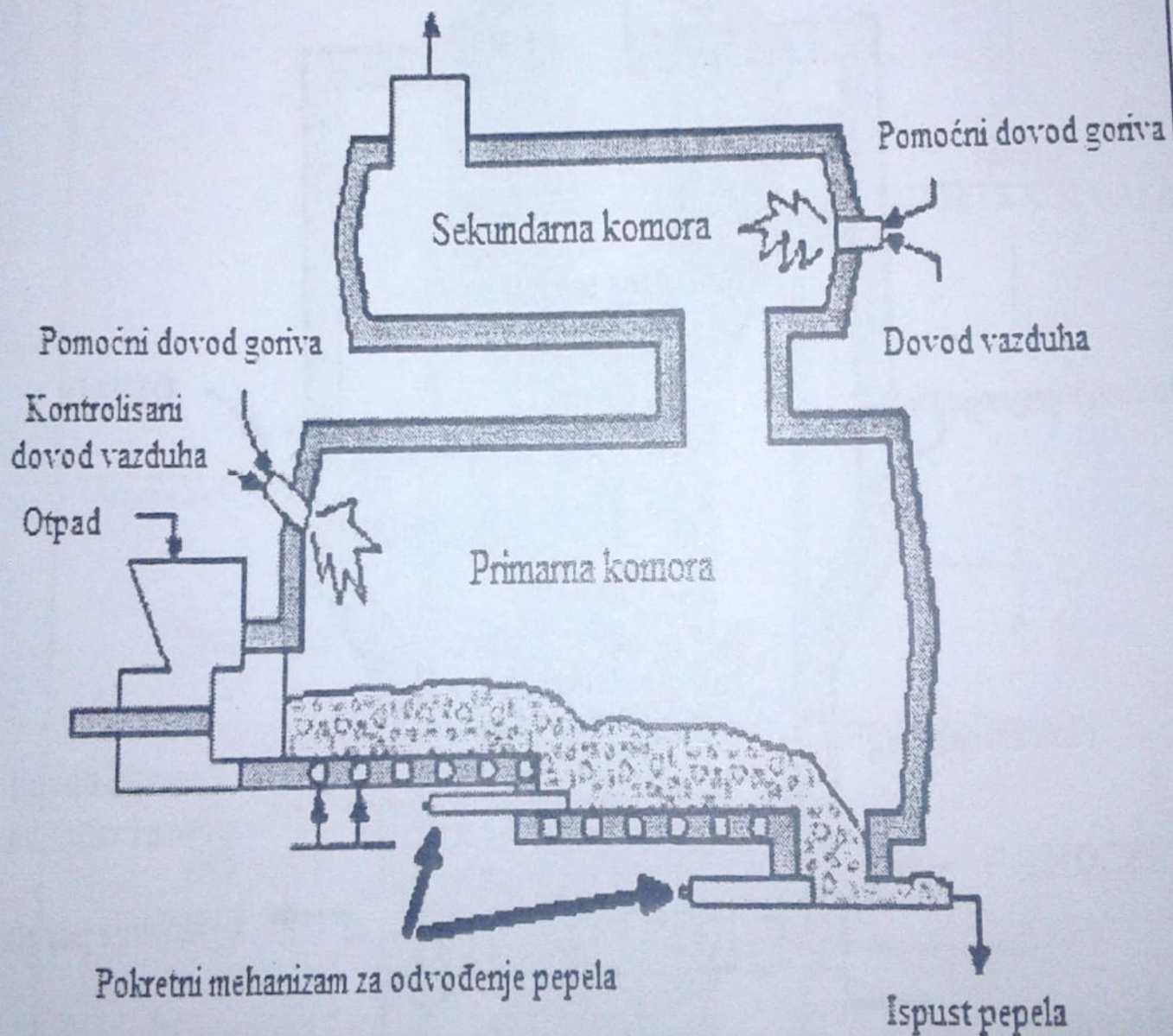
- **Једноступени систем сагоревања;**
- **Модуларно - двоступено сагоревање;**
- **Сагоревање у флуидизованом слоју.**

Модуларно, односно двостепено сагоревање се разликује у односу на једностепено у томе што има **две коморе за сагоревање.**

У првој се сагоревање **врши под контролисаним условима, уз мањак ваздуха.**

Настали гасови се одводе **у другу комору, која је богата кисеоником и ту долази до потпуног сагоревања.**

Izlazni gasovi
usmeravaju se ka sistemu za prečišćavanje ili direktno za iskorišćenje energije

