

Termické procesy zpracování kalů

1

Termické zpracování kalů

- Mokrý oxidace v subkritické oblasti
- Mokrý oxidace v superkritické oblasti (nad 374°C a 22 MPa)
- Spalování v cementárně
- Spoluspalování s energetickým palivem
- Samostatné spalování
- Pyrolýza
- Zplyňování

2

Výhody termických procesů:

- Zmenšení objemu a hmotnosti odpadu
- Destrukce toxických organických látek a patogenů
- Získání energie

3

Mokrý oxidace kalů

4

Vysokotlaké mokré spalování - APO

(Aqueous phase, oxidation). V srpnu 1994 byla v holandském městě Apeldoorn uvedena do provozu tzv. mokrá šachtová oxidace kalů o kapacitě 30 000 tun sušiny kalu za rok, postavena firmou VerTech:

Základním článkem zařízení je šachtový reaktor o hloubce 1280 m, skládající se ze tří soustředných trub, z nichž vnější slouží jako chladič. Kal je spolu s kyslíkem čerpán do středové roury a je odváděn z prostřední.

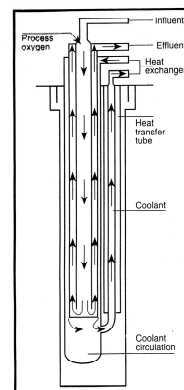
Exotermní oxidací stoupá postupně teplota reakční směsi a u dna reaktoru dosahuje až cca 275°C.

Vodní sloupec (respektive sloupec směsi vody a plynů) způsobuje tlak u dna reaktoru 8,5 až 11 MPa, což chrání reakční směs před varem.

5

Schéma reaktoru VerTech

Hloubka 1280 m
Teplota 275 °C
Tlak 8 -11 MPa



6

Vysokotlaké mokré spalování - APO

Díky protiproudému chlazení má odtok z reaktoru teplotu 50°C. V reaktoru se oxidují rozpuštěné i suspendované organické látky dodávaným plynným kyslíkem. Větší část organických látek se oxiduje na oxid uhličitý a část se mění na biologicky rozložitelné látky (např. nižší mastné kyseliny). Materiál se před zpracováním upravuje dezintegrátory a homogenizuje (na velikost cca 5 mm). Směs po oxidaci obsahuje suspendovaný "popel" (anorganický nezoxidovaný podíl) a odpadní plyny. Odpadní plyny jsou podrobeny katalytické oxidaci při 500°C.

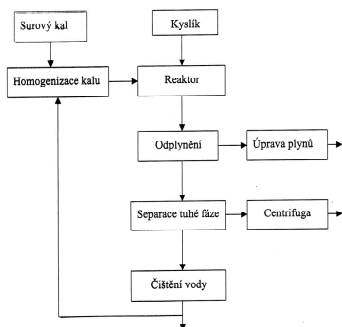
7

Vysokotlaké mokré spalování - APO

Popel je oddělován běžnou separační technikou bez nutnosti přidavku flokulantů. Kapalná fáze obsahuje amoniak, vzniklý z organického dusíku a určité množství biologicky rozložitelných látek (nižších mastných kyselin) a je podrobena biologickému čištění. Touto metodou dochází k zmenšení celkové sušiny kalu o 75 - 80%, přitom organické látky jsou z kalu odstraněny prakticky na 100%.

8

Ver Tech – mokrá oxidace, schéma zapojení



9

MOKRÁ OXIDACE – TECHNOLOGIE ATHOS®

Oxidace kalu tzv. mokrou cestou (Wet air oxidation WAO) firmy US Filter (Proces Zimpro). Obdobu této technologie vyvinula firma OTV až k průmyslové realizaci technologie Athos.

Princip:

Oxidace tekutého kalu za přístupu vzduchu za daných podmínek:
Teplota 200-300°C,
Tlak 4 - 6 MPa
Doba zdržení 60 minut.

75 – 90% organických látek v kalu převedeno do kapalné fáze ve formě směsi nižších mastných kyselin a metanolu. Veškerý kal je tímto mineralizován.

10

MOKRÁ OXIDACE – TECHNOLOGIE ATHOS®

Dusík: Vzhledem k tomu, že kapalná fáze obsahuje také vyšší koncentrace amoniakálního dusíku, uvolněného mineralizací kalu, přidává se do systému katalyzátor (na bázi Cu), který umožní přímou oxidaci amoniaku a následnou transformaci oxidovaných forem na plynný dusík. Část amoniakálního dusíku je odstraněna stripováním.

Kapalná fáze, bohatá na snadno rozložitelné látky, může být použita jako externí substrát pro denitrifikaci,

Tuhá fáze, obsahující zejména minerální látky a zbytek organického podílu je snadno odvodnitelná klasickými metodami, i bez přidání flokulačních přísad lze dosáhnout sušiny až 50%.

