

# Yakma-Piroliz Tesisi ve Madde Akışı Hesabı

Prof. Dr. Ertugrul ERDIN  
Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü

3160 BUCA- IZMIR TURKIYE  
0090.232. 4127120; Fax: 0090.232. 3887864; 0090.232. 4531143

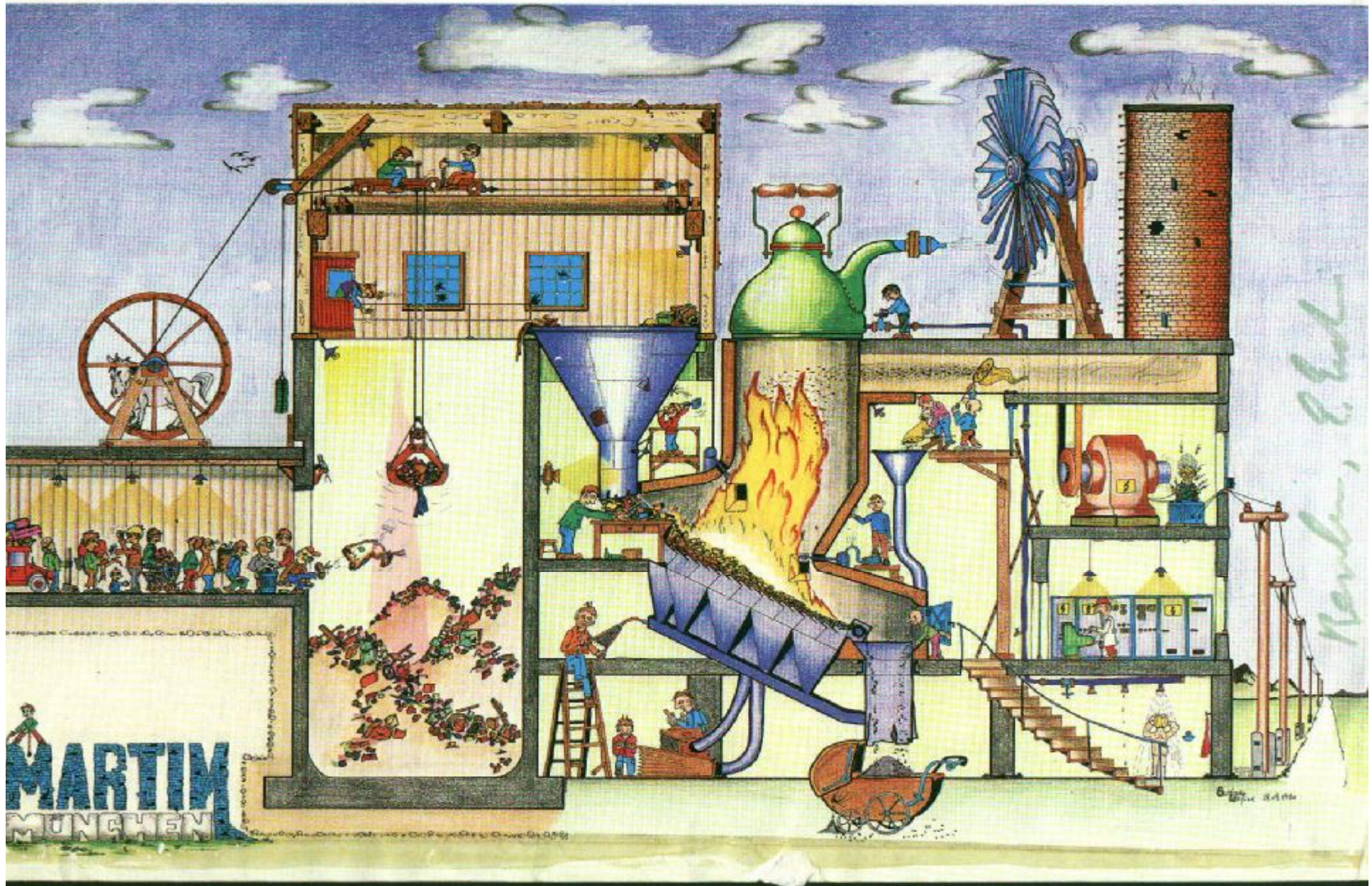
E-Mail: [eerdin@deu.edu.tr](mailto:eerdin@deu.edu.tr);  
[ertugrul.erdin@deu.edu.tr](mailto:ertugrul.erdin@deu.edu.tr); [eerdin@izmir.eng.deu.edu.tr](mailto:eerdin@izmir.eng.deu.edu.tr)  
; [erdin@itu104.ut.tu-berlin.de](mailto:erdin@itu104.ut.tu-berlin.de)