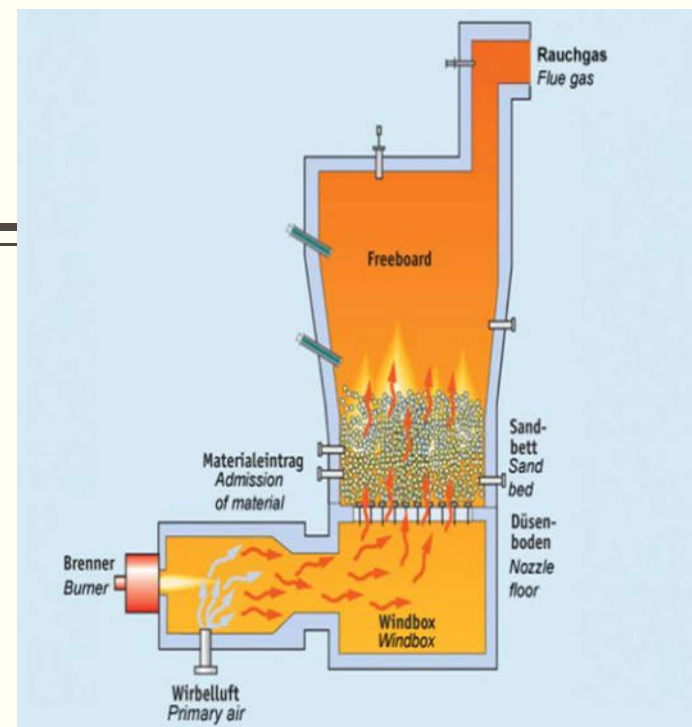
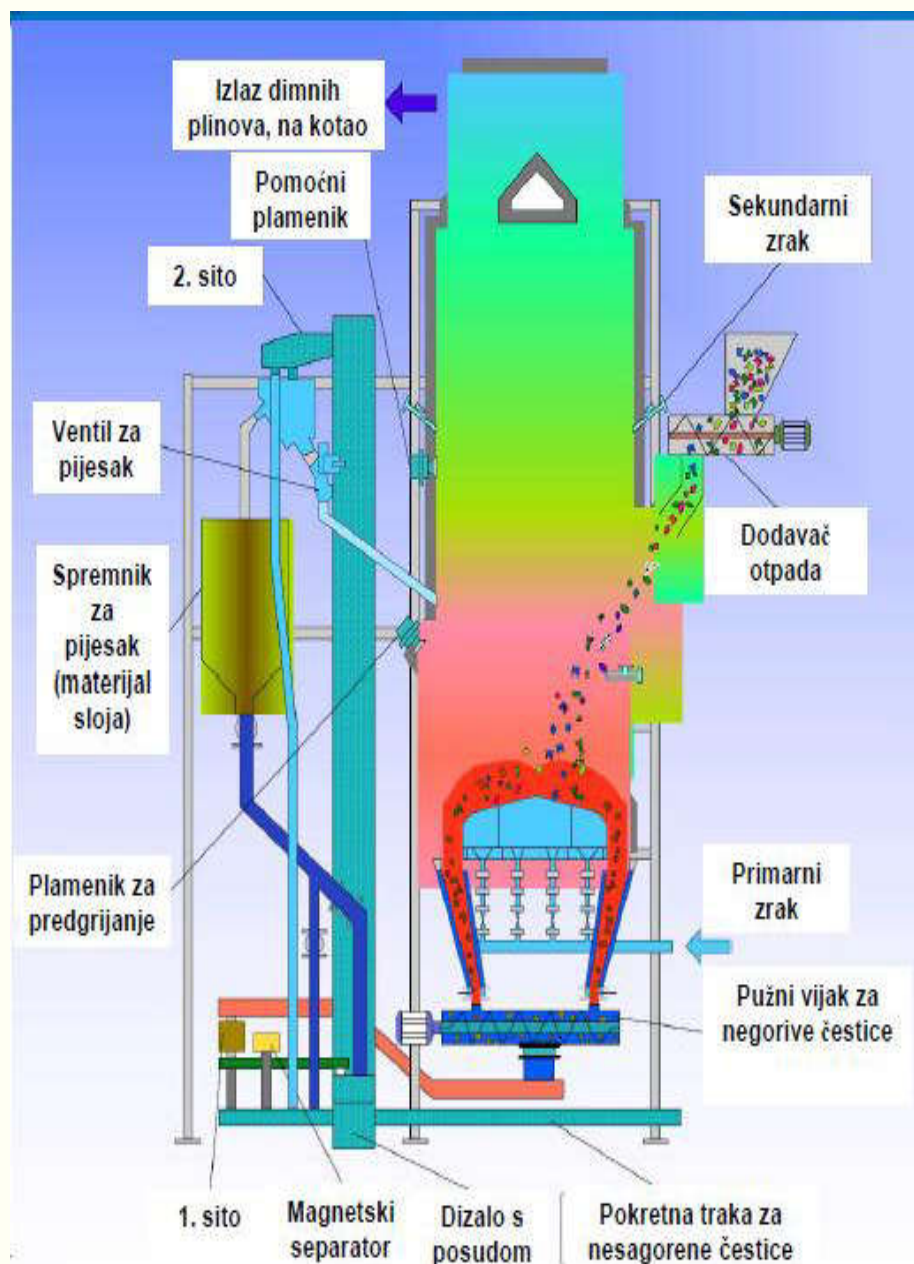


Спаљивање у флуидизираним стању

Код сагоревања у флуидизованом слоју, неопходно је **претходно уситнити отпад** на мање фракције у циљу добијања хомогене масе за сагоревање.

Сав метал из отпада се издваја пре сагоревања. На дну решетке за сагоревање налази се **слој инертног материјала**, (најчешће **песак**), који се **одржава у флуидном стању тако што кроз њега пролази ваздух.**