Účinnost odstranění:

CHSK v průměru 87%
amoniakálního dusíku od 45 do 70%.

11

MOKRÁ OXIDACE – TECHNOLOGIE ATHOS® - REALIZACE

Veolia Water, Toulouse, Francie

- Teplota 235°C, tlak 4,4 MPa, kapacita 3m³/h, sušina kalu 3-5 %.
- Účinnost 85-90 % na CHSK, 45-70 % na amoniak
- Kapalná fáze 7-9 g/l CHSK (4-6 g/l kys. octová), 0,8-1,2 g/l N-NH₄, suspendované látky 0,5 g/l.
- Tuhá fáze : snadno odvodnitelná na sušinu 50-60%

12

MOKRÁ OXIDACE – TECHNOLOGIE ATHOS® - REALIZACE

Aquiris, Brussel, Belgie

Nová ČOV pro Brussel r.2006, 1,2 mil. PE

Cíl: maximálně snížit produkci kalu a optimalizovat získání a využití energie z něj.

Kalová linka: zahušťování/odvodňování kalu na 15-16% suš., následná termická hydrolyza při 165-180°C a 1 MPa, anaerobní stabilizace, MO v procesu ATHOS a finální separace anorganické frakce na sušicím filtru na 98% suš.

Paralelně 2 jednotky ATHOS o každé o kapacitě 12m³/h

13

MOKRÁ OXIDACE V NADKRITICKÉ OBLASTI VODY

Největšího využití energie z kalu lze dosáhnout při mokré oxidaci kalu v nadkritické oblasti vody (**kritická teplota vody je 374°C, kritický tlak 22 MPa**).

Poloprovozní zařízení, teplota 500-600°C a tlak 25 MPa, koncentrace kalu 10 % sušiny.

Biologický materiál a ostatní organické látky jsou konvertovány s **účinností 99,99% a to při době zdržení do 30 sekund**. Uhlík a vodík z organických látek jsou přeměněny na CO₂ a H₂O, dusík (včetně amoniakálního), síra a fosfor na N₂, SO₄²⁻ a PO₄³⁻, organicky vázaný chlor na Cl⁻. Těžké kovy jsou oxidovány na příslušné oxidy.

14

MOKRÁ OXIDACE V NADKRITICKÉ OBLASTI VODY

Z hlediska energetického, pro dobrý průběh procesu postačuje energie okolo 0,5 MJ/kg mokrého koláče tj. 5 MJ/kg sušiny. To představuje asi 30 % celkového energetického obsahu kalu, zbývajících 70 % energie lze využít. Celkové náklady na zpracování kalu tímto způsobem se odhadují na 243 USD na tunu sušiny

Z hlediska účinnosti získání využitelné energie z kalu vyplývá následující zjednodušené pořadí technologií pro zpracování kalu: mokrá oxidace v nadkritické oblasti vody > mokré spalování v podkritické oblasti vody > pyrolyza > anaerobní stabilizace > přímé spalování

15

Mokrá oxidace v nadkritické oblasti vody, Aqua Reci process

Návrh pro Stockholm pro 10 000 tun/rok sušiny kalu.

Vstup: kal 10 000 t suš.
kyslík 8 750 t
energie 3 000 MWh

Výstup: 4 000 t suš.
CO₂ 8 000 t
N₂ 340 t
energie 31 670 MWh

Náklady: Investice celkem 10.1 mil. €/r
Provoz + odpisy 2,48 mil. €/r
Celková cena na tunu suš. kalu 248 €/t

Přínosy ze znovuzískání fosforu, hliníku a železa cca 4 mil. €/r

16

Porovnání spalování a mokré oxidace

- Spalování je oxidace za sucha, přímé hoření plamenem za přebytku kyslíku ze vzduchu.
- MO je termická oxidace ve vodném prostředí. Kinetika oxidace je limitována dodávkou kyslíku a vzrůstá s teplotou a tlakem.
- Spalování vyžaduje odvodněný nebo vysušený kal
- MO pracuje se zahuštěným kalem, nevyžaduje odvodňování
- ❖ Produkty přímého spalování: spaliny (NO_x, SO₂, HCl, dioxíny, furany), popel (škvára) a lehké frakce popela.
- ❖ MO produkty – plynná frakce bez výše uvedených látek, tuhá frakce – anorganický zbytek, rozpuštěná frakce – CHSK (mastné kyseliny, amoniak) koncentrace závisí na teplotě.

17

Spalování kalů v cementárenské peci

18

Spalování kalů v cementářské peci

Tato metoda byla vyvinuta také v Japonsku a má následující výhody:

- úplné odstranění všech toxických organických látek v důsledku vysoké teploty vypalování (>1000°C);
- těžké kovy jsou vázány do cementářského slínku a nemohou být vyluhovány;
- úspora uhlí a surovin;
- snížení emisí CO₂;
- bezodpadové zpracování kalu.
- je možno zpracovávat nejenom sušený ale i odvodněný kal

Pro udržení dobrých vlastností cementu je možno sušeným kalem nahradit pouze 5% používaného uhlí a použitý kal musí být vysušen na vysoký obsah sušiny cca 95%.