WEB : <http://web.deu.edu.tr/erdin>

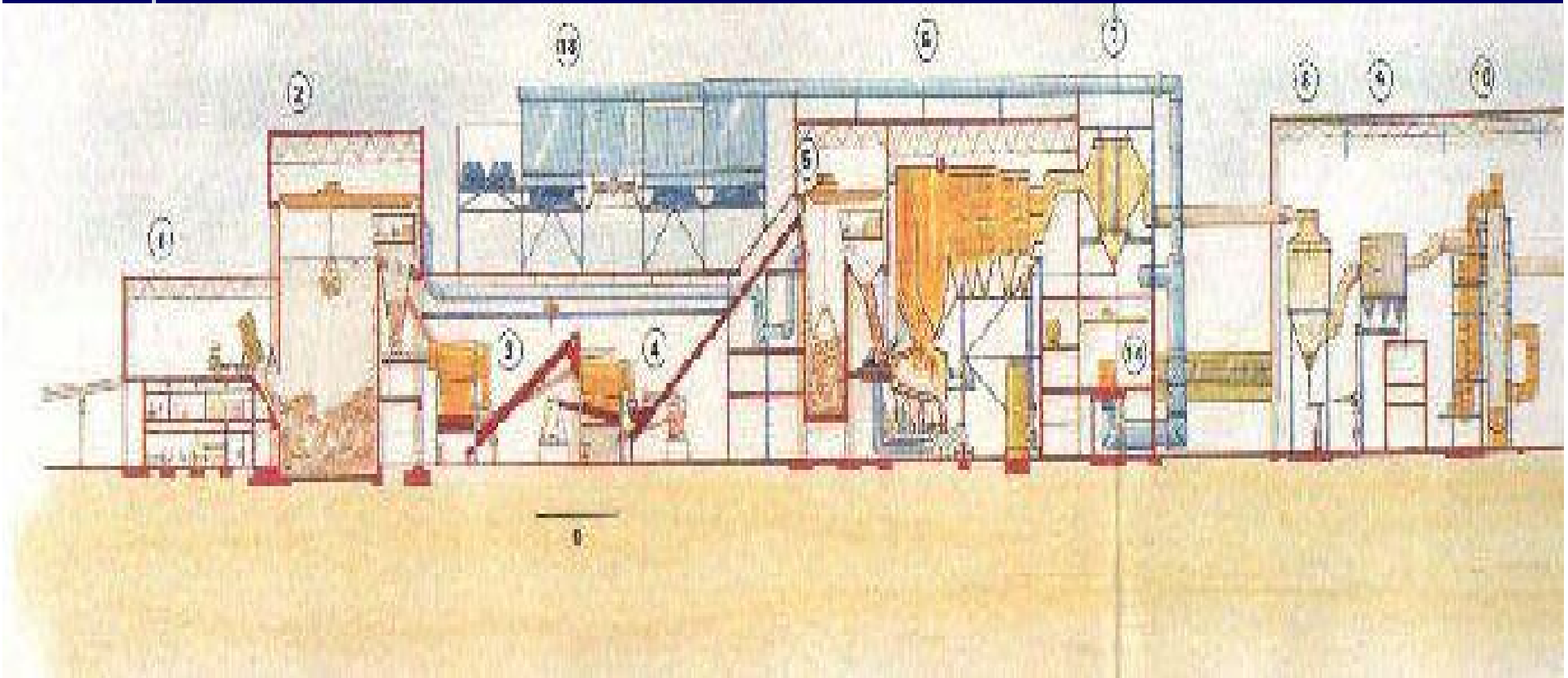
# Viyana öp Yakma Tesisi



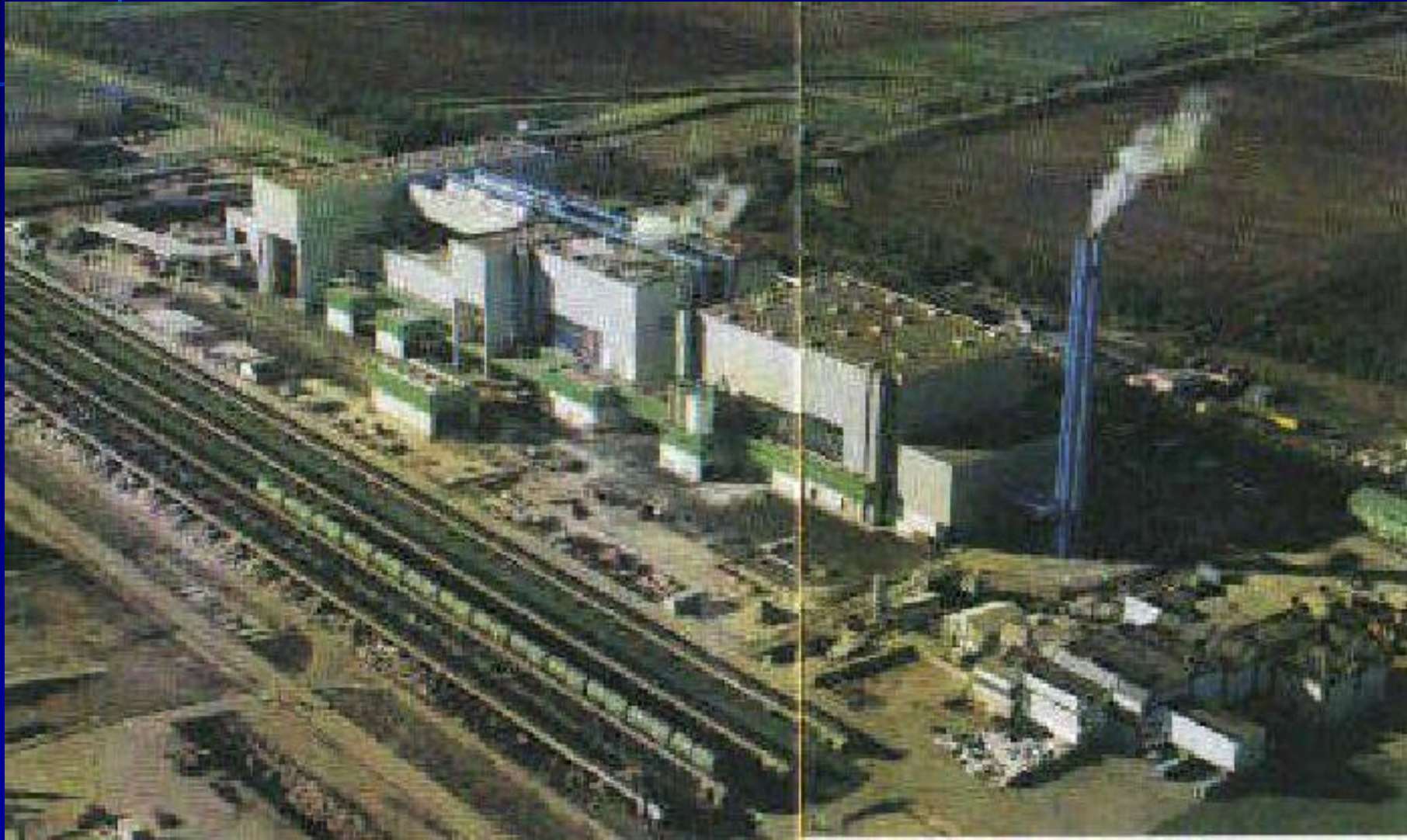
# Martin KA –Yakma Sistemi



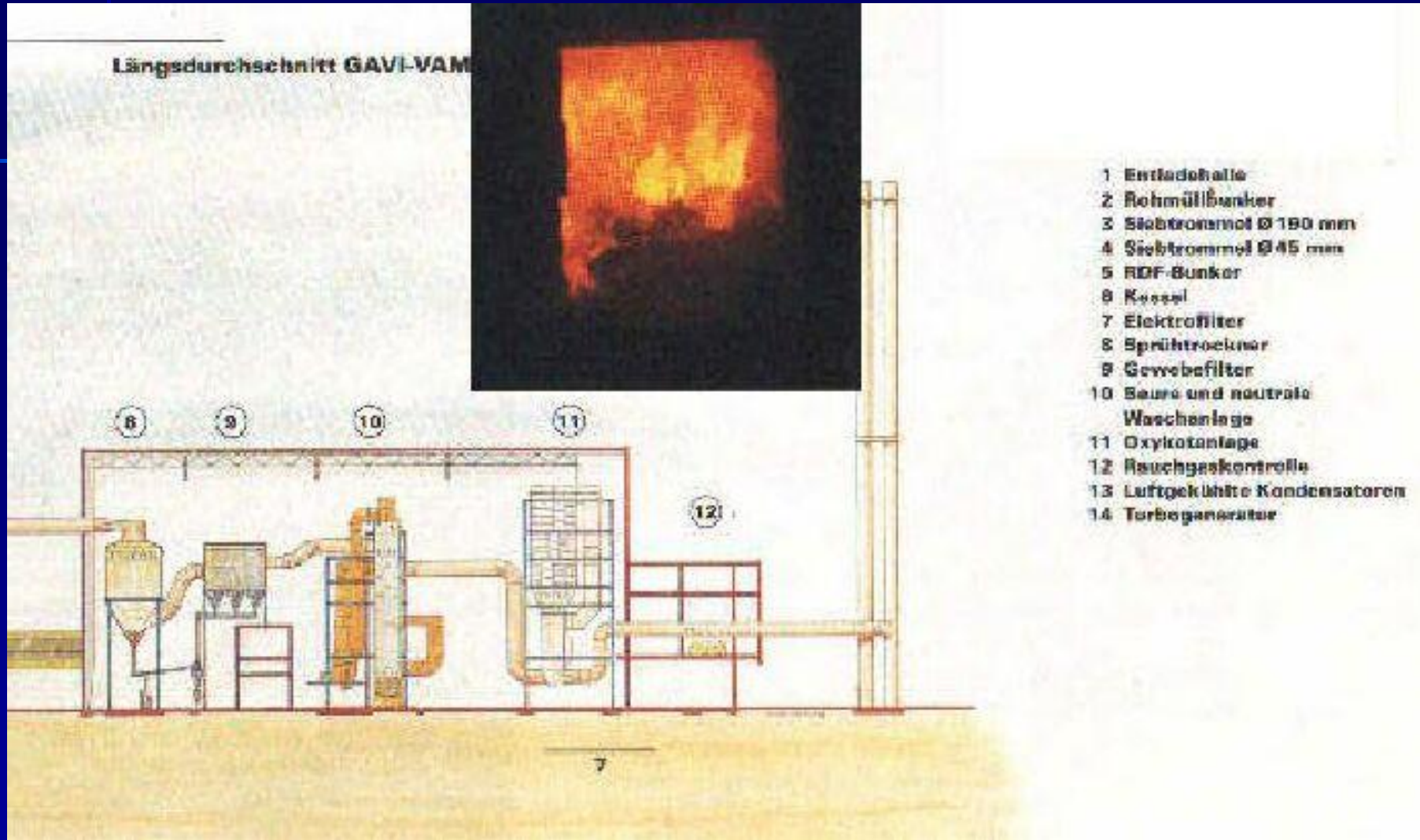
# Hollanda daki Yakma Tesisi İşlem Akışı



# Hollanda Wjister Yakma Tesisleri



## Hollanda daki Yakma Tesisinin Hava Kirliliği Kontrol Üniteleri



# MADDE AKIŞ ANALİZİ VE TERMİK İŞLEMLER

- n Madde-Akış Analizi İçin Çok Önemli Noktalar:
- n 1) Sorunun ve hedefin analizi
- n 2) Sistemin tanımı, sınırları, prosesler ve aralarındaki bağlantılar
- n 3) Maddenin korunumu prensibi ışığında bilgilerin değerlendirilmesi ve geçici bütçenin (bilançonun) yapılması
- n 4) Kabul edilebilir ölçüm programının uygulanması, duyarlılığın analizi
- n 5) Örnekler alarak ve analizleyerek madde oluşumunun saptanması ve ölçülmesi (literatür tarama)
- n 6) Verilerin ve sonuçların grafiklerle ifade edilmesi, madde akış modellerini ve madde veri sisteminin kullanılması, grafik yardımları ile ifade edilmesi, kolay anlaşılabilir hale dönüştürülmesi

# SORULAR

- n -Termik işlemler nedir?
- n -Neden termik işlemler kullanılır?
- n -Yasalar ve yönetmeliklerin zorlayıcılığı
- n -Ulusal ve AB yasa ve yönetmeliklerinin temel felsefesi
- n -Parametreler ve sınır değerler
- n ısı değer  $\geq 11000$  kJ/kg KA
- n TOC  $\leq 3\%$
- n % yanma kaybı  $\leq 5\%$
- n -Hangi atıklar yakılabilir?
- n Destek yakıt, katkı yakıt ne demektir, neden önemlidir?
- n -AB ilkelerindeki durum nedir?
- n -"En iyi mevcut teknoloji" ve " Kabul edilebilir teknoloji" ne demektir ve neden önemlidir?
- n "Cleaner Production" KA teknolojisinde önemli midir? Neden?
- n Yakma tesisi kapasiteleri hangi aralıklarda değişir? ( Uygulamadan örnekler?)
- n -Bir yakma tesisinde hangi üniteler ve ekipmanlar bulunur?
- n Ekipmanların özellikleri ne olmalıdır?



# TERMİK İŞLEMLER

n	-Kati atık yakılmasında geriye kalan kati kalıntılar?	
n	<u>Kalıntılar</u>	<u>kg/ton kati</u>
n	<u>atık(KM)</u>	
n	Curuf (ızgara, kazan külü...)	250-350
n	Gaz arıtımında oluşanlar:	
n	Filtre tozları	20-40
n	Yaş sorpsiyon	8-15
n	Kısmi sorpsiyon	15-35
n	<u>Kuru sorpsiyon</u>	<u>25-45</u>
n		350-450 kg
n	KM	
n	% 55-65 YK=OM	
n	TERMİK İŞLEMLER	

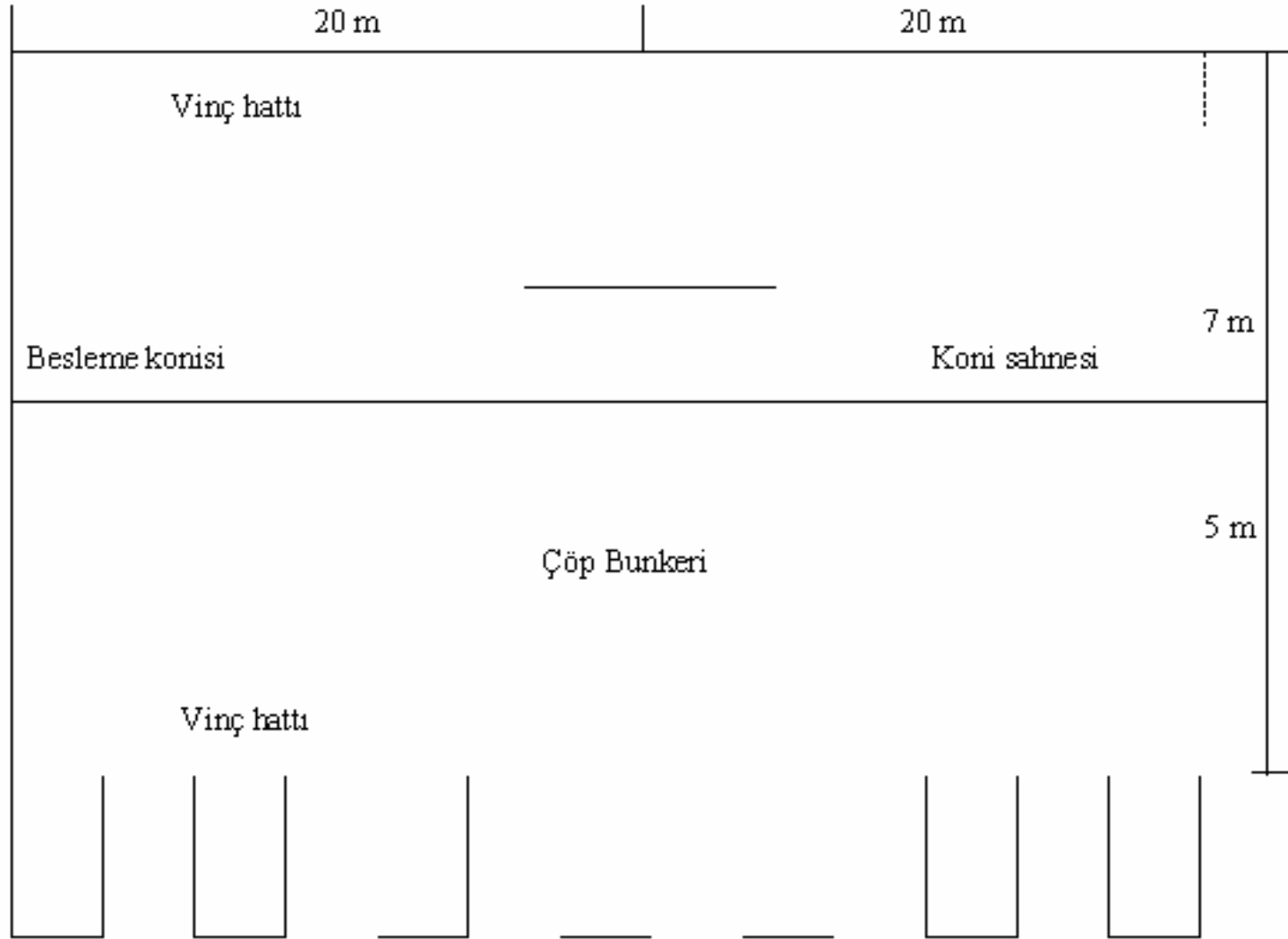
# TERMİK İŞLEMLER

- n Bunkere haftada gelen KA miktarının hesaplanması
- n -Bunkerler ve boyutları?
- n -Haftalık KA miktarı belirleme
- n fırın sayısı \* h/gün \* gün/hafta \* besleme/hafta
- n a)fırın sayısı 3 ise:
- n  $3 * 24 \text{h/gün} * 7 \text{gün/hafta} * 10 \text{ton/saat} = 5040 \text{ ton/hafta}$
- n b)fırın sayısı 4 ise:
- n  $4 * 24 \text{h/gün} * 7 \text{gün/hafta} * 10 \text{ton/saat} = 6720 \text{ ton/hafta}$
- n -Eğer katı atıklar haftada 5 günde taşınıyorsa, günde gelen KA miktarı nedir?
- n a)  $(5040 \text{ ton/hafta}) / 5 \text{ gün} = 1008 \text{ ton/gün}$
- n b)  $(6720 \text{ ton/hafta}) / 5 \text{ gün} = 1344 \text{ ton/gün}$
- n hacimleri saptanır.
- n -Saatte gelen katı atık miktarı nedir?
- n -KA saat 0900-1600 arası ÇYT geliyorsa:
- n  $1008 / (7 \text{ h/gün}) = 144 \text{ ton/gün}$
- n  $1344 / (7 \text{ h/gün}) = 192 \text{ ton/gün}$
- n
- n

- n -Cuma günü saat 1600 dan Pazartesi saat 0900 a kadar hazır bulunması gereken çöp miktarı:
- n aradaki zaman = 65 saat
- n  $3 * 10 \text{ t/h} * 65 \text{ h} = 1950 \text{ ton}$
- n  $4 * 10 \text{ t/h} * 65 \text{ h} = 2600 \text{ ton}$
- n 65 saat \* % 10 yedek = 72 saat
- n  $3 * 10 \text{ t/h} * 72 = 2160 \text{ ton}$
- n  $4 * 10 \text{ t/h} * 72 = 2880 \text{ ton}$
- n -Bunkere dökülen katı atığın BHA=0,4 ton/m<sup>3</sup>
- n bu durumda b için:
- n  $V = 2880 \text{ t} * (1 / 0,4 \text{ t/m}^3) = 7200 \text{ m}^3$
- n BHA = 0,35 t/m<sup>3</sup> olsaydı:
- n  $V = 2880 \text{ t} * (1 / 0,35 \text{ t/m}^3) = 8230 \text{ m}^3$
- n -Gerekli alan boşaltma yeri sayısı:
- n  $E = 1/5 (PN * t) / (G * T * Z)$
- n  $1/5 PN = 5$  günde taşınan miktar
- n G = Araçtaki ort. çöp miktarı
- n T = Çöp aracı günlük tur sayısı
- n T = Çöp boşaltmak için geçen toplam zaman (dk)
- n Z = Minimum sefer süresi (dk)
- n 168 saatlik besleme için , 5 günlük bölümünün hali
- n -Maximum boşaltma süresi 5 dk dir.
- n 6 saat içinde 70-75 dk, çöp aracının çöp boşaltması için gerekli süredir.
- n -Az boşaltma hattı sıkışmaya neden olur. Trafik sıkışır.
- n -Fazla boşaltma hattı da atığın fazla yayılmasına, yığılmasına neden olur.