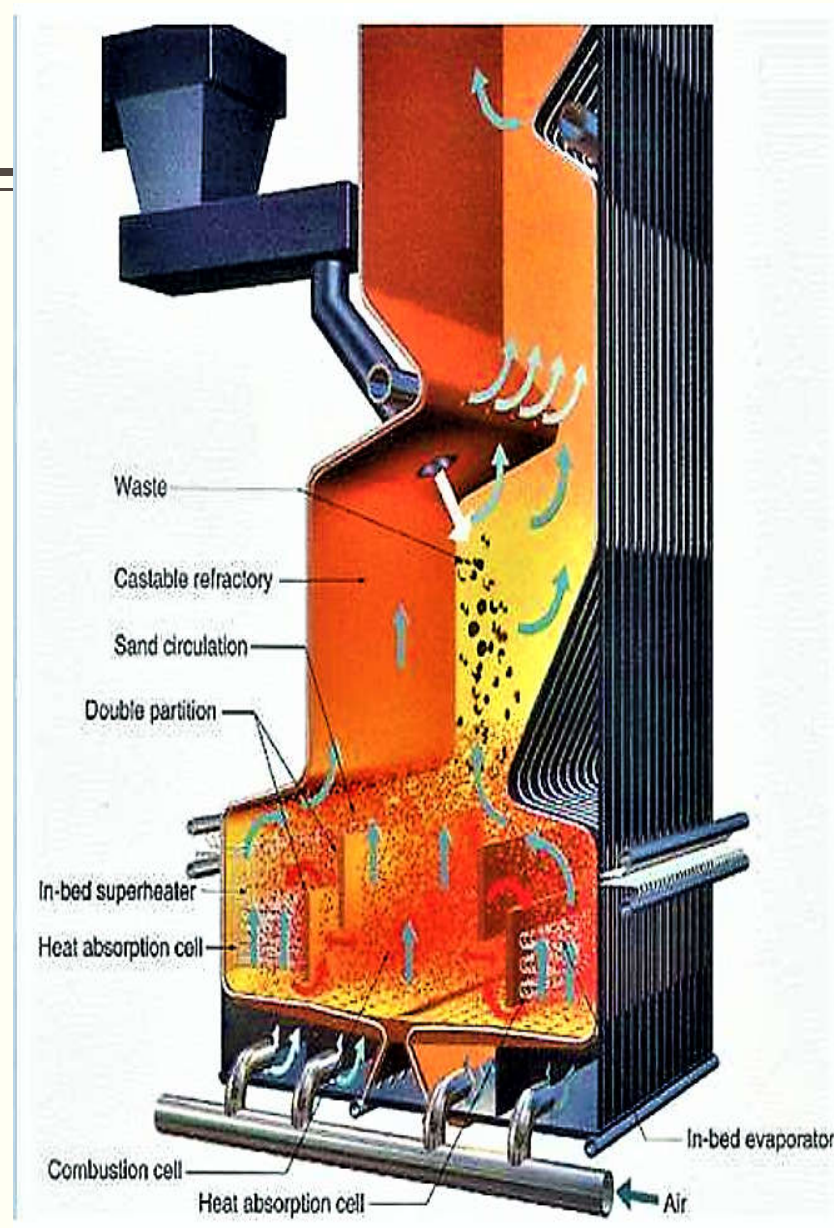
Убризгавањем ваздуха у тако настали слој ствара се **турбуленција** и на тај начин поспешује снабдевање свих делова горива довољном количином кисеоника и приближавају овај процес потпуном сагоревању, што је



Гориво, које чини 1-3% масе укупног материјала слоја, сагорева у усијаном слоју инертног материјала (песак) који се услед прострујавања ваздуха са дна ложишта налази у стању лебдења и показује својства слична течности - налази се

Предности ове технологије су постизање врло високе вредности искористивости котла, и до 90%, као и мање емисије димних гасова у атмосферу.

Недостаци су захтев за предобрадом отпада, као и цена која је у односу на цену технологије сагоревања на решетки знатно већа, те се због тога користи само у електранама снаге преко



Према констукцијском извођењу ложишта,
спаљивање може бити:

- 1. Спаљивање у ложиштима с решетком
(роштиљем)**
- 2. Спаљивање у ротацијској пећи**
- 3. Спаљивање у флуидизираним стању**

Инсинерација на покретној решетки

Ово је најчешће извођење инсинератора, где се слојеви материјала за сагоревање кроз пећ, преносе помоћу покретне решетки, која чини доњи део пећи.

Задатак решетки је да распореди отпад по ширини, да га транспортује по дужини решетки и доведе потребну количину ваздуха (да уједначено дистрибуира ваздух неопходан за сагоревање).

На решеткама се отпад, пре сагоревања, суши.

Изнад решетке је комора за сагоревање у којој сагоревају претходно развијени гасови.

Оптимальна температура сагоревања је од 850-1000°C.

Решетка

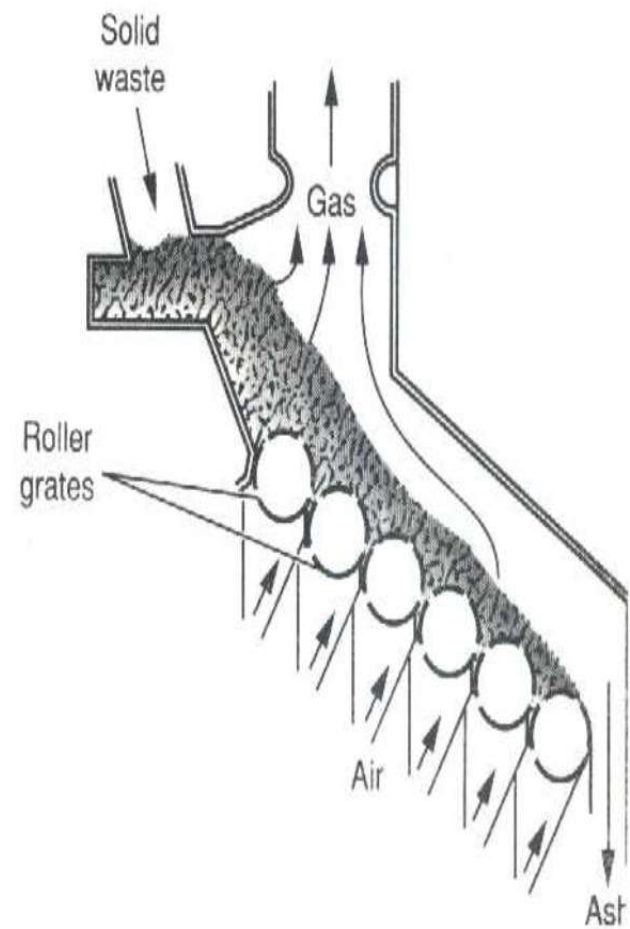
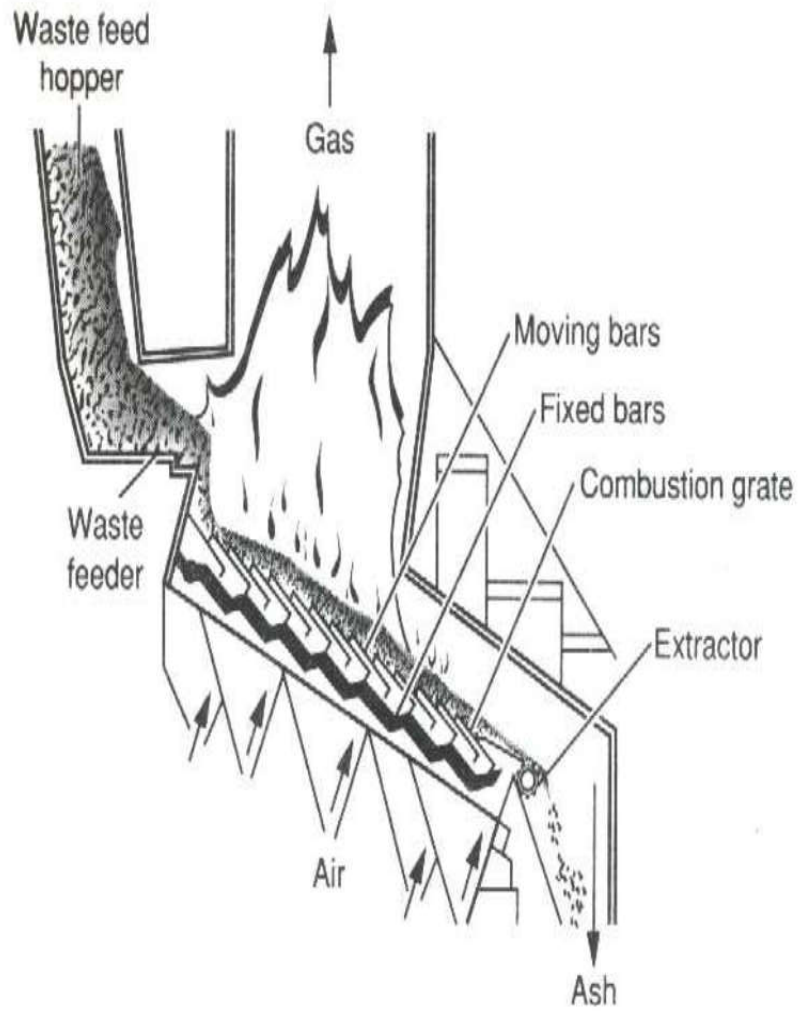
Перформансе решетки су битне за рад целог постројења јер она транспортује, меша и распоређује отпад у слојеве **тако да има највећу могућу површину**, а такође и дистрибуира потребан ваздух за ефикасно сушење, запаљење и сагоревање.