19

Spalování kalů v cementářské peci

Cementárna vyžaduje sušený práškový nebo granulovaný kal s obsahem sušiny nad 90%. Sušené kaly se dávají do oblasti plamene hořáku (1 800°C), kde shoří. V důsledku vysoké teploty jsou odstraněny všechny toxické organické látky.

Vzniklé popeloviny ze spáleného kalu jsou dopravovány do té části rotační pece, kde se vyskytuje tavenina, a tak jsou pevně zabudovány v tuhých roztocích slínekových materiálů, ze kterých nemohou být vyluhovány.

Emise tuhých znečišťujících látek, těžkých kovů, dioxinů a furanů jsou hluboko pod emisními limity všeobecně platnými. Zanedbatelná není ani výhoda úspory uhlí a surovin.

20

Spalování kalů v cementářské peci

Podobná metoda likvidace kalu byla zkoušena i s kaly ÚČOV Praha neslujícími výsledky:

- Stabilizovaný kal po vysušení obsahuje cca 60% anorganických podílů a cca 40% podílů organických (spalitelných).
- Výhřevnost suchých kalů z termofilního procesu spalovaných v cementárně lze očekávat ve výši cca 10,5 MJ/kg (při obsahu organických látek cca 40%)
- Pokusné spalování ukázalo, že při celkové měrné spotřebě tepla na vypálení 1 kg slínku, která činí 3 517 kJ, byl podíl měrného tepla, připadajícího na spálené kaly 247 kJ, což je 7%. V každém případě organické látky ve vysušeném VK představují energii, jejíž využití sníží nárok na topné medium.

21

Spalování kalů v cementářské peci

Popel vzniklý spálením je významným nosičem těžkých kovů, ale i cementářských složek SiO₂, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃. Stane se součástí surovinové směsi a nemá negativní vliv na jeho kvalitu.

Emise TK nepřekročily emisní limity a pohybují se většinou o jeden až dva řády níže.

Emise plyných látek nepřekročily emisní limity s výjimkou oxidu uhelnatého a NO_x, což ale nebylo způsobeno spalováním kalů, ale je dáno povahou cementářské pece, pro níž limit CO není stanoven.

22

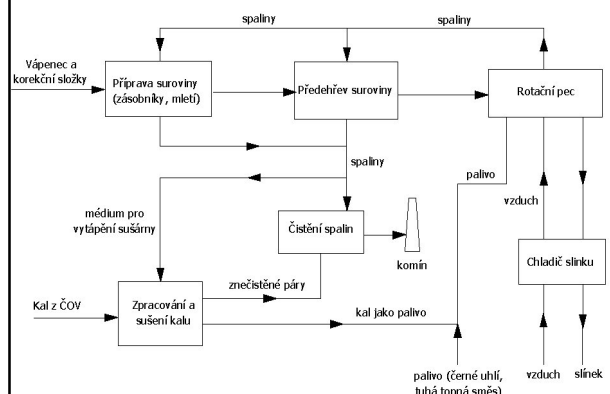
Spalování kalů v cementářské peci

Veškeré TK včetně Hg, která ve formě těžkých sloučenin cirkuluje v systému a zachycuje se na odprašcích jsou nakonec obsaženy ve výsledném produktu – mletém cementu a vyluhovací zkoušky ukázaly jejich zafixování v silikátových mřížkách, takže vyluky odpovídají dokonce limitům stanoveným pro pitnou vodu

Spalování vysušených vyhníklých kalů v cementárně se ukázalo jako jedinečná metoda jejich spolehlivé likvidace, bez jakékoli zátěže životního prostředí navíc s využitím jejich energetického obsahu i anorganické složky.

23

Spalování kalů v cementářské peci



Spalování kalů v cementárenské peci

Použití kalu pro výrobu portlandského cementu.

Kal s obsahem sušiny 20 % je smíchán s páleným vápnem v poměru 1 : 1 a dosušen na 99 % sušiny (větší část vápna se odstraní při reakci vápna s kalem). Obsah organických látek má dostačující kalorickou hodnotu pro spálení.

Zbytek po spálení má příznivé složení pro výrobu portlandského cementu.

Solidifikace kalu do betonu se ukázala být účinnou technologií fixace toxických kovů (Cr, Hg, Pb) a jiných kovů (Cr, Ni, Cu, Zn) vyskytujících se ve vysokých koncentracích v kalech.