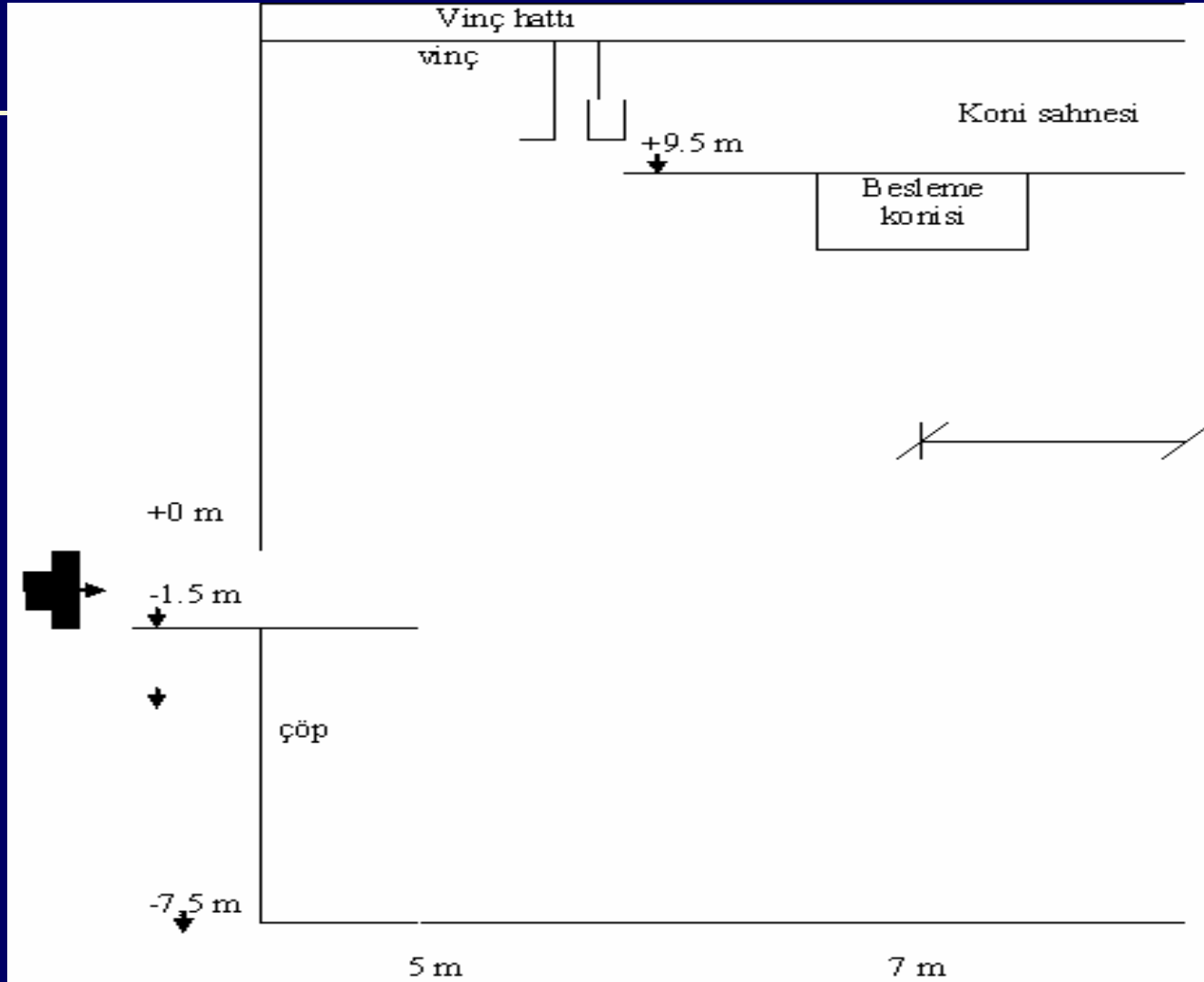
# YAKMA TESİSİ BUNKER GEOMETRİSİ Plan

Dökme açısı  $45^{\circ}$  veya  $80^{\circ}$  olacak şekilde olmalıdır



-PLAN-

# Kesit

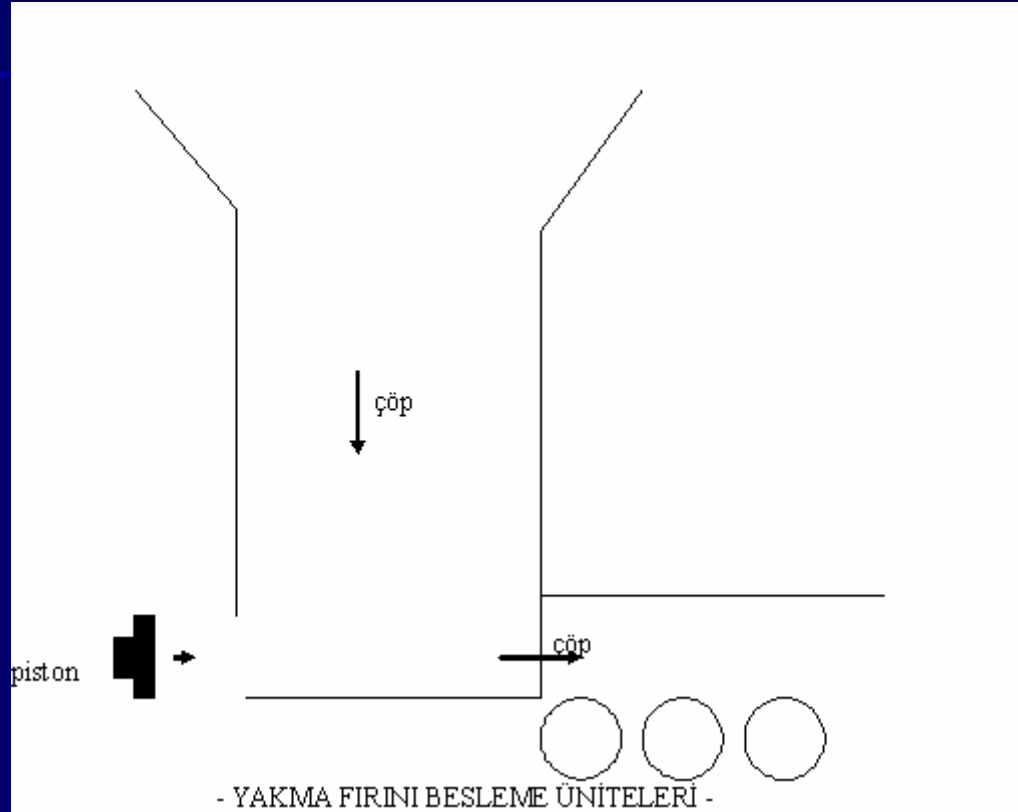


-KESİT-

# Bir vincin saatteki taşıma verimi:

- n  $MU = (m * VG / t)$  60 Mg/h
- n  $m =$  kepçe içindeki çöpün BHA = 0,4 t/m<sup>3</sup>
- n  $VG =$  kepçenin hacmi (m<sup>3</sup>)
- n  $t =$  Tpolam vinç eylem zamanı (dk)
- n  $t = 2 * (ts + th + tk + tkr)$
- n  $ts =$  kepçenin kapanma zamanı (0,15-0,25 dk)
- n  $th =$  kaldırma zamanı
- n  $tkr =$  vinç hareket süresi
- n Boylamasına vinç hızı = 45-80 m/dk
- n Kaldırma ve kapama hızı = 40-80 m/dk
- n Toplama ve kapatma hızı = 30-60 m/dk
- n
- n  $Zh =$  ortalama kaldırma yüksekliği (15 m)
- n  $Wh =$  kaldırma hızı (40-60 m/dk)
- n  $ZB =$  taşıma yolu
- n  $Wk =$  kapama + alma + taşıma hızı (40 m/dk)
- n  $ZL =$  ortalama vinç yolu (10 m)
- n  $Wkr =$  vinç hareket hızı (45-80 m/dk)
- n İtici pistonun hızı (0-60 m/dk)

# Yakma Fırını

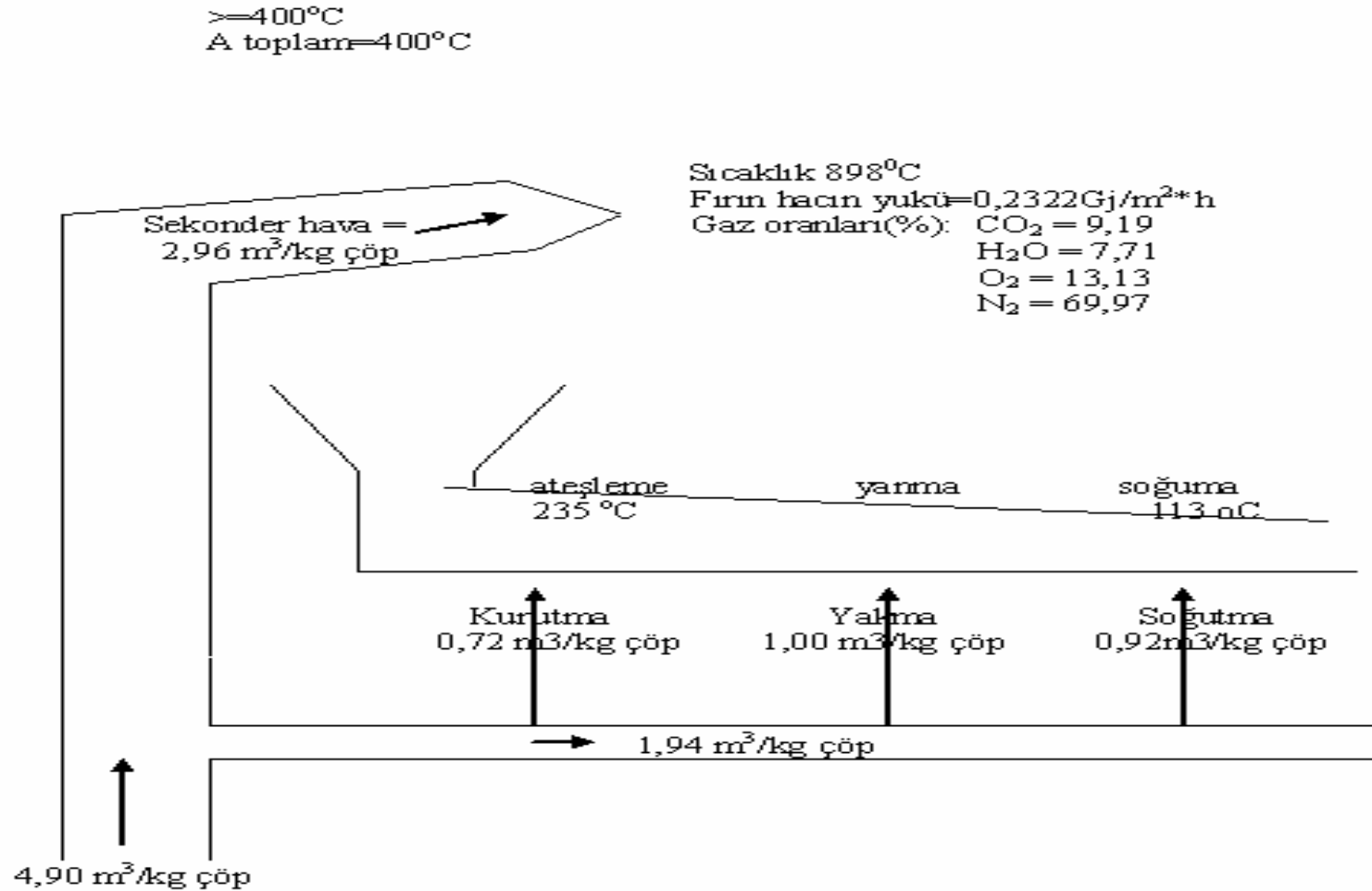




18 9 2002



# Firin Yanma Odası



-FIRIN YANMA ODASI-

## Yanmanın Aşamaları (Sıcaklık, olay, hava miktarı)

n	T oC	Olay	Hava miktarı(m <sup>3</sup> /kg
	çöp)		
n	20-100	Kurutma	0,72
n	100-250	Gazlaşma	
n	250-300	Ateşleme	
n	>500	Piroliz	
n	>800	Yanma	1,60
n	<600	Soğuma(tam yanma) +	0,22
n			1,94 m <sup>3</sup> /kg
	KA		

# Olaylar ve ürünler

n Gazlaşma-Piroliz-Oksidasyon gibi kimyasal olaylar gerçekleşmektedir.

n -Gazlaşmada kolay buharlaşan (uçucu) bileşikler açığa çıkmaz.

n Sıcaklık

n Su buharı reaksiyonu teşvik eder.

n Oksijen

n  $C + O_2 \rightarrow CO_2$  ;  $C + 2 H_2O(g) \rightarrow CO_2 + H_2$

n  $2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$

n  $S + O_2 \rightarrow SO_2$

# Yanma sırasındaki olaylar

n C + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + 393,77 joule

n 172,58 joule + CO<sub>2</sub> + C → 2 CO

n 2 C + O<sub>2</sub> → 2 CO + 221,91 joule

n 283,17 joule + CO<sub>2</sub> → CO + O<sub>2</sub>

VS...