Решетке се обично изводе као уздужне појединачне секције или чак и одвојене траке, када је решетка веома широка.

Приликом димензионисања решетке мора се водити рачуна да **ширина буде адекватна у односу на термалну оптерећеност решетке, а дужина довољна да омогући задовољавајући термални третман шљаке у пећи.**

Максимално 60 до 70% дужине решетке се примењује за сушење и зону сагоревања, док остали део решетке треба да буде доступан за потпуно сагоревање шљаке и пепела.

Типови решетке



Током растресања, отпад се меша са ваздухом који се удувава кроз решетке.

Овај ваздух помаже потпуном сагоревању и ситне честице подиже са решетака.

Део ваздуха се усмерава испод решетака (40 до 60% од целокупне количине ваздуха) и служи за сагоревање и хлађење решетака.

Ако је проток ваздуха испод решетака мали, расте температура на решеткама што изазива топљење пепела и запушивање решетака и на тај начин се решетке оштећују, а сагоревање није оптимално.

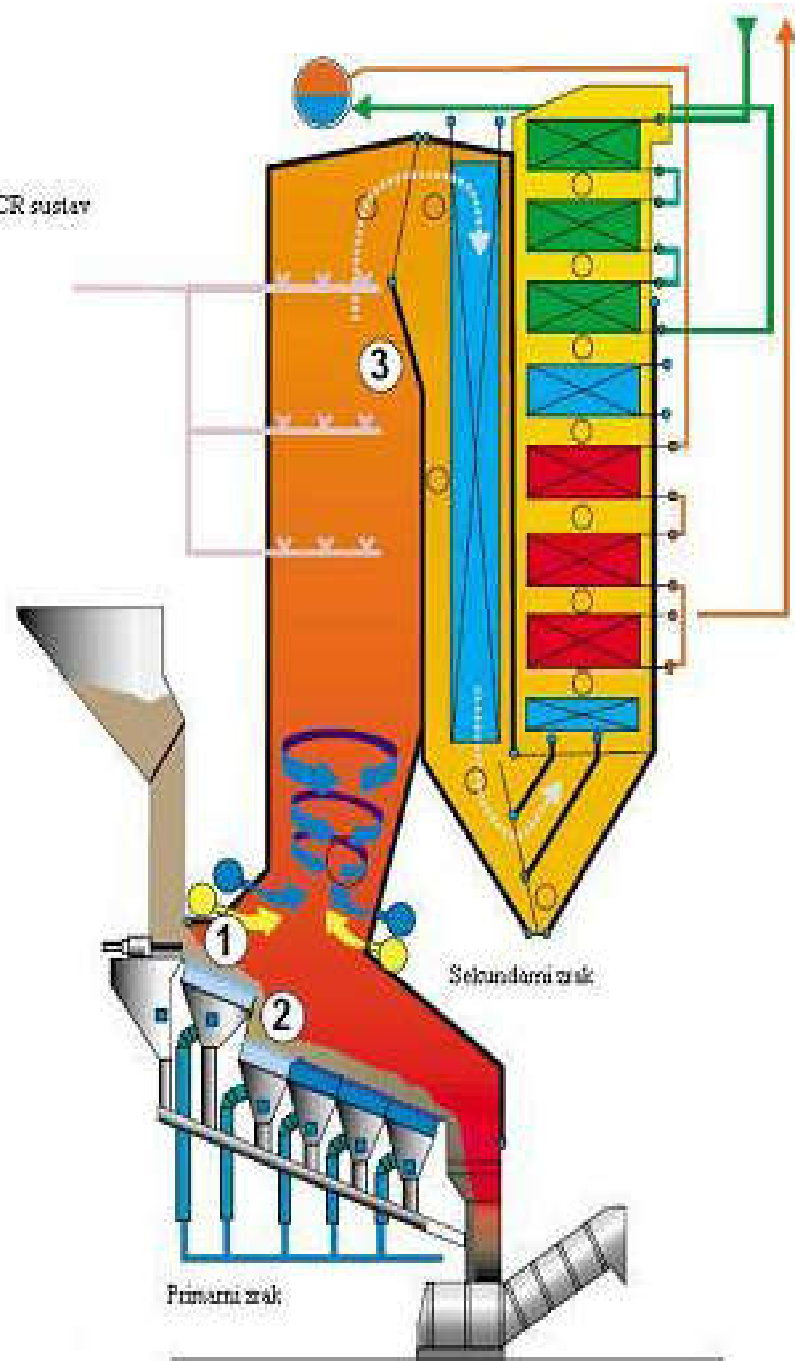
Von Roll-ов систем за сагоревање отпада на покретној р