25

cement

stavebnictví práškové hydraulické pojivo k přípravě malty a betonu; tvrdne na vzduchu i pod vodou. Rozeznávají se různé druhy cementu podle složení surovin použitých k výrobě. U nás se vyrábí zejména **cement portlandský** pálením směsi vápenců, slínů, hlíny a hlinitých břidlic s přísadou sádrovce. Surovina jemně umletá a promíšená se pálí v šachtových nebo otáčivých pecích nebo na sunovacím páse při teplotě 1280 °C, kdy nastává slinutí ve slínek. Slínek se mele a na jeho jemnosti závisí jakost cementu. Nejširší a nejčastější použití má cement portlandský. **Cement struskoportlandský** je vyrobený z portlandského slínu a granulované zásadité vysokopecní strusky s přísadou sádrovce. Mimoto se vyrábí řada cementů směsných a speciálních: **cement azbestový, pucolánový, popílkový, přehradní, silniční, vysokopecní, síranovzdorný, trasový**. Tzv. **cement bílý** je portlandský cement s velmi malým obsahem oxidů železa a manganu. Cement smíchaný s vodou dává kaši, která postupně tvrdne v beton. Podle doby tuhnutí je cement volně tuhnoucí (tuhne až za 1 hodinu), cement rychle tuhnoucí (tuhne do 1 hodiny) a speciální cement promptní (tuhne ihned po smíchání).

26

Portlandský cement

Portlandský cement je nejvíce používaným druhem cementu při výrobě betonu a malty. Obsahuje směs oxidů kovů alkalických zemin vápníku dále pak oxidy křemíku a hlinitku. Portlandský cement a podobné materiály jsou vyráběny pálením vápence (jako zdroje vápníku) s jílem nebo s pískem (zdroj křemíku), čímž vzniká spečenina se zdrojem sulfidů (nejčastěji sádra). Výsledný prášek po smísení s vodou začne hydratovat a tím tuhne.

Portlandský cement byl poprvé vyroben ve Velké Británii na počátku 19. století a jeho název je odvozen od podobnosti s portlandským kamenem (stavební kámen), který se těží v Dorsetu na ostrově Isle of Portland, který leží v kanálu La Manche. Patent na tento cement získal britský zedník Joseph Aspdin v roce 1824

27

Suroviny pro výrobu portlandského cementu jsou směsí CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ a MgO (ve formě jemného prášku „suchý proces“ nebo ve formě blátíčka „mokrý proces“). Suroviny se většinou těží přímo z místních kamenolomů, které mnohdy mají nejvhodnější složení všech oxidů, někde je třeba přidávat jílu a vápence nebo i železné rudy, bauxit a recyklovatelné materiály

28

Tepelná konverze kalu do stavebních materiálů

Vzhledem k tomu, že kalový popel obsahuje oxid křemičitý a oxid hlinitý, je možné ho tavit na produkt podobný sklu.

Prostřednictvím peletizace a sintrování je možné kalový popel využít k výrobě lehkých porézních agregátů.

Pro výrobu cihel lze použít jako přísadu do směsi s hlínou sušený kal až do 40 hmotnostních %, v případě kalového popela až do 50 %.

Samostatný kalový popel lze použít jako materiál při stavbě silnic a na výrobu dlažebních kostek.

29

Pyrolýza a zplyňování

30

TERMICKÉ PROCESY ZPRACOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

- teplota destrukce - přesahuje mez chemické stability kalu
- 300 – 2 000 °C
- nebere zřetel na chemickou povahu destrukčního prostředí
- **KYSLÍK**
- **má zásadní význam pro množství a vlastnosti nově vznikajících látek**

31

SPALOVÁNÍ / PYROLÝZA

PROCESY OXIDATIVNÍ	PROCESY REDUKTIVNÍ
<p>v reakčním prostoru je obsah kyslíku stechiometrický nebo vyšší vzhledem k zpracovávanému kalu</p> <p>$n \geq 1$</p> <p><u>spalování</u> <u>nízkoteplotní i vysokoteplotní</u></p>	<p>v reakčním prostoru je obsah kyslíku nulový nebo substechiometrický vzhledem k zpracovávanému kalu</p> <p>$n = 0$ $n \leq 1$</p> <p><u>pyrolýza, zplyňování</u></p>

32

TERMOCHEMICKÝ PROCES

TERMICKÁ DEGRADACE KALU

TŘI ÚZCE SOUVISEJÍCÍ POCHODY

TERMICKÁ DEPOLYMERACE ORGANICKÉHO SUBSTRÁTU
+
PYROLÝZA PRIMÁRNÍCH PRODUKTŮ ROZKLADU
+
SEKUNDÁRNÍ REAKCE PRODUKTŮ ROZKLADU

33

Pyrolýza

je termický rozklad odpadů za nepřítomnosti vzduchu (kyslíku) s produkcí polokoksu, pyrolýzního oleje a pyrolýzního plynu.

Hlavní rozsah teplot při kterém probíhá pyrolýza leží mezi 450 až 750 °C.

Poměr produkce pyrolýzního plynu, pyrolýzního oleje a polokoksu záleží především na teplotě procesu a složení zpracovávaného materiálu.