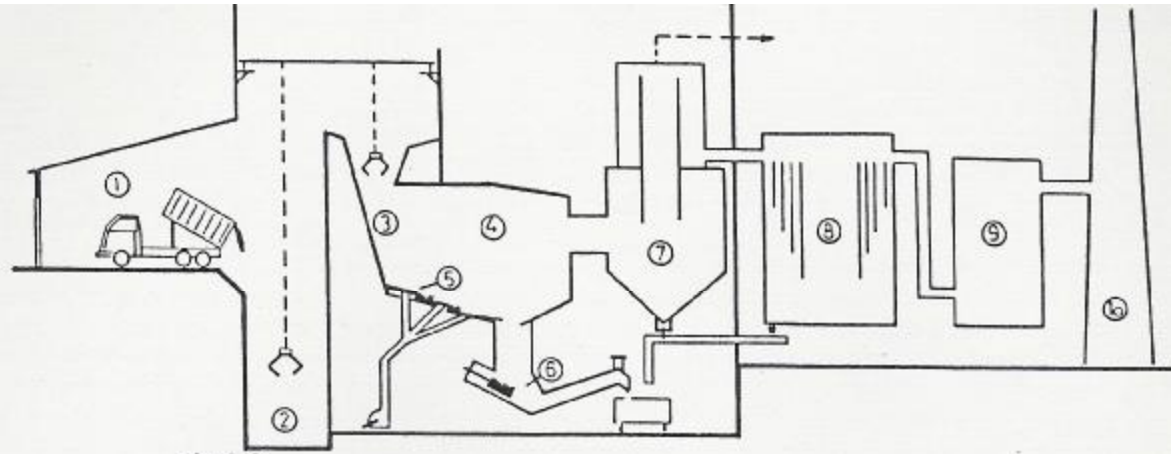
n

# Yanma odası – ızgara tipleri

- n İleri itmeli ızgara
- n Geri itmeli ızgara
- n İleri-geri itmeli ızgara
- n Silindirik ızgara

# Izgaralı yanma odalarında yanma odasının yapısı

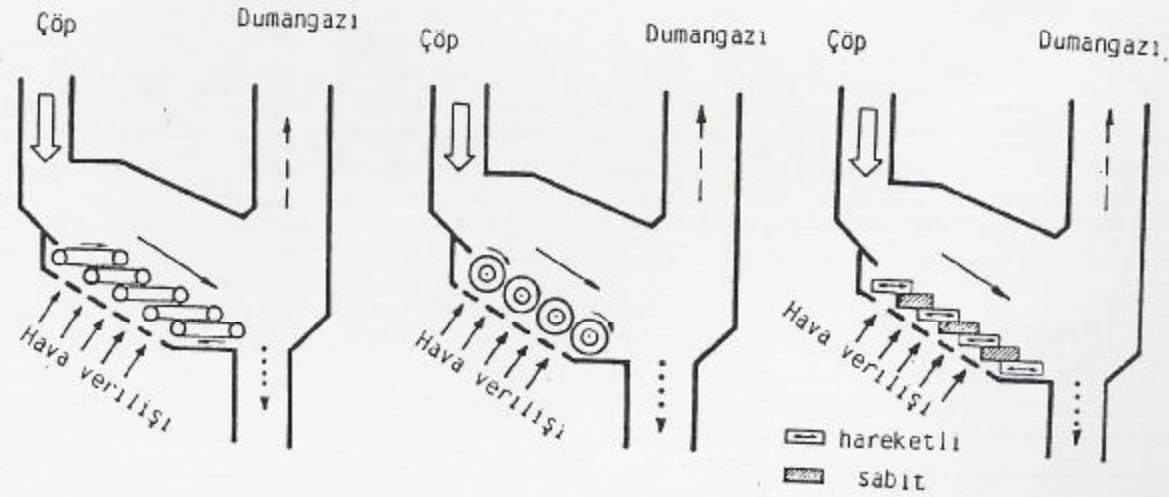
- n -aynı yönde
- n -karşı yönde
- n -ortaya doğru akışlı



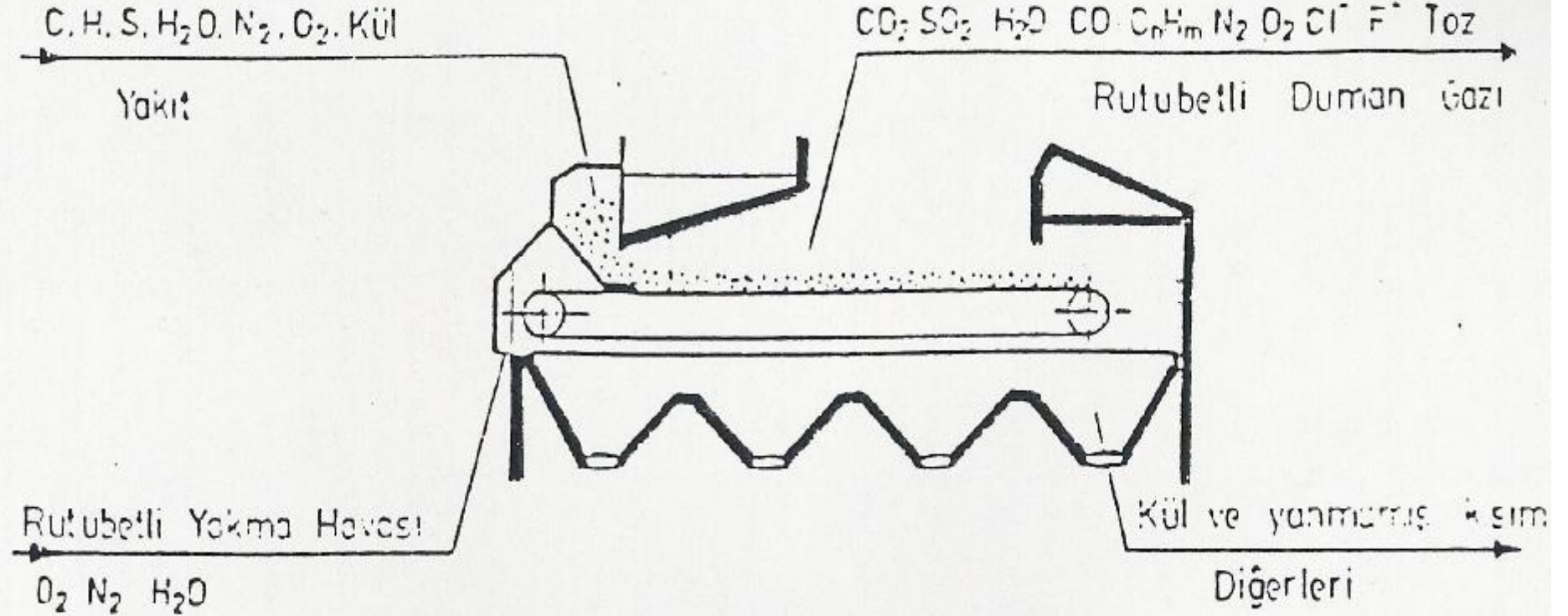
Ek-8.2

Şekil : Bir çöp yakma tesisinin üniteleri

- |                        |                            |                        |
|------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1 Çöp boşaltma haznesi | 4 Yakma odası              | 7 Buhar kazanı         |
| 2 Çöp bunkerı          | 5 Yakma ızgarası           | 8 Elektrofiltre        |
| 3 Çöp besleme konisi   | 6 Kül .curuf uzaklaştırıcı | 9 Dumangazı yıkayıcısı |
|                        |                            | 10 Baca                |



Şekil Ek:83 Öne itmeli ızgara . silindirik ızgara . hareketli ızgara



SEKİL *Ek-8.10*: YANMA ODASINDA MADDE DÖNÜŞÜMÜ



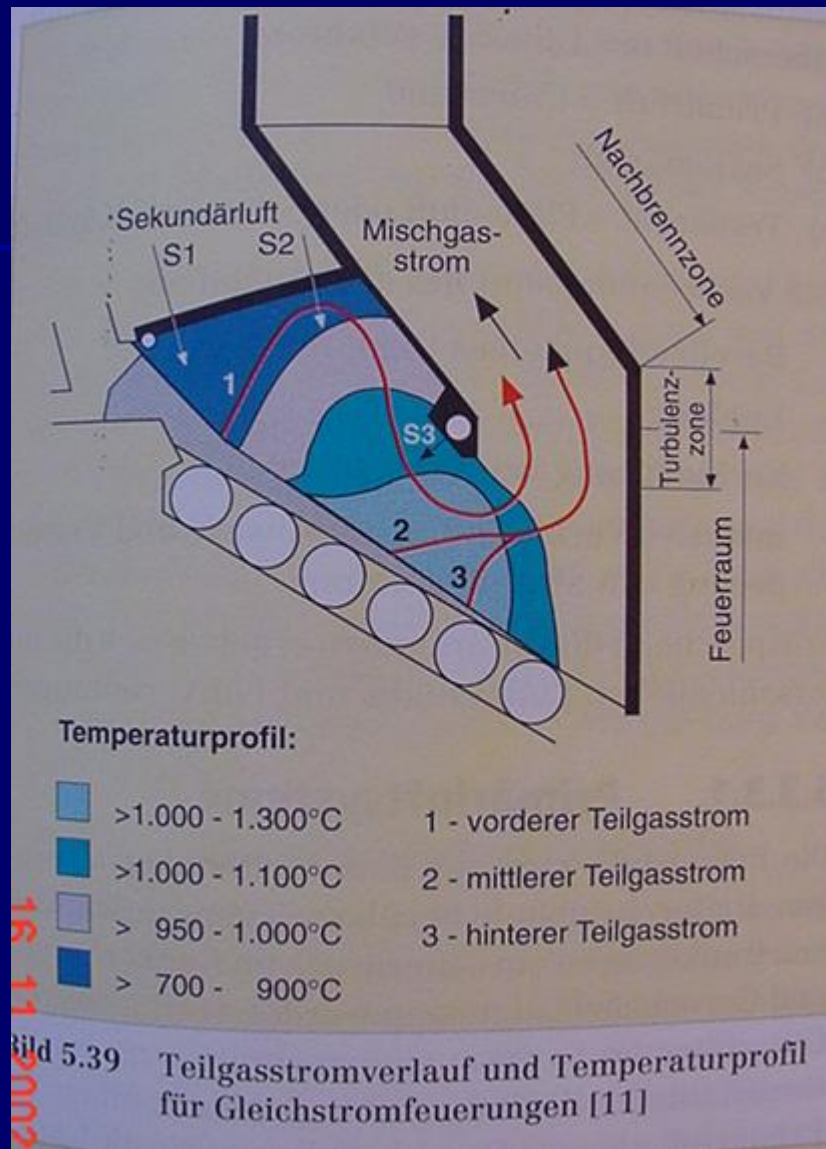


Bild 5.39 Teilgasstromverlauf und Temperaturprofil für Gleichstromfeuerungen [11]