При процесу ваздух се доводи као **примарни и секундарни.**

Примарни ваздух се доводи испод решетке, где при температурама од око 230°C долази до запаљења отпада.

У распону температура од $230-850^{\circ}\text{C}$ долази до стварања гасова и њиховог сагоревања које се одвија на температурама већим од 850°C .

Гасови који до тада нису сагорели (нпр. угљен моноксид) одводе се у комору за сагоревање где заједно секундарним ваздухом сагоревају.

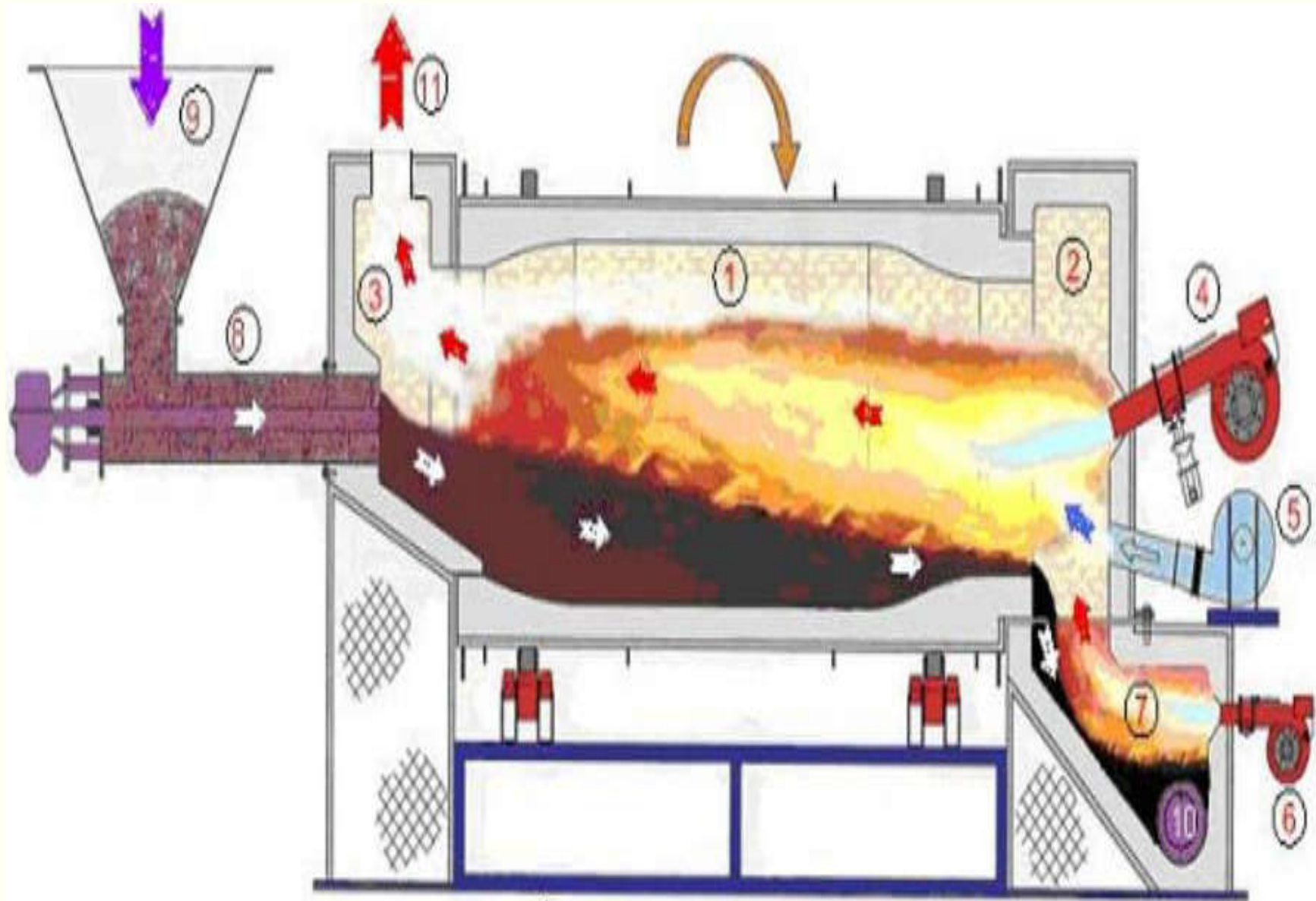


Инсинерација у ротационој пећи

Сагоревање отпада се врши унутар ротационог цилиндра, који је под нагибом.

Овај систем углавном има додатну комору за сагоревање.

Уобичајене температуре при којима се врши сагоревање крећу се од 500-1500°C.