Pyrolýzní plyn obsahuje plyny s nízkým počtem uhlíků a má velkou výhřevnost. Tato metoda je vhodná pro netoxický odpad.

34

Zplyňování

je řízený rozklad organických látek na syntézní plyn za řízené přítomnosti kyslíku.

Produkuje plyn s nižší výhřevností, který obsahuje především CO, N₂, CO₂, H₂, CH₄, H₂ a apod. Proces zplyňování probíhá obvykle při teplotách 800 – 1300 °C.

Při zplyňování a to včetně zplyňování vysokoteplotního odpadu vznik toxických dioxinů, furanů a polycyklických aromatických uhlovodíků. Rovněž se netvoří NOx.

Produkty pyrolýzy a zplyňování jsou dále lépe využitelné než produkty spalování, které produkuje v podstatě pouze tepelnou energii.

35

Zplyňování kalů

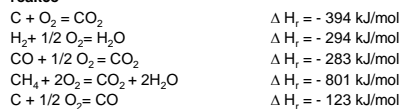
Zplyňování kalů je přeměna usušeného kalu v plynné palivo prostřednictvím zplyňovacího média, kterým bývá vzduch, popř. kyslík.

Zplyňování je složitý chemický proces, kde jsou rozhodující reakce mezi pevnou látkou a kyslíkem. Při reakcích se uplatňují vzájemné reakce organických látek obsažených v kalu a volného kyslíku při součinnosti s oxidem uhličitým a vodní parou.

Reakce lze rozdělit do několika skupin:

36

1) reakce dokonalého spalování, které dodají teplo pro endotermní reakce



2) reakce nedokonalého spalování



3) konverze CO s vodní parou



4) vznik metanu



37

Při postupném ohřevu do teploty 500 - 600 °C se z usušeného kalu uvolňují těkavé látky a z organického podílu zůstává dehet a "uhlí". Tato první fáze se nazývá pyrolýza a na tuto fázi navazuje vlastní zplyňování při kterém se pyrolýzní plyn z části spaluje a z části dále reaguje. Uvolněné teplo se spotřebovává na reakce zplyňování pevného uhlíku.

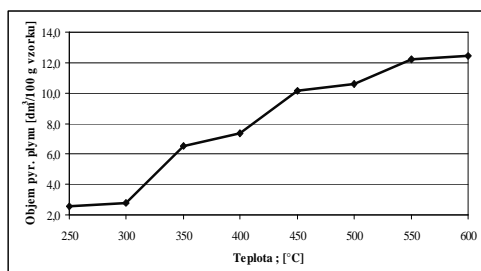
Výsledkem je plyn, který obsahuje nejen H_2 , CO , CO_2 , CH_4 a vyšší uhlovodíky, ale i N_2 , H_2O , H_2S a NH_3 .

Mimo plynu vzniká i kapalný podíl. Složení plynu a kapalného podílu (dehtovité látky) a to včetně jejich vzájemného podílu ovlivňuje složení zpracovávaných úsušků, teplota procesu, množství přidávaného vzduchu apod.

Výhoda zplyňování kalů spočívá v produkci plynu, který je možné lépe efektivněji využívat než teplo produkované spalováním.

38

Produkce pyrolýzního plynu



39

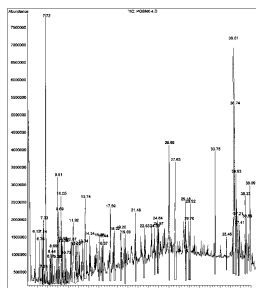
Základní stanovené parametry lab. studie – [vztaženo na původní vzorek]

Parametr	Jednotka	Teplota pyrolýzy – °C			
		300	400	500	600
Hmotnost pyrolýzního zbytku	[g / kg]	630	500	470	440
Sypná hmotnost pyrolýzního zbytku	[g / kg]	421	409	380	370
Objem volně sypané vrstvy vtažený na původní vzorek	[% obj.]	76	64	64	60
Celkový kondenzát vodního chladiče	[g / kg]	294	377	342	331
Pyrolýzní olej	[g / kg]	77	158	113	100
Vodná fáze kondenzátu	[g / kg]	217	219	229	231
Kondenzát z vymrazování	[g / kg]	4	12	33	36
Pyrolýzní plyn	[dm³/kg]	28	73	106	124

40

GC-MS analýza oleje z pyrolýzy při 550 °C

Obsah komponent	[% hmot.]
Toluen	4,9
Fenol	3,7
3-methylfenol	5,3
Indol	2,8
Tridekan	2,3
3-methylindol	2,2
Pentadekan	2,2
Nitril hexadekanu	3,2
Kyselina hexadekanová	6,3
Nitril oktadekanu	2,4
Kyselina olejová	3,3
Amid kyseliny hexadekanové	2,9
Bis(2-ethylhexyl)ftalát	2,8

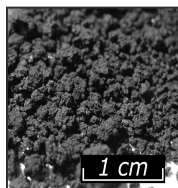


41

Složení pyrolýzních plynů – % obj.