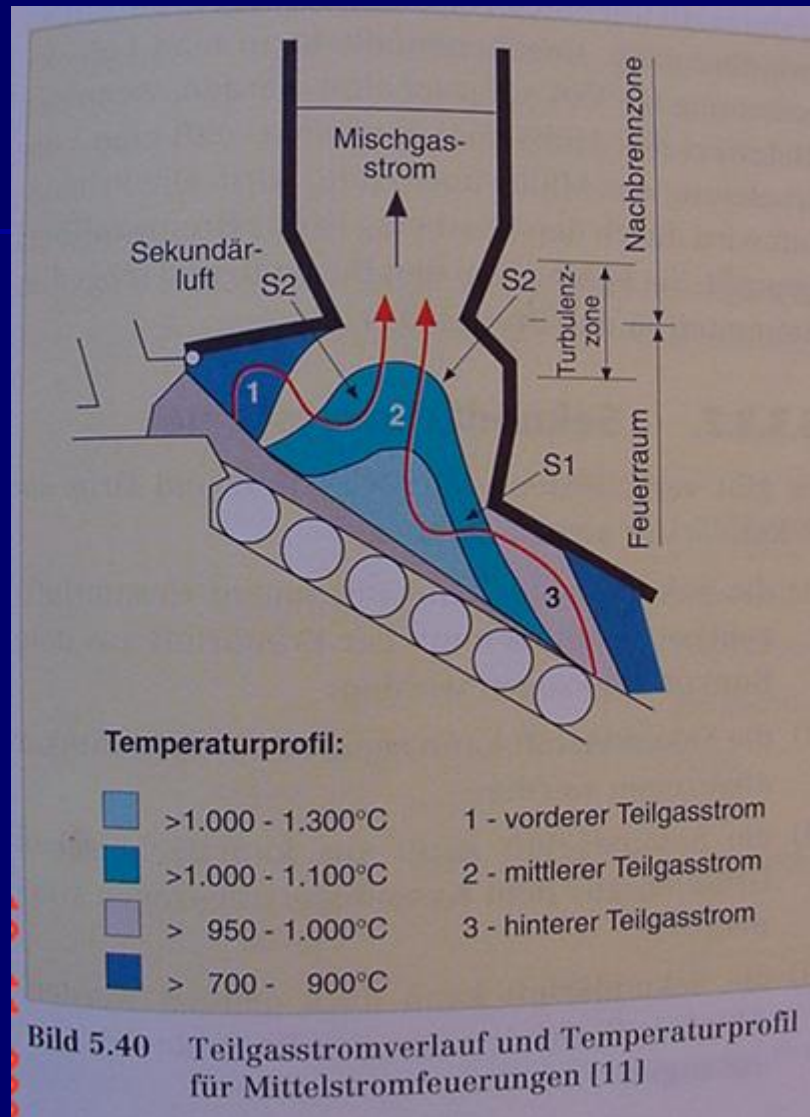
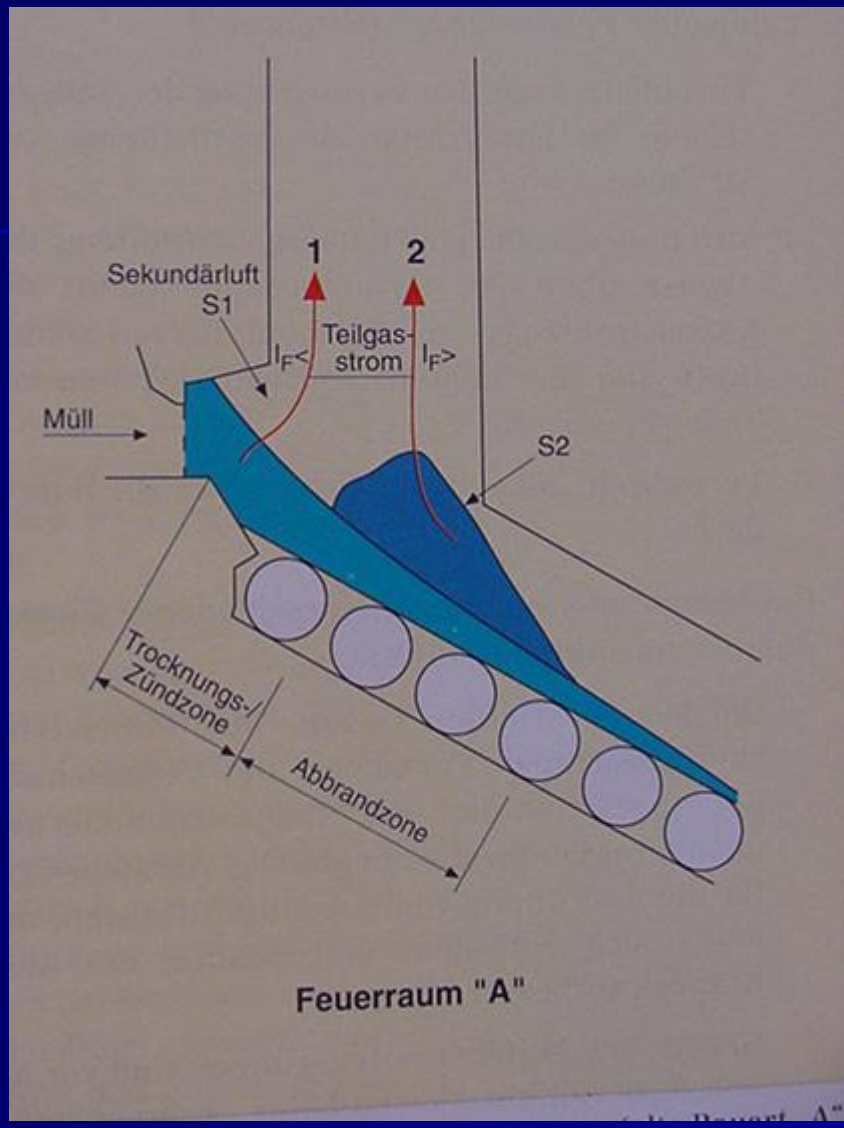


Bild 5.40 Teilgasstromverlauf und Temperaturprofil für Mittelstromfeuerungen [11]



Feuerraum "A"

© Dr. Beyerl "A"

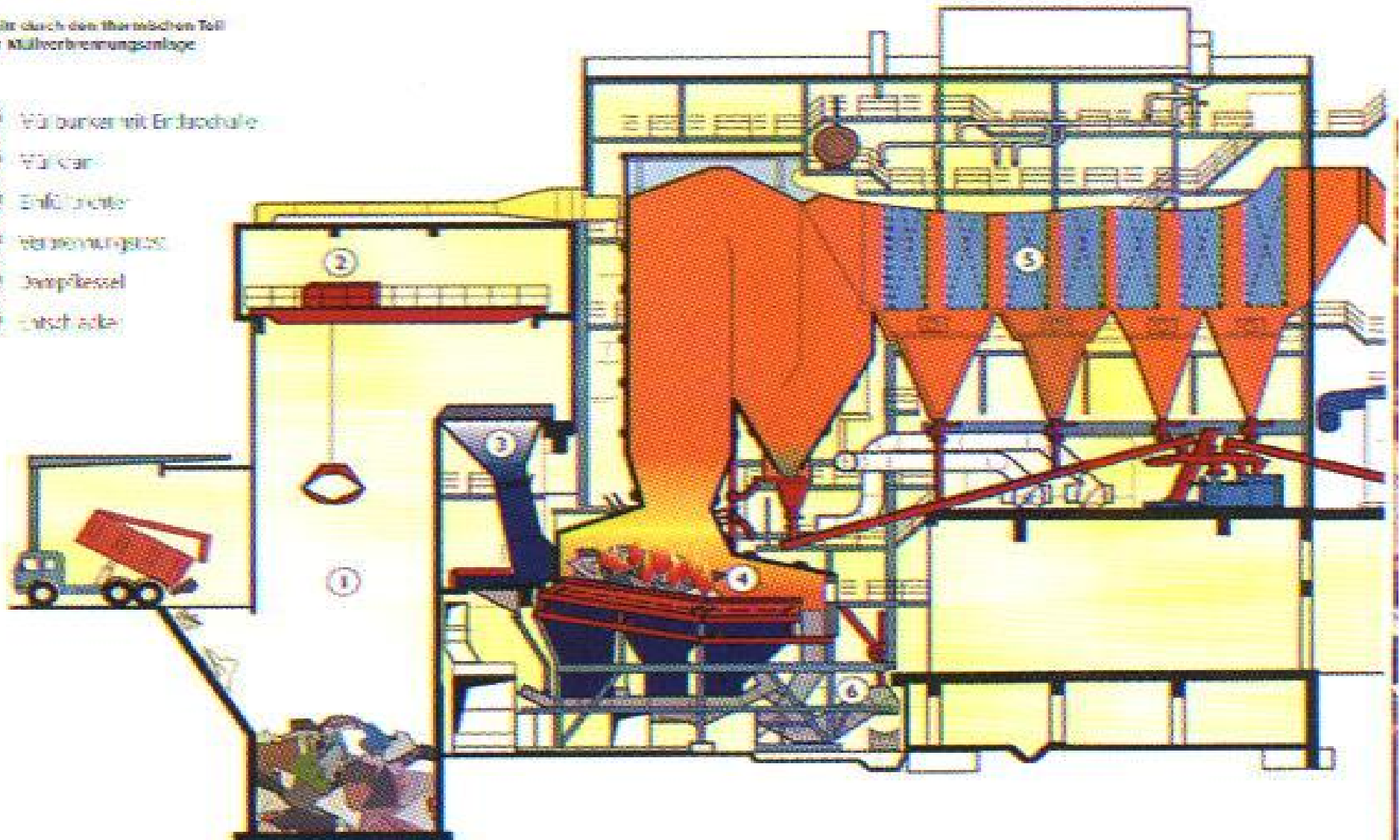


5.116 Mischbewegung auf dem Rost [41]

16 11 200

Schnitt durch den thermischen Teil  
einer Müllverbrennungsanlage

- ① Wärbunker mit Erdbachalle
- ② Wärcar
- ③ Erdbühnen
- ④ Verbrennungsofen
- ⑤ Dampfkessel
- ⑥ Rutschschleife



# YAKMA ÖRNEĞİ

- n Madde ve Enerji Bilançosu
- n -Yanma sırasında %0.2-0.7 arasında S, %0.2-0.4 Cl, %0.02-0.06 arasında da F açığa çıkar.
- n -Ortalama hurda metal miktarı da % 2.5-5.0 dir.

# KÜL

n Sulu cüruf :398kg/ton , Kuru cüruf :292kg/ton, Uçucu kül: 24.5kg/ton

n **1-Cüruf**

n \*Izgara cürufu ,

n \*Izgaradan düşenler

n \*Erimiş cüruf

n \*Sin terlenmiş cüruf

n **2 -Uçucu kül**

n \*Siklon ve elektrostatik filtrelerde toplanan kül

n \*Yakma alanlarına çöken tozlar

n \*v.s

n **3-Uçucu toz**

n \*Bacalardan çıkan duman gazında bulunan tozlar

## Yakma kalıntılarının içerikleri ve dağılımı

+Gaz ve sıvı ürünler

+Enerji

Yakma kalıntılarının ortalama bileşimi ise aşağıdaki gibidir:

<b>Kalıntı adı</b>	<b>Ağırlık %</b>
Kül+ cüruf	40
Uçucu kül	10
Metaller	15
Cam	22
Diğer inorganik maddeler	10
Organik maddeler (%YK)	3
Toplam	100



# Niceliksel ısı bilançosu:

- n \*Kaynaklar tarafından alına ısı miktarı  
 $QK = \%76.3$
- n \*Özgül duman gazı miktarı:  
 $0.333 \text{ cal/Nm}^3 (\%18.3)$
- n \*Kül ve cüruf : $\%2.5$
- n \*Uçucu kül : $\%1.6$
- n \*Uçucu toz: $\%1,3$

## Yakmanın niteliksel madde bilançosu

### Yakmanın niteliksel madde bilançosu:

B el s em e k on is in d e k i k at ı l a r ın b i l e Ő e n l e r i  
v e a ğ r ı l ık y ü z d e l e r i

Ç ı k a n d u m a n v e g a z l a r v e  
h a c i m y ü z d e l e r i

H <sub>2</sub> O	25-28	H <sub>2</sub> O	11-18
C	20-26	CO <sub>2</sub>	6.5-11.5
H	2.0-3.5		
N	0.15-0.4		
O	9-20	O <sub>2</sub>	7.5-13.5
Cl	0.2-0.4	Cl	400-1400(HCl mg/Nm <sup>3</sup> )
S	0.2-0.75	SO <sub>2</sub> (çok az kısmı SO <sub>3</sub> )	400-1000 mg/Nm <sup>3</sup>
Fe	10-7.5	Oksitlenmiş maddeler	
Ağır metaller	0.1-0.5	Pb,Al,Cu,Sn....	

# Oksitlerin yüzdeleri

Sözû edilen oksitler (ağırlık yüzdeleri)

$Fe_2O_3$	1.5-3.5	$Na_2O$	1.3-2.5
$Al_2O_3$	1.5-4.5	$SiO_2$	14.0-18.5
$CaO$	2.5-4.5	$P_2O_5$	0.2-0.6
$MgO$	0.5-1.5	diğerleri	-----
$K_2O$	0.4-0.8		

## Wuppertal Katı Atık Yakma Tesisinde Hava Kalitesi Kontrolü ve Teknik İşlemler

### *Duman Gaz Arıtımı*

5 adet fırın-kazan hatı vardır hemen her kazanın arkasında da bir elektro filtre bulunmaktadır.