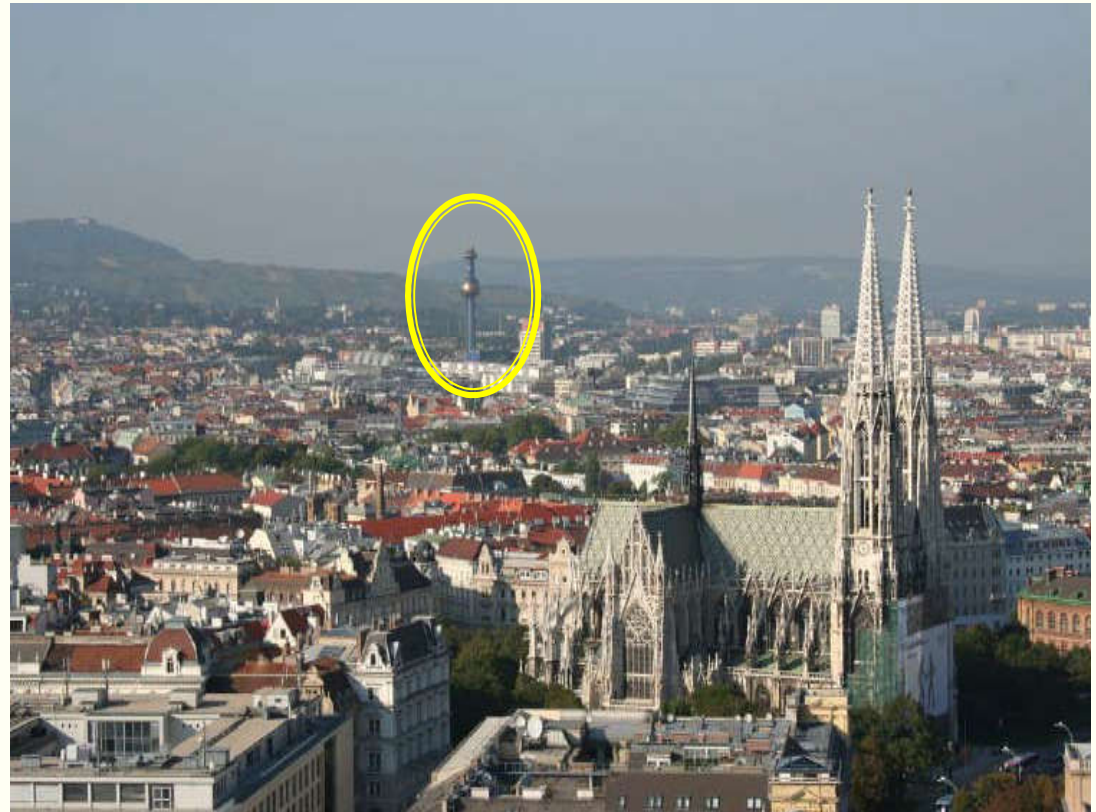


Вероватно најпознатија
спалионица у свету, пре
свега због свог дизајна, је
Spittelau, у Бечу.
Саграђена између 1969. и
1971. године, а 1987.
године у пожару су
уништени главни делови
постројења за спаљивање



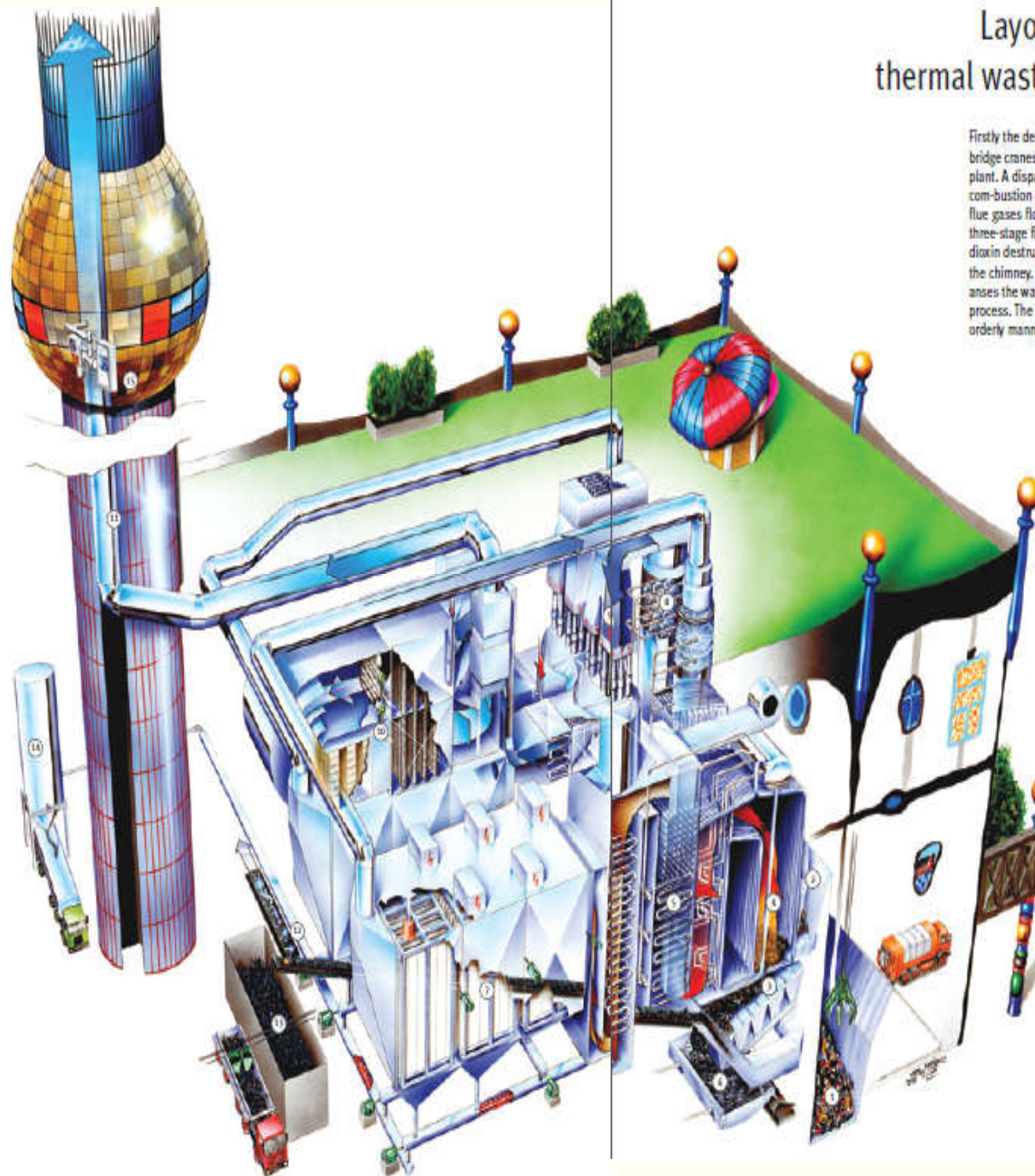
Уместо рушења,
спалионица је
обновљена на истом
месту.