Složka	Teplota pyrolýzy	
	350 °C	550 °C
Vodík	6,59	12,84
Methan	27,4	29,01
Oxid uhelnatý + Dusík	15,62	21,20
Ethan + Ethylen	1,89	1,75
Oxid uhličitý + C ₃	43,31	32,31
n- + Isobutan	0,11	0,06
2-Methyl-1- propen + methanthiol	2,18	1,22
n- + Isopentan	0,16	0,09
Furan	0,78	0,43
2-Methyl-2-buten	0,23	0,13
2-Methylfuran	0,34	0,19
Hexan	0,13	0,07
Benzen	0,06	0,03
Toluen	0,12	0,07

42



Tuhé pyrolyzní zbytky

Doba provozu	hod	0,5	2	4	6
voda	% hm	0,47	0,93	-	-
popel	% hm	61,05	69,14	67,09	74,71
elementární rozbor					
C	% hm	24,17	20,80	20,88	21,02
H	% hm	2,33	1,40	1,14	0,94
N	% hm	3,39	2,63	2,48	2,37
S (spalitelná)	% hm	1,55	1,56	1,64	1,58

43

Základní parametry vodní vrstvy pyrolyzátu

Ukazatel	jednotka	0,5 hod	2 hod	4 hod	6 hod
NL	g/l	4,6	120	100	34
CHSK _{Cr}	g/l	150	900	620	390
BSK ₅	g/l	60	220	150	100
EL	g/l	3,4	31	21	7,2
NEL	g/l	0,16	14	9,8	2,2
N _{CELKOVY}	g/l	28	37	37	56
N-NH ₄	g/l	10	17	18	28
FENOLY	g/l	0,53	2,6	2,4	2,4
CN	mg/l	100	600	400	300
MK	mmol/l	250	1000	900	600

44

12 800

6 400

3 200

1 600

800

400

200

50

Ppm

Nebezpečí otravy CO

okamžitý efekt, bezvědomí a nebezpečí smrti do 1 – 3 minut	1,28
bolesti hlavy a závratě do 1 – 2 minut, bezvědomí a nebezpečí smrti do 10 až 15 minut	0,64
bolesti hlavy a závratě do 10 – 15 minut, bezvědomí a nebezpečí smrti do 30 minut	0,32
Bolesti hlavy a závratě, nucení k zvracení do 20 minut, kolaps, bezvědomí a možnost smrti do 2 hodin	0,16
bolesti hlavy a závratě, nucení k zvracení do 45 minut, kolaps, možnost bezvědomí do 2 hodin	0,08
Silné bolesti hlavy, nucení k zvracení za 1-2 hodiny, za 2,5 až 3,5 příznaky ustoupí	0,04
možná středně silná bolest hlavy během 2 – 3 hodin	0,02
neznatelné účinky	0,005
účinky	%

Nebezpečí pro životní prostředí

spočívá v produkci popelovin a kondenzátu, kterým je především voda. Z tohoto důvodu musí být uložení popele zabezpečeno odpovídajícím způsobem.

Kondenzát obsahuje látky dehtovitého a fenolového charakteru, jejichž biologická rozložitelnost je problematická.

Znečištění spalin z využívání syntetického plynu je obvykle přijatelné.

46

Typy zplyňovacích zařízení – generátorů

Návrh zařízení je závislý na druhu zpracovávaného materiálu – paliva. Rozdělení generátorů je především podle způsobu vnosu vzduchu do zařízení. Generátory plynu se obvykle dělí na:

- vertikální generátor s průtokem plynu nahoru
- vertikální generátor s průtokem plynu dolů
- dvojitý generátor plynu
- horizontální generátor
- ostatní typy

47

Kvalita usušeného kalu

Sušení kalů má za účel především snížení hmotnosti kalu, jeho stabilizaci a hygienizaci. Sušením odvodněných vyhnílych kalů se získá materiál, který má přibližné složení jako hnědé uhlí ze Severočeského hnědouhelného revíru a to jak z hlediska výhřevnosti, tak i složení popelovin.