Wuppertal çöp yakma tesisinin en pahalı olan kuyruk kısmının üniteleri:

Kazan-Elektro Filtresi :	5*96.000 m <sup>3</sup> /h
Kısmen Kuru duman gazı arıtılması: (Kireç kaymağı ile)	2*120.000 m <sup>3</sup> /h
Bunu takiben elektrofiltre vardır. Elektrofiltre	2*120.000 m <sup>3</sup> /h
Yaş atık gaz arıtılması: Yaş Gaz miktarı	2*100.000 m <sup>3</sup> /h
Duman gazının son arıtılması: HOK- Tesisi(Kok kömürü)	3*135.000 m <sup>3</sup> /h
SCR- Tesisi(Kataliztör)	3*135.000 m <sup>3</sup> /h

## Gazlar için işletme ve sınır değerleri

### ARITILMIŞ ÇIKAN GAZLARIN DEĞERLERİ (Eski ve yeni standartlar)

	<u>İşletme Değerleri</u> (mg/m <sup>3</sup> )	<u>Sınır Değerleri</u> (mg/m <sup>3</sup> )
CO .....	<30	50(100)
SO <sub>2</sub> .....	<5	50(100)
HCl .....	<4	10(60)
HF .....	<1	1 (4)
Toz .....	<4	10(30)
Nox .....	<70	100(200)
CmHn .....	<4	10(20)
NH <sub>3</sub> .....	<2	5(10)
Dioksin + Furanlar .....	<0.05	0.1 mg/m <sup>3</sup>

# Piroliz

- n Piroliz olayında termik olarak madde parçalanması :
- n 100°C-120 °C :Mutlak kuruma
- n 120°C-250 °C : Dezoksidasyon ,desülfürleşme ,bünye sularının ayrışması CO<sub>2</sub>
- n 250 °C: depolimerizasyon ,hidrojen ,sülfürün parçalanması başlangıcı
- n 340 °C :alifatik bileşiklerin bağlarının dağılması bozunması metan ve hidrokarbonların oluşması
- n 380 °C : karbonlaşma ve zenginleşme aşaması
- n 400 °C : C-O ve C-N bileşiklerin bağlarının parçalanması
- n 400°C-420°C :bütün maddelerin Piroliz yağına ve katrana dönüşmesi
- n 600°C : bütün maddelerin ısıya dayanımlı maddelere kırılması
- n >600°C Aromatların ve etilenlerin oluşması

# Piroliz nedir?

- n Piroliz çok farklı kaynaklardan gelen ve çok değişken miktarlarda , özelliklerde olan atıklar ve katı atıklar için uygulanabilecek, katı atık teknolojilerinden biridir. Yakma gibi çok yaygın bir uygulşama alanı yoktur, ama yanma olayı sırasında da kuruma aşamasından sonra artan sıcaklıklarla gaz , sıvı ve katı şeklinde yakıtlar olmakta ve her bir yanabilir ara ürün anında havalı (oksijenli ) ortamda termik olarak parçalanmaktadır.

# PROLİZ VE YAKMA KARŞILAŞTIRMASI

## Yanma

- n \*O<sub>2</sub> ili reaksiyonla termik parçalanma
- n \*Yanma sıcaklığı 800°C-1200°C
- n 1000°C

n

- n \*Kıta oksitlenmiş maddeler kalıntıları,

n (köl+cüruf )

- n \* Sıvı :Su hidrokarbonlar

n \*Gaz:CO<sub>2</sub>,SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> v.s

n \*H<sub>2</sub>,CO<sub>2</sub>,CO,CH<sub>4</sub>,Etan,Propan , H<sub>2</sub>NH<sub>3</sub>....

n \*Ekzotermik reaksiyon

n \*Çöpün bileşeninin değişimine değişimine çok az duyarlı

n duyarlı

## Piroliz

- \*O<sub>2</sub> siz reaksiyonla

\*Piroliz sıcaklığı 500°C-

## Ürünler

\* Kıta:indirgenmiş kıta

( kömür )

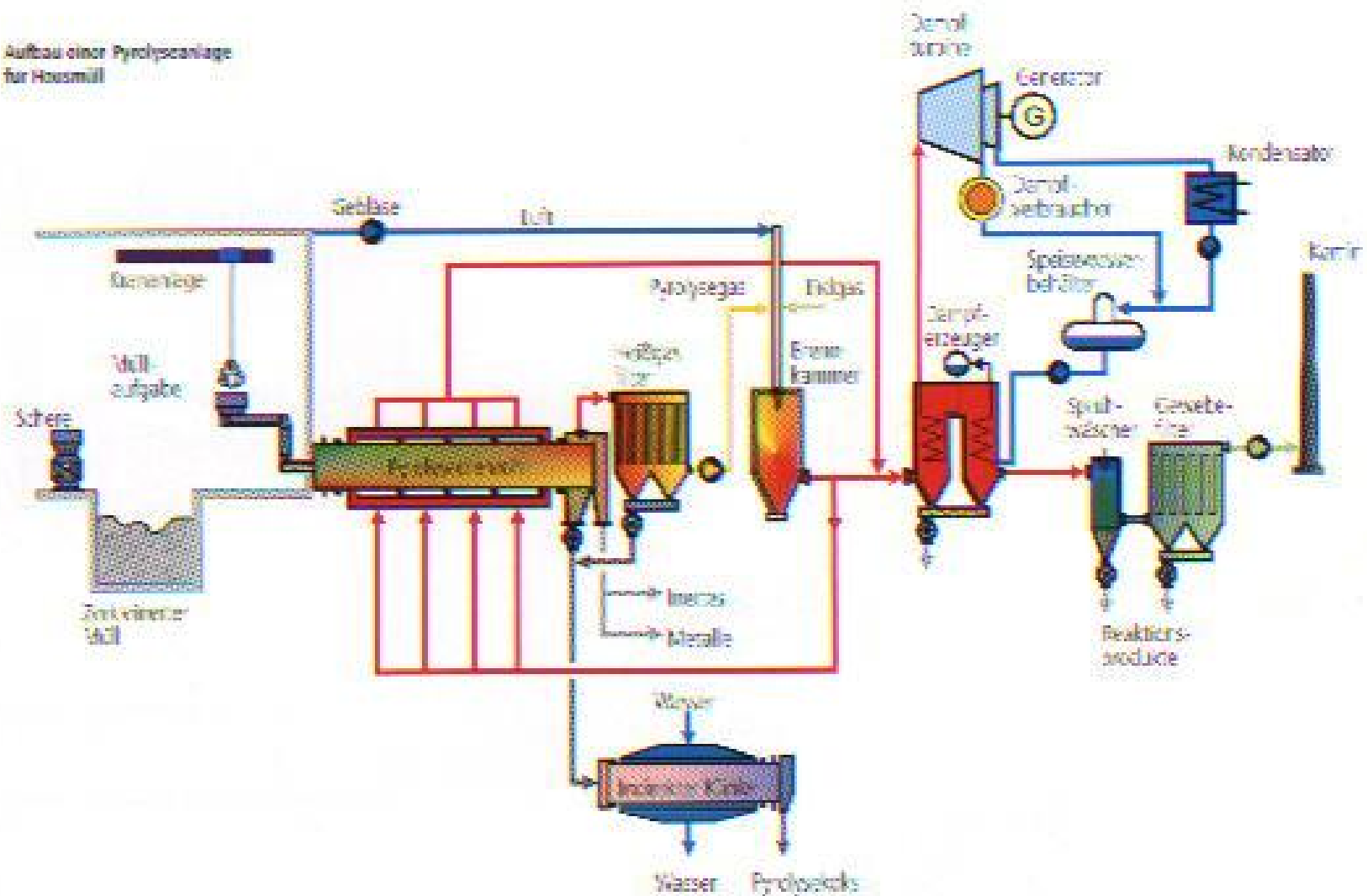
\*Sıvı:Su,sıvı

\*Endotermik reaksiyon

\*Çöpün bileşeninin



Aufbau einer Pyrolyseanlage für Hausmüll



## Piroliz örneğinde madde ve enerji bilançosu

**Piroliz örneği:** (Wiesbaden)

Madde ve Enerji Bilançosu: (1000kg KA)

(Girenler)

Madde	% Ağırlık
Su	28
Metaller	28
Mineraller	26.6
Organik maddeler	42.6
<b>Toplam</b>	<b>100</b>

Hu=1750 kcal/kg

Temiz gaz : 170 kg (Hu=3835kcal/kg)

Yakma havası : 1244 kg

İlave su : 78 kg

(Çıkanlar)

Maddeler	Kg
Su	358
Metaller	28
Piroliz kalıntıları	376(Hu=1430kcal/kg)
Katran	6
Temiz gaz	310(Hu=3835kcal/kg)
Atık ga	1414

## Yakma Tesislerinde Karşılaşacağınız En Önemli Arızalar Nelerdir?

- n Yakma tesislerindeki belli başlı yaygın uygulanan ızgara tipleri hangileridir?
- n **İzgara Tipleri:**
- n İleri hareketli ızgara
- n Silindirli ızgara
- n Geri hareketli ızgara
- n Gezici (Dolaşan) ızgara
- n Bir ton ortalama kentsel katı atıktan veya evsel çöplerden beklenen yararlar termik değerlendirme anında nelerdir ?
- n 1 Ton çöpten ne kadar buhar elde edersiniz? (2.5-3 Ton Buhar/Ton Çöp)
- n 1 ton çöptenne kadar elektrik enerjisi elde edersiniz? ( 500 kwh/Ton Çöp)

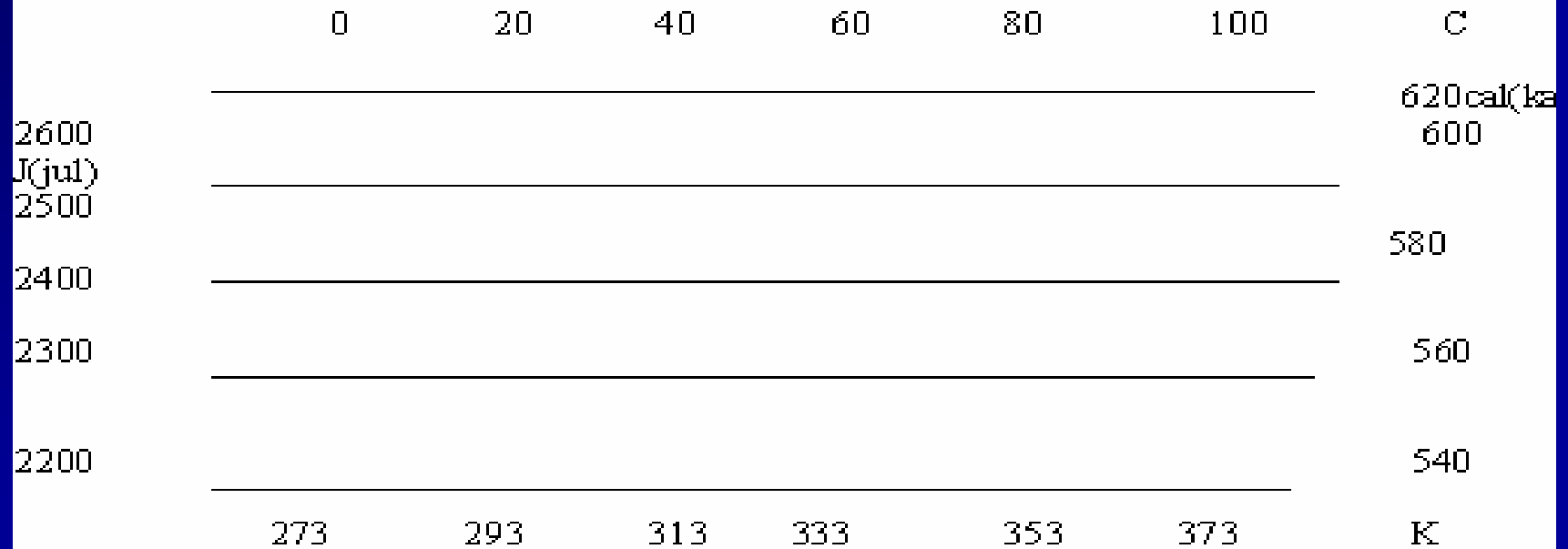
# Yakma Tesisinde Nerede ve Niçin Arızalar Olabilir?

- n **Arızalar ve Etkiler (İçsel etkiler ,dışsal etkenler):**
- n **Korrozyon,erozyon (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCl, HF oluşumu nedeniyle)**
- n **Curufların topaçlaşması**
- n **Izgara plakalarının tıkanması ,ızgara başlıkları körelmesi, arıza kazan kirlenmesi**
- n **Beslenme konisinde arıza**
- n **Curuf tıkanmasıyla arıza**
- n **Kazan borularında arıza**
- n **Isıtıcı petek yüzeylerinde arıza**
- n **Toz tutucularda arıza**
- n **Elektrofiltre de arıza**
- n **Basınç artırma tesislerinde arıza**
- n **Türbünlerde arıza**
- n **Voltaj düşmesi, ceryan kesilmesi**
- n **Çeşitli metal , çelik aksamlarda korozyon. veya arıza**
- n **Çöp Katı Atık Yakma Tesislerinin çevreye zarar vermemesi için önceden ÇED yapılmalı ve ona göre de tesis işletilmelidir.**

# Kurutma ve su içeriğini düşürme

## Suyu Fazla Olan Atıkların Kurutulması Veya Su İçeriğinin Düşürülmesi

Su molekülünü tutan diğer molekülden kurtarıp serbest hale getirmek için ısı enerjisi vermek gerekir. Bu ısı da çevresindeki ısıtıcıdan alınır, o da soğur. Sıvının sıcaklığı ne kadar düşükse buharlaştırmak için o kadar da çok enerjiye ihtiyaç var demektir.



Şekil : Suyun buharlaşma ısısı.

