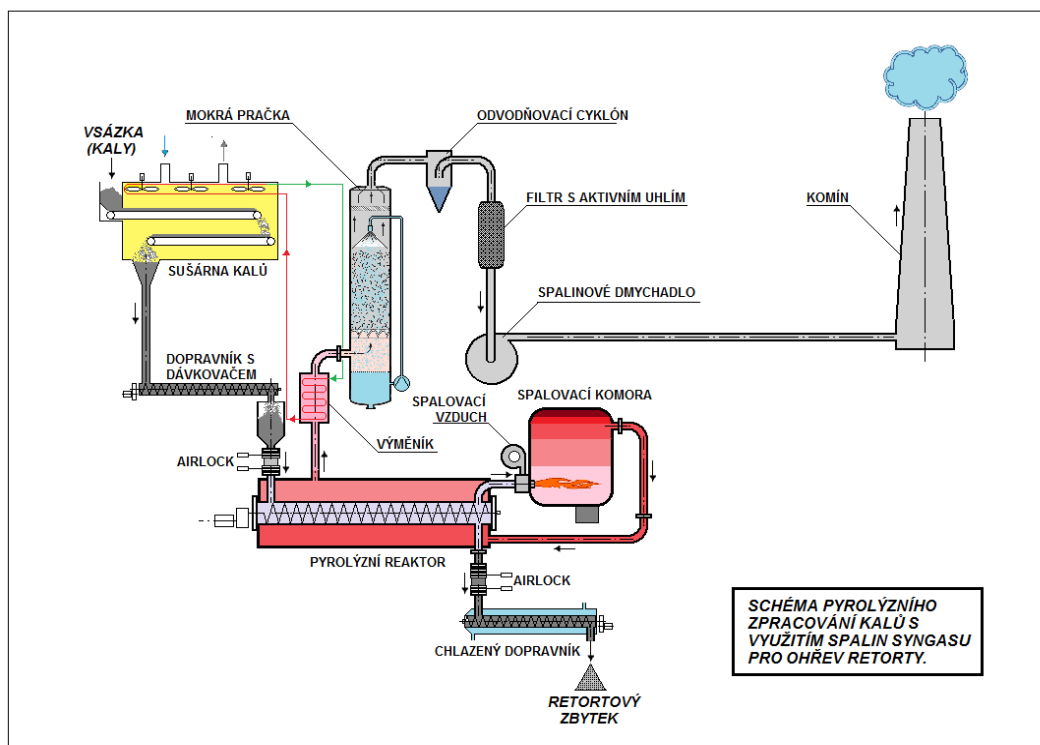
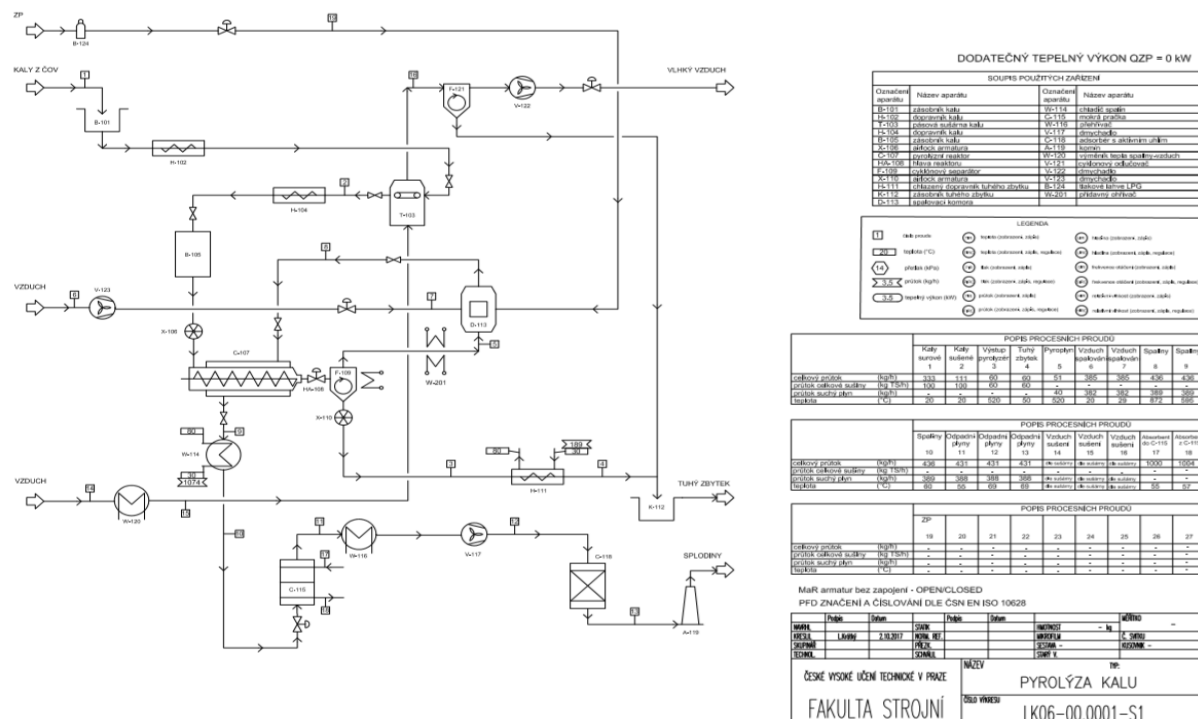