		Suché hnědé uhlí	Vysušený kal z ČOV
Obsah vody	(hm. %)	11,0 – 15,0	2,0 – 10,0
Obsah popelu	(hm. %)	4,0	20,0 – 30,0
Těkavé látky	(hm. %)	42,0 – 44,0	20,0 – 50,0
Výhřevnost	(kJ/kg)	21 200	8 000 – 12 000
Uhlík	(hm. %)	56,0 – 58,8	20,0 – 30,0
Vodík	(hm. %)	4,2 – 4,3	1,5 – 5,0
Kyslík	(hm. %)	20,0 – 21,0	8,0 – 16,0
Dusík	(hm. %)	0,6 – 0,7	1,0 – 5,0
Síra	(hm. %)	0,35	1,0 – 2,0

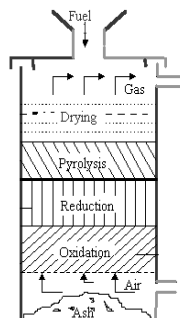
48

Typické složení organického podílu ve splaškových kalech

Elementární analýza organického podílu kalu	Primární kal	Přebytečný kal	Směsný kal	Vyhnilý kal
	(%)	(%)	(%)	(%)
C	60,0	53,0	57,0	67,0
H	7,5	7,0	7,0	5,0
O	28,0	30,5	30,0	25,0
N	3,0	9,0	5,0	2,2
S	1,5	0,5	1,0	0,8
Celkem	100	100	100	100

49

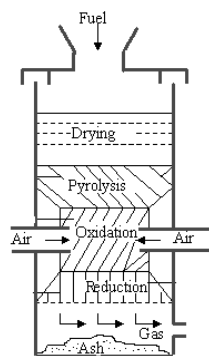
Vertikální generátor s průtokem plynu nahoru



Má definované zóny pro procesy spalování (oxidace), redukce a pyrolýzy. Vzduch je vhněn ke dnu reaktoru v protiproudu k průtoku paliva. Horké plyny postupují vzhůru reaktorem, procházejí vrstvou paliva a odcházejí z reaktoru při nízké teplotě. Teplu obsažené v plynu se přirozeným způsobem využívá k sušení a ohřevu paliva. Nevýhoda: produkce nadměrného množství látek dehtovitého charakteru a malé možnosti zatížení.

50

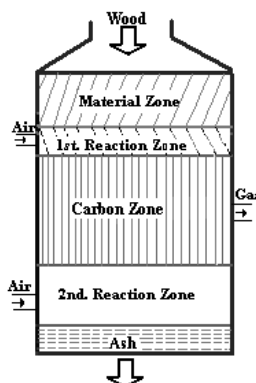
Ve vertikálním generátoru s průtokem plynu dolů



opouštějí plyny reaktor s nízkým obsahem dehtových par, které znečišťují produkovaný plyn. Vzduch se vhná do spodní části lože paliva, které společně s produkovaným plynem odchází do spodní části reaktoru

51

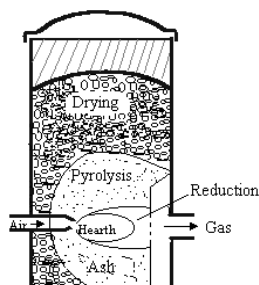
Dvojitý generátor



je kombinací souproutého a protiproudého reaktoru. reaktor obsahuje dvě definované reakční zóny. V horní části reaktoru dochází k **sušení**, nízkoteplotné karbonizaci a krakování plynů, zatímco ve spodní části neustále probíhá proces **zplyňování**. Teplota plynů se pohybuje mezi 460 a 520 °C. Celý proces probíhá za podtlaku – 3 kPa. Tímto procesem se produkuje relativně čistý plyn.

52

Horizontální generátor



spojuje výhody vertikálního generátoru s průtokem plynů nahoru i dolů. Produkovaný plyn má vysokou teplotu a dochází k malé redukci oxidu uhličitého (CO₂). Konstruktivní parametry reaktoru požadují palivo s nízkým podílem popela a tím i limitují jeho druh. V důsledku dosahované vyšší teploty procesu je ovlivněno složení syntetického plynu, který obsahuje zvýšený podíl oxidu uhelnatého a nižší podíl vodíku a metanu a to především v případě použití suchého paliva

53

Suché čištění plynu

se používá především tehdy, jestliže obsah škodlivin, jako je chlor, fluor, síra a těžké kovy není příliš vysoký a nedochází tedy ke vzniku nepřípustných emisí s ohledem na přítomnost těchto látek v popelu.

Čištění plynu za sucha se formou čištění horkých plynů používá především v oblasti spaloven. Plyn se s co možná nejnižšími ztrátami tepla přivádí přímo do výrobního nebo spalovacího zařízení.

Emisní hodnoty dosažitelné při zplyňování jsou přitom nižší, než srovnatelné hodnoty u spaloven.

54

Čištění plynů za mokra

se používá tehdy, jestliže jsou zplyňované látky silně zatíženy škodlivinami, nebo jestliže je požadována mimořádně vysoká čistota plynu, jako např. pro dlouhodobý provoz plynových motorů. V tomto případě se zpravidla používají pračky plynu.

Pračky se osvědčily zejména u zplyňovacích zařízení, kde se vyrábí vysoce čisté plyny, např. pro následné plynové motory. V pračkách se odstraní kromě prachových částí i plynné součásti rozpustné ve vodě, jako např. chlor. Čistota plynu se pohybuje pod 10 mg/Nm³.