Isı iletimi için Fourier Denkleminden yararlanılmaktadır

n

$$q = -\lambda \cdot dt/ds \text{ (KJ/m}^2\text{.h)}$$

n

s kalındığındaki sınır tabakası için ise

$$q = \lambda /s (t_1 - t_0) = a(t_1 - t_0)$$

$t_0$  = Suyun yüzeyindeki sıcaklık (K olarak)

$t_1$  = Sınır tabakadaki hava sıcaklığı (K olarak)

$a$  = Isı geçiş sayısı (kj/m<sup>2</sup>.h.k)

$\lambda$  = Isı iletim sayısı (kj/m.h.K)

$s = M$  olarak sınır tabakası

## Madde taşınımı için ise Fick yasasından yararlanılmaktadır .

n Madde taşınımı için ise Fick yasasından yararlanılmaktadır.

n  $g = -D \cdot dc/ds$  (kg/m<sup>2</sup>.H)

n  $g = D/S \cdot (C_0 - C_1) = \beta \cdot (C_0 - C_1)$

n D=difüzyon sabiti (m<sup>2</sup>/h)

n C<sub>0</sub>=Yüzeydeki konsantrasyon (kg/m<sup>3</sup>)

n C<sub>1</sub>=Sınır tabakanın kıyısındaki konsantrasyon (kg/m<sup>3</sup>)

n β=Madde taşıma sabiti (m/4)

n Burada konsantrasyon (C) yerine kimi basınç da elde alınabilir :

n  $C = \frac{P}{R \cdot T}$

n C=

n  $R \cdot T$

n  $R \cdot T$

n Difüzyon akım şiddeti

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

n β

T =Sıcaklık (K)

P<sub>0</sub>=Yüzeydeki buhar kısım basıncı(kg/m<sup>2</sup>)

P<sub>e</sub>=Sınır tabakası yanındaki buhar basıncı (kg/m<sup>2</sup>)

R=Gaz sabiti (m kg/kg.K)

n  $g = \frac{\beta}{R \cdot T} (P_{0} - P_{e})$

n  $R \cdot T$

n Suyun entalpisi (ısı içeriği):

n  $J = C_m \cdot Dt$  (kj/kg)

n I=Isı içeriği (entalpi) kj/kg olarak

n C<sub>m</sub>=Ortalama özgül ısı;273 ile t K arasında;kj/kg.K

n T=Sıcaklık(K)

n Suyun entalpisi 273 K'de "o" ise ;tK ısıtılmış buharın ısı içeriği ( $\dot{I}D$ ):

n  $\dot{I}D$ =Fazla ısıtılmış buharın ısı içeriği (kj/kg)

n  $\dot{I}D$ =Fazla ısıtılmış buharın ısı içeriği (kj/kg.K)

n  $CW$ =Suyun ortalama özgül ısı (kj/kg.K)

n  $r$ = $t_s$ 'deki suyun buharlaşma ısı (kj/kg)

n  $CPD$ =Buharın ortalama özgül ısı (kj/kg.K)

n  $T$ =Fazla ısıtılmış buharın sıcaklığı(K)



Atık kurutma için yapılacak enerji bilançosunda  
aşağıdaki özgül ısı, erime ve buharlaşma ısıları esas  
alınmalıdır:

n	<u>Özgül ısı :</u>	
n	273-373 K su için 4,29 kj/kg..(K-273)	
n	Kuru katı madde ve kül kj/kg.(K-273)	1,26
n	273-773 K hava ve kuru duman 1,09 kj/kg.(K-273)	1,00-
n	%60 nemli hava ve duman 1,38 kj/kg (K-273)	
n	373-773 K arasındaki su buharı 2,09 kj/kg (K-273)	1,88-
n	Erime noktası (buzun suya 273 K'de)	331 kj/kg
n	Suyun 373 K'de buharlaşma ısıları kj/kg	2261
n	Hava ağırlığı 1,29 kg/Nm <sup>3</sup>	

# Bazı yakıtların ısı değerleri:

n	Fuel oil	Hu	41,900
n	kj/kg		
n	Taş kömürü	Hu	
	35,600 " "		
n	Linyit	Hu	
	27,200 kj/kg		
n	Biyogaz	Hu	
	23,500 kj/Nm <sup>3</sup>		
n	Rafineri gazı	Hu	
	23,500 " "		
n	Şehir gazı(hava gazı)	Hu	
	18,400 " "		

n Hu değerleri doğrudan ölçülemez;Ho tayin edildikten sonra hesaplanır.

n  $Hu=Ho-2450(W+gh)$  (kj/kg)

n Hu=Alt ısı değeri

n Ho=Üst ısı değeri

n W=Yakıtın ağırlık yüzdesi olarak su içeriği

n 2450=293 K'deki suyun buharlaşma ısısı

n h=Yakıtın ağırlık olarak hidrojen miktarı

# Madde ve enerji bilançosu

## Dumanlı Kurutucu (Atık gazla) için madde ve enerji bilançosu:

Kurutucuya giren ve çıkan maddelerin ağırlıkları karşılaştırılır:

$$\sum G_e = \sum G_a$$

$G_e$  = Giren maddenin ağırlığı

$G_a$  = Çıkan maddenin ağırlığı

Enerji bilançosu ısı yasasının (Termodinamiğin) 1. maddesine göre elde edilir:

$$\sum Q + \sum L = \sum E_a - \sum E_e + \sum \Delta E$$

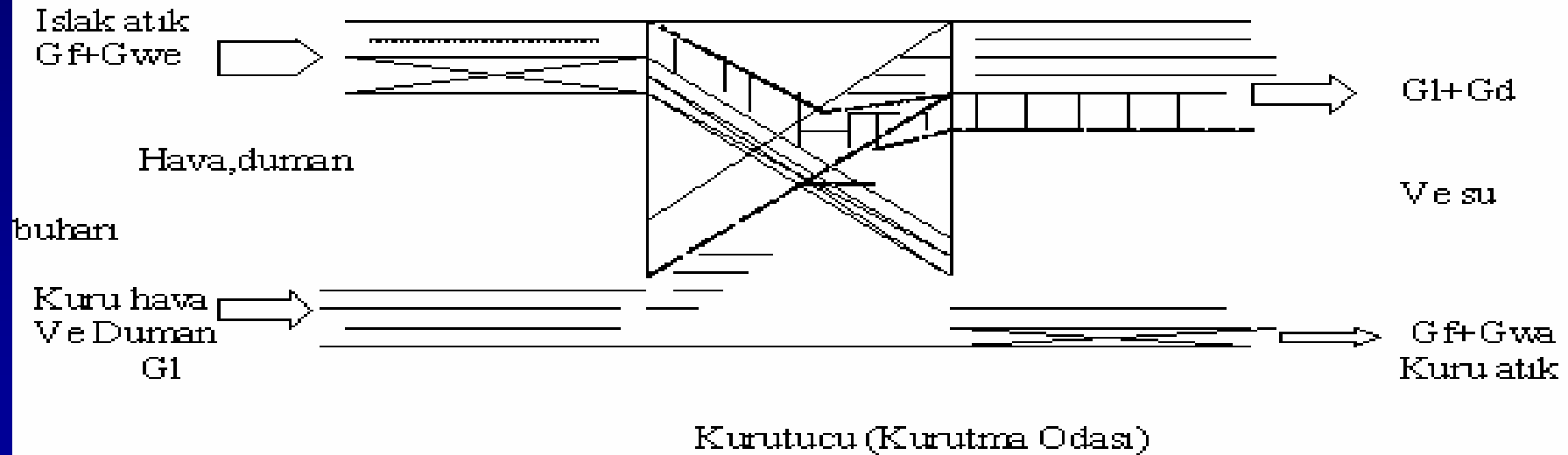
$Q$  = Değiştirilen ısı miktarı

$L$  = Değiştirilen iş verimi

$E_e$  = Giren maddenin enerjisi

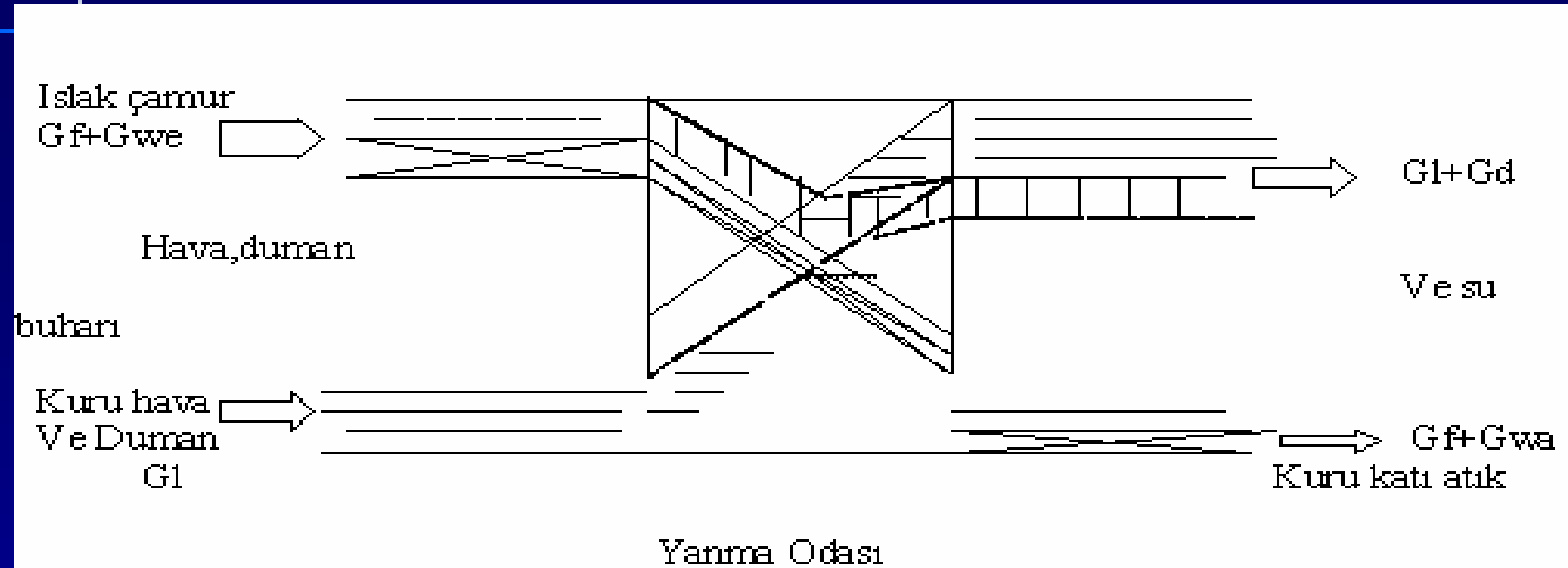
$E_a$  = Çıkan maddenin enerjisi

$\Delta E$  = Enerji değişimi



Şekil : Atık kurutucudaki madde bilançosu.

# Yakmada madde bilançosu



Şekil : Atık yakmadaki madde bilançosu.

## Örnek çözüm:

- n Kurutma ünitesine %70 su içeriği olan katı atık verilmektedir. İstenen rutubet yüzdesi ise %30 dur. Tesise saatte 1000 kg katı atık sürekli olarak verilmektedir. Aşağıdaki bilgiler ve veriler ışığında 1 m<sup>3</sup> suyun buharlaştırılması için gereksinim duyulan enerji miktarını fuel oil ve kWh üzerinden bulunuz.
- n  $Q_{\dot{c}} = 1000 \text{ kg/h}$
- n %SM<sub>b</sub> = 70
- n %SM<sub>s</sub> = 30 (?)
- n Sıcak gaz ve hava karışımı kurutucudaki sıcaklık 873 K olacak şekilde yapılmaktadır. Fuel oil kullanılacak yakma havasını rutubeti ihmal edilecek

# Verilenler:

n	Çamur pastasının SM	%70
n	Kuru çamurun SM	%30
n	Çamur pastası sıcaklığı	293 K
n	Hava sıcaklığı	293 K
n	Sıcak gaz + hava karışımı girişte	873 K
n	" " " " çıkışta	473 K
n	Fuel oil'in ısı değeri	41,900 kJ/kg
n	Yanma kaybı	%10

# Sorular:

n Sorular:

n a) Buharı.  $m^3$  su/h

n b) Net ısı ihtiyacı

n c) Sıcak gaz+hava karışımı miktarı

n d) Atık gaz+hava karışımındaki su buharı miktarı

n f) Gereklili olan fuel oil miktarı

n (birim zamanda ve birim kütle için?)

n Cevaplar :  
n a)Çamur kurutmadan önce 300 kg KM Çamur kuruttuktan sonra 300 kg KM  
n %70 SM old.göre + 700 kg SM + 130 kg SM  
n 1000 kg/h çamur 430 kg/h

(Yararlanma : %SM hesabı eşitliğinden giderek bulunuz?)

$$\frac{b-a}{b} = \%SM$$

$$b$$

$$b=1000$$

$$\frac{b-300}{b} = 70$$

$$b$$

$$\frac{1000-300}{1000} = \frac{700}{1000} = 0,70$$

$$\frac{1000}{b}$$

$$\frac{b-300}{b} = 0,30$$

$$b$$

$$b = \frac{300}{0,7} = 430$$

$$0,7$$

$$b = 430 \text{ kg}$$

$$b = KM + SM(\%30)$$

$$\%30 \text{ SM} = b - KM$$

$$SM = 130 \text{ kg}$$

$$\text{Saatte buharlaşan su miktarı : } 1000 - 430 = 570 \text{ kg/h}$$

**b) Net ısı ihtiyacını bulmak için**

$W = p \cdot C_w \cdot \Delta t$  (kj/h) denkleminde yararlanmak mümkündür.