Ту је већ била
присутна сва
инфраструктура, а
велика је предност
што се отпад

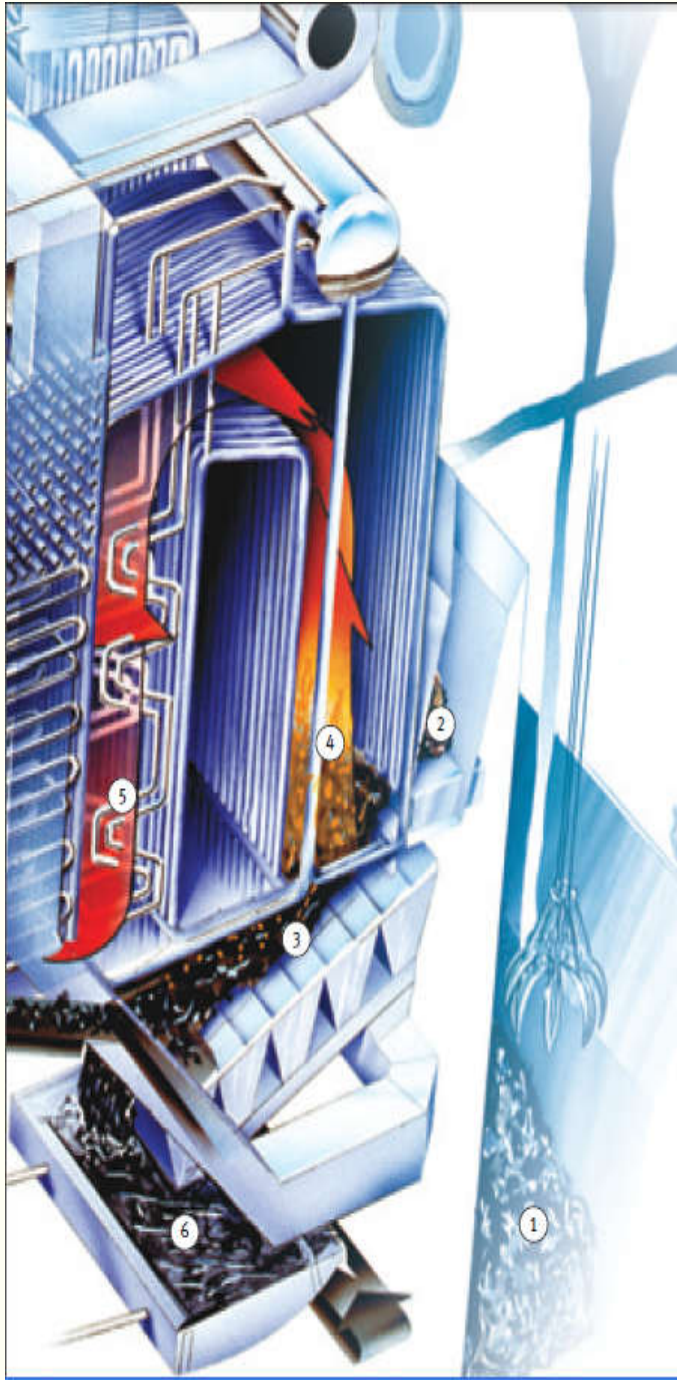


Layout of the Spittelau thermal waste treatment plant.

Firstly the delivered waste arrives at the waste bunker. Two bridge cranes feed the feeding hoppers (filling shafts) of the plant. A dispatcher thrusts the waste onto the grate of the combustion chamber. From the overhead steam boiler the flue gases flow through an electrostatic precipitator and a three-stage flue gas scrubber into the catalytic deNO_x and dioxin destruction system. They finally leave the works via the chimney. The in-house waste water treatment plant cleanses the waste water resulting from the flue gas cleaning process. The remaining solid residues are disposed of in an orderly manner.



- ① Waste bunker
- ② Feeding hopper
- ③ Grate
- ④ Combustion chamber
- ⑤ Waste heat boiler
- ⑥ Wet slag remover
- ⑦ Electrostatic precipitator
- ⑧ Flue gas wet scrubber (two-stage)
- ⑨ Fine dust separator (electrodynamic Ventur)
- ⑩ SCR deNO_x system
- ⑪ Chimney
- ⑫ Magnetic separator
- ⑬ Slag bunker
- ⑭ Filter ash silo
- ⑮ Emission control