Kromě prachu se odloučí i polycyklické sloučeniny, které částečně vznikají během najíždění a ukončování procesu zplyňování. Tyto části se v prací vodě usazují na částicích a vylučují se společně s nimi z prací vody.

55

Energetické zhodnocení plynu z procesů zplyňování

Při zplyňování usušených kalů vzniká na tunu organické sušiny kalu cca 2000 – 2200 m³ plynu.

Zpracováním 100 t/d sušiny vyhnílého kalu zplyňovacím postupem se v průměru vytvoří 100800 m³/d plynu.

Předpokládaná výhřevnost plynu je minimálně 4,2 MJ/m³.

Denní produkce energie obsažené v plynu je cca 423 GJ/d.

Velký objem produkovaného plynu společně s jeho nižší výhřevností je v důsledku obsahu většího podílu dusíku a oxidu uhličitého ze spoluspalování v průběhu zplyňování kalů.

56

Složení pyrolyzního plynu

Složka	Hodnota	Jednotka
H ₂	27,3	%
CO	19,3	%
CH ₄	10,5	%
C ₃ H ₈	8,0	%
CO ₂	23,2	%
O ₂	0,02	%
N ₂	5,0	%

Specifická hmotnost plynu je 1,023 kg/Nm³

Z 1 kg sušeného kalu se po přepočtu získá :
0,29 kg plynu o výhřevnosti cca 16 MJ/kg
0,13 kg spalitelného kondenzátu
0,58 kg suchého sypkého zbytku po pyrolyze

57

Výsledky plynově-chromatografické analýzy vzorků plynů z poloprovodní jednotky

Pořadí	Složka	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 2*
1	Vodík	29,33	25,64	26,68
2	Oxid uhličitý	24,92	21,27	22,14
3	Kyslík	0,02	0,78	0,00
4	Dusík	5,36	10,03	7,19
5	Metan	11,24	11,46	11,92
6	Oxid uhelnatý	20,66	17,64	18,36
7	Etylén	1,56	1,56	1,62
8	Etan	1,44	2,03	2,12
9	Propylén	1,24	2,66	2,77
10	Propan	0,58	0,79	0,83
11	Uhlovodíky C ₄	1,20	1,88	1,96
12	Uhlovodíky C ₅	0,78	1,75	1,82
13	Uhlovodíky C ₆	0,84	1,33	1,38
14	Benzen	0,03	0,06	0,06
15	Uhlovodíky C ₇	0,21	0,26	0,27
16	Toluen	0,28	0,31	0,33
17	Uhlovodíky C ₈	0,19	0,31	0,32
18	Uhlovodíky C ₉	0,12	0,24	0,25

58



Pokusný poloprovodní fluidní zplyňovací reaktor

o-místo pro odběr plynu pro filtraci

59

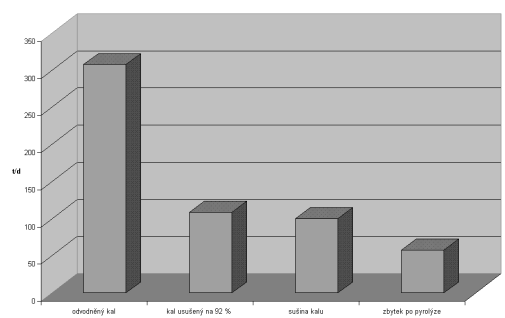


Experimentální odběrová a měřicí trať

- 1 – odběrové místo pro stanovení složení plynu a dehtu (t = 300-350 °C),
- 2 - ústí isokinetické sondy pro odběr plynu (t=320-360 °C),
- 3 - vyhřívaná odběrová sonda (t= 450-500 °C),,
- 4 - horký filtr (t = 450 °C),
- 5 - katalytický reaktor (t=800-900 °C),
- 6 - kondenzátor (t=15 °C),
- 7 – regulace teploty kat. reaktoru a filtru,
- 8 - regulace teploty isokinetické sondy

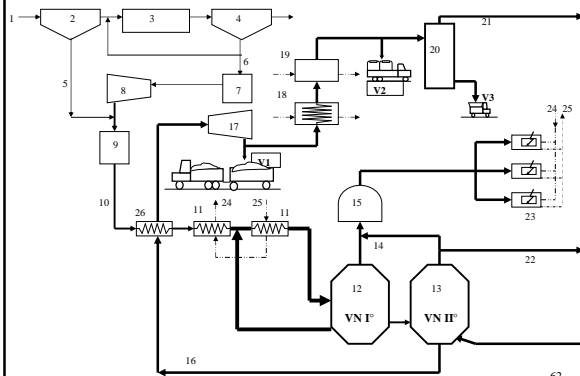
60

Průběh hmotnosti vyhnilého kalu s použitím fluidní sušárny a pyrolýzy kalů.



61

Pyrolýza anaerobně stabilizovaného kalu



62