$C_w =$  Ortalama özgül ısı (kj/kg.(K-273))

$P =$  kg/h olarak miktar

$\Delta t =$  Sıcaklık farkı K

$W =$  Isı ihtiyacı kj/h

$W_1 =$  Suyun 373 K'e ısıtılması için ( $C_w = 4,19$ )

$$W_1 = 700 * 4,19 * (373 - 293) = 234.640 \text{ kj/h}$$

$W_2 =$  Katı maddenin 373 K'e ısıtılması için ( $C_w = 1,26$ )

$$W_2 = 300 * 1,26 * (373 - 293) = 30.240 \text{ kj/h}$$

$W_3 =$  373 K'de suyun buharlaştırılması için (Buharlaştırma ısısı ..2261 kj/kg)

$$W_3 = 570 * 2261 = 128879 \text{ kj/h}$$

$W_4 =$  Su buharının atıkgaz sıcaklığına ısıtılması 473 K ( $C_w = 2,0$ )

$$W_4 = 570 * 2,0 * (473 - 273) = 114000 \text{ kj/h}$$

$$\text{Ara toplamı} = 1.667.650 \text{ kj/h}$$

Ara toplamın %10 nu da yansıma kaybı kabul edilmişse:

$$\%10 \cdot 1.667.650 = \underline{166765 \text{ kj/h}}$$



n Net enerji ihtiyacı (1 kg Buharlaşana su için):

n  $\dot{I}_{net} = 1.834.415/570 = 3.218$  kJ/kg Buharlaşan su

n c) Sıcak gaz-hava karışımı miktarı ( $C_w = 1.09$ )

n  $H_{gerek} = \frac{1.834.415}{1.09} = 1.682.950$  kJ/h (saate gerek  
duyulan hava ağırlık olarak)

n  $1.09 * (873 - 473)$

n  $H = 1.682.950 / 517 = 3.255$  Nm<sup>3</sup>/h

n Havanın ağırlığı =  $1,29 = 3261$  kg/Nm<sup>3</sup>

n d) Atık gaz-hava karışımındaki su buharı miktarı

n  $D = 570 / 3261 = 0,175$  kg/Nm<sup>3</sup>

n e) Brüt ısı ihtiyacı ( $C_w = 1.09$ ).

n  $Brüt = 1.682.950 * 1,09 * (873 - 293) = 2.659.665$  kJ/h

n  $Brüt = 2.659.665 / 570 = 4,666$  kJ/kg buharlaşan su

n f) Yakıt miktarı

n Gerekli =  $2,659,665/41,900=63.5$  kg/h

n Gerekli =  $63,5 /570 =0,11$  kg Fuel oil/kg buharlaşan su

n **Katı Atığın Yakılması; Enerji ve Madde Bilançosu**

n Katı atık veya çamurun içerdiği kuru maddenin enerji içeriğinden çamur suyunun buharlaştırılması için enerjiyi karşılamak amacı ile kullanmak yakmanın amaçlarından birisidir. Katı atığın ısı değeri içindeki yanabilir madde miktarına bağlıdır. Bunu da basitçe (Yanma Kaybı %YK), kül miktarı üzerinden bulmak mümkündür. Taze çamurun kuru maddesinin ısı değeri çürük çamurunkinden daha fazladır yani stabilize olmamış katı atığın ısı değeri daha yüksektir (Niçin ?).

n Tanner üçgeninde de katı atığın veya atığın %SM , %OM, ve %IOM değerleri ile bir değerlendirilme yapılırsa, üçgende düşüğü bölge bulunur ve hesap yolu ile getirisi veya götürüsü hesaplanabilir.

n **Bir Örnek Çözüm:**

n Bir atık yakma ünitesine 1000 kg/h çürütülmüş çamur filtre pastası olarak gelmektedir. Yakıt olarak fuel oil kullanılacaktır. Soğutma havası yakma kazanına (fırınına) gönderilmektedir.

n **Verilenler:**

n Çamurun %SM	%70
n Çamurun katı maddesinin kül oranı	%50
n Çamurun K.M 'sinin ısı değeri	10,500 kJ/kg
n Fuel oil'in ısı değeri	41,900 kJ/kg
n Çamurun ve yakma havasının sıcaklığı	293 K
n Yanma bölgesindeki sıcaklık	1073 K
n Yanmanın ve buhar kazanı çıkış sıcaklığı	573 K
n Külün kazan çıkış sıcaklığı	523 K

n **Sorular:**

- n a) Saatte buharlaştırılan su miktarı
- n b) KM'den gelen ısı miktarı
- n c) Bütürüt ısı ihtiyacı
- n d) İlave yakıt ihtiyacı

n Yanıtlar:

n a) Buharlaşan su miktarı

$$n \quad 0,7 * 1000 = 700 \text{ kg/h}$$

n b) Çamur KM'den alınabilecek ısı miktarı

$$n \quad W_y = 0,3 * 1000 * 10,500 = 3,150,000 \text{ kJ/h}$$

n Suyun 373 Ke ısıtılabilmesi için

$$n \quad W_1 = 700 * 4,19 * (373 - 293) = 234640 \text{ kJ/h}$$

n 4,19 = Spesifik ısı

n 373 K de suyun buharlaştırılması için

$$n \quad W_2 = 700 * 2261 = 1,582700 \text{ kJ/h}$$

n Suyun çıkış gazı sıcaklığına ısıtılması için

$$n \quad W_3 = 700 * 2,09 * (573 - 373) = 292600 \text{ kJ/h}$$

n Külün tuttuğu ısı

$$n \quad W_4 = 300 * 0,5 * 1,76 * (523 - 293) = 43,470 \text{ kJ/h}$$

n Ara toplam  $2,153,410 \text{ kJ/h}$

n Yansımaya enerjisi (ısı) %5:  $\frac{107,670 \text{ kJ/h}}$

n Genel toplam  $2,261,080 \text{ kJ/h}$

n Yararlanılabilir hava –duman gazı karışımı

n H<sub>gerek</sub>  $l_i = \frac{2,261,080}{1,09 * (1073 - 573)} = 4149 \text{ kg/h}$

n  $1,09 * (1073 - 573)$

n Duman gazı-hava karışımının yakma sıcaklığına ısıtılması:

n  $W_{bürüt} = 4149 * 1,09 * (1073 - 573) = 3\,527\,480 \text{ kJ/h}$

n Çamur kuru maddesinin yakılmasından elde edilen ısı

n  $\frac{300 * 10,500}{1} = 3,150,500 \text{ kJ/h}$

n c) Gerekli ilave ısı :  $3,527,480 - 3,150,500 = 377,480 \text{ kJ/h}$

n d) Yakıt miktarı :  $377.480 : 41900 = 9,0 \text{ kg/h}$

n Aynı özellikte olan katı atığın entalpisinden yararlanma düşünüldüğünde ve enerji elde edilidğinde brüt ve net enerji ihtiyaçları karşılaştırıldığında, özellikle organik madde miktarı fazla olması ve de az su içermesi halinde enerji bilançosunun pozitif olacağı görülmektedir.

n Diğer bütün verileri aynı kabul edip sadece

n %KM 70

n %SM 30

n %Kül miktarı 30

n b.%KM 80

n %SM 20

n %Kül miktarı 5

n verileri değiştirilirse;

n Atık türlerine göre aynı problemi çözecek olursak enerji bilançosu ne olur bulunuz?

n Buradan da açıkca RDF , BRAM , YDKA üretmenin veya önce mekanik işlem yapmanın sonra yakma tesisine göndermenin yararı görülmektedir.

# Çöplerden yakıt üretme teknolojileri

## n Çöplerden Yakıt Üretme

n Ülkemizde çöpleri ve kentsel katı artıları büyük oranda yakmaya elverişli değildir. Bunun nedeni de yiyecek, sebze ve meyva artıklarının fazla olmasıdır. Hiç bir kentimizde çağdaş modern ilke ile yapılmış yakma tesisleri yoktur.

n 1970'li yıllarda İsviçre'nin von Roll Firması, Kutlutaş Firması ve Üniversite işbirliği ülkemizin büyük kentlerinin çöplerinin yakma tesisine uygun olup olmadığını saptamak amacı ile Avrupa Yatırım Bankasından araştırma kredisi alarak yürütmüşlerdir. Yılın çeşitli zamanlarında ve kentlerin farklı yaşam düzeylerini temsil eden semtlerinden alınan örnekler analizlenmiş ve genelde çöplerin yaş ve organik madde içeriği (yiyecek, sebze ve meyve vs.) yüksek olduğu saptanmıştır.

n Ülkemizde oluşan tarımsal, orman ve hayvancılık sahalarında oluşan hatta tarıma, ormana dayalı sanayi sahalarında oluşan katı artıklar ya yöredeki tesisler tarafından işlendikten sonra oryakit, taryakit veya çöpyakit haline getirilmekte ve sonra ya sobada yakılmakta ya da tarladan, bağ, bahçeden, ormandan toplanan biyomas artıklarının doğrudan yakılması veya kömürü ateşleyici olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde yakılacak odun sorunu biyomas durumu alternatif yakıt, özellikle artıklardan yakıt konusunda istatistiksel veriler toplamaya zorlanmıştır.

n

n Kentlerimizin çöp ve katı atıklarının bertarafı için uygulanan sistemlerde, başka türlü değerlendirilmemiş kalıntılardan çöp yakıt elde edip yakıt olarak yararlanmak ve kullanmak mümkündür. Ev tipi sobalarda yakılması halinde koku sorunu ortaya çıkabilmektedir. Bu durumda bunun yerine , kalorifer kazanlarında veya fabrikaların fırınlarında veya kazanlarında yakılması daha uygun olmaktadır.

n

n Artıklardan yakıt olarak yararlanmada etkin olan parametreler; su miktarları, kül içeriği ve ısı değeri dir. Su içeriğine bağımlı olarak yakıtın ısı değeri nin değ iş imi abaktan tayin edilebilir.

n

n Yakıt eldesinde uygulanan teknolojiler özellikle çöp ve katı atıklara yönelik olarak, Fransız, Alman, İngiliz, Avusturya ve Amerikan firmaları ya kömür teknolojisinden ya da yem teknolojisinden yararlanarak modifikasyonlar yaparak biriktirme , balyalama veya peletleme yöntemleri ile bu konuda teknoloji geliştirmişlerdir.



n Çöplerin içindeki kağıt karton, plastik, naylon gibi maddelerin değirmende parçalandıktan ve dane boyutu küçültüldükten sonra ev tipi sobada yakılması için

n peletleyen makinanın esasını oluşturan peletleme kısmı görülmektedir.

n

n Biriketleme makinaları genelde ya bildiğimiz dolu tuğla şeklinde çeşitli ebatlarda yakıt, ya da çeşitli çaplarda silindirik şekilde normal kesilmiş sobalık odun büyüklüğünde yakacak üretmektedirler.

n Bafra'da tarımsal katı artıklardan 6 cm çapında 30 cm boyunda sobalık yakıt üreten bir tesis birkaç yıl çalışmış, sonra hammdde akışı yeterli olmadığı için fabrika Ünye'ye taşınmıştır ve orada çalışmaktadır.

n Giresun'da başarılı bir şekilde faaliyet gösteren ağırlıklı olarak orman artıklarını değerlendirilmeye yönelik bir birikeme tesisi çalışmaktadır.

n

n Üretiminden sonra pazarlanan bu yacıklardan tarımsal artıklardan elde edilenin fiyatı odundan % 30, orman artıklarından elde edileni ise % 15 daha ucuzdur. Orman

n artıklarından elde edilen yakıtın ise değeri odununkine yakın yani 19 000-20 000 kj/kg arasında değişmekte iken, tarımsal artıklardan olanı fazla silisyumlu kül içermesinden dolayı ancak 15.000-16.000 kj/kg olabilmektedir. Fiyatını oluşturan

n ana etmen de işte bu kalite farkıdır.

n

n Karadeniz bölgesinde oluşan tarımsal ve orman artıklarını değerlendirmeye yönelik bu tesisler aslında orman kaynaklarımızın korunmasına da katkıda bulunmaktadır.

n

n Bu tesislerden Bafra'da kurulanı tamamen yabancı bir teknoloji ürünü ve tümü ithal edilmişken; Giresun'da kurulanın da sadece birikeme ünitesi ithal ve geriye kalan ağırlıkta büyük oranı oluşturan kısmı ise yerli malıdır. Türkiye'deki mevcut teknolojik potansiyel bu tür tesislerin üretilmesi için yeterlidir.

- n Bu uygulama örneklerinden yararlanarak İzmir de ve çevresinde oluşan bahçe atıklarının yakıtla dönüştürülmesi mümkündür.
- n Bafra 'daki tesis daha sonraki yıllarda Ünye 'ye nakledilmiştir. İşletemediğinden ve zarar ettiğinden, Ünye'li bir girişimci almıştır.

# Teşekkürler