Příloha č. 2 Výkresy, obrázky, tabulky

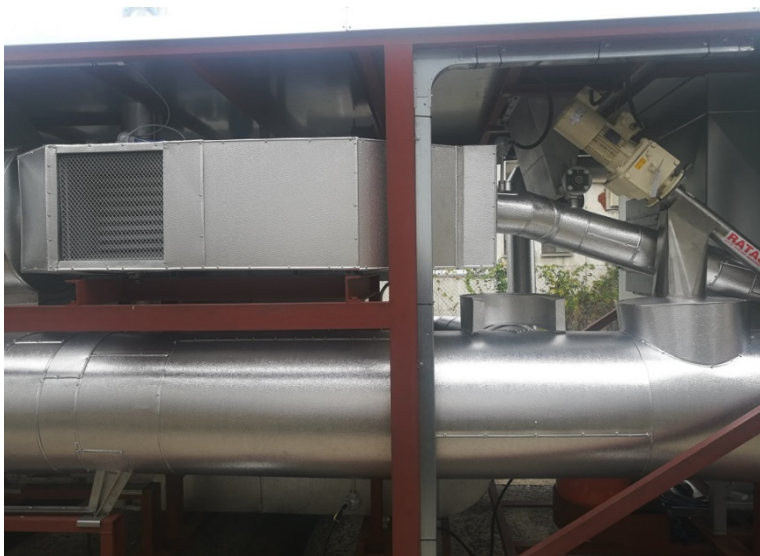


Obr. č. 1. Schematický náčrt budoucího zařízení bez jakýchkoliv specifikací, znázorňující pouze základní procesy, principy činnosti a jejich návaznosti. Pro úplnost je zde naznačena i sušárna kalů.





Obr. 6, 7, 8. Postupná montáž jednotlivých dílů do kontejneru. V pozadí na obrázcích portálový jeřáb



Obr. 9: pohled na retortu s násypkou dole a na tepelný výměník spaliny vzduch nahoře. Trubka z výměníku vede do filtrace



Obr. 10. pohled na retortu dole s odvodem spalin z dvouplášťové retorty do výměníku spaliny vzduch



Obr. 11. pohled vlevo na filtrační jednotku s troubou vedoucí ke dmychadlu zajišťujícím podtlak v celém systému. Vpravo část rozvodné skříně s elektronikou



Obr. 12. Pohled na dospalovací pec v pozadí, před ní elektronika s ovládáním pece. Vpravo modré dmychadlo pro vhánění vzduchu do dospalovací pece a chlazený dopravník biocharu z retorty do připraveného sudu.



Obr. 13 pohled z boku na dospalovací pec včetně ovládání a dmychadla. Částečně je vidět i chlazený dopravník pro odvod biocharu z retorty



Obr. 14 rozvodná skříň pro ovládání celého zařízení. Na pravých dveřích dotyková obrazovka pro ovládání celého systému. Počítač je vybudován na platformě Siemens. Vpravo zadní část