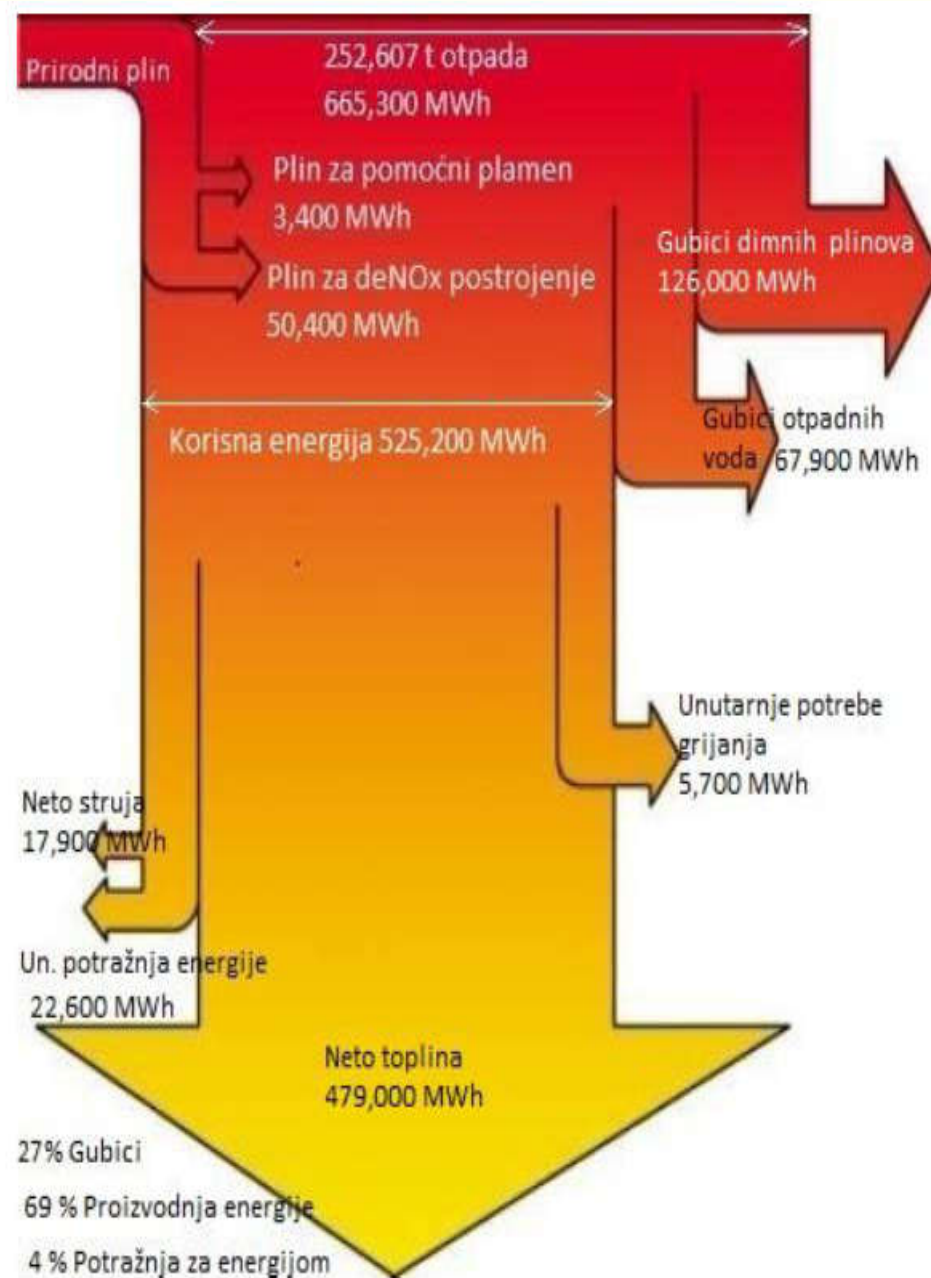


-
1. Бункер за отпад
 2. Дозатор
 3. Решетка
 4. Комора за сагоревање
 5. Бојлер
 6. Склањач шљаке

Енергетски биланс

Губици у укупном билансу заузимају 27%, док спалионица за своју, интерну употребу као што је електрична енергија, грејање користи 4 % укупне енергије.

Нето топлота која се добија износи 479,000 MWh, док укупна енергија која се добија спаљивањем 252.607 тона отпада, износи 665.300 MWh, из чега произилази ефикасност од 70 %.



-
-
- Пропусна моћ постројења је више од 250,000 тона/годишње
 - Након прочишћавања, излазни гасови се испуштају у атмосферу на висини од 126 метара.

Нови термички третмани отпада

Поред поменутих главних термичких метода за третман отпада, постоји и велики број нових технологија које су у фази настајања и испитивања могућности њиховог искоришћења у комерцијалне сврхе.

Тренутно су у фази развоја:

**ГАСПЛАЗМА, БРЗА ПИРОЛИЗА И ТЕРМАЛНА
ОКСИДАЦИЈА**

Пожељан опсег важних параметара за техничку изводљивост коришћења отпада за производњу енергије

Метод третмана		Основни принцип	Важне особине отпада	Пожељан опсег
Термохемијска конверзија	инсинерација	Разлагање материје помоћу топлоте	Садржај влаге	мање од 45%
	пиролиза		Органска/испарљива материја	више од 40%
			Везани угљеник	мање од 15%
			Инертне материје	мање од 35%
	гасификација		Топлотна моћ	већа од 6MJ/kg

По правилу, ове опсеге **испуњава обрађени (сепарисани) мешани отпад**, а тек пристигли отпад у постројење, који није селектован, углавном не испуњава ове критеријуме.

Добро пројектовање будућег постројења за сагоревање отпада, у директној је вези са тачним подацима о тренутним и процени будућих карактеристика отпада.

Такође, сезонске промене у количини генерисаног отпада и његовог састава, морају бити у дозвољеном опсегу који неће утицати на рад постројења.

Karakteristike	Insineracija			Gasifikacija	Plazma	Piroliza
	Jednostepeni sistem	Dvostepeni sistem	Fluidizovani sloj			
Mogućnost korišćenja komunalnog otpada, bez predtretmana	DA	DA	NE	NE	NE	NE
Dokazani sistem kroz praktičnu primenu, relativno jednostavna tehnologija i visok stepen pouzdanosti	DA	DA	DA	Delimično dokazan kroz praktičnu primenu, kompleksniji sistem od insineracije, manje pouzdan i veoma skup	NE	NE
Postojanje pouzdanih podataka o karakteristikama procesa	DA	DA	NE	Delimični podaci	Delimični podaci	Delimični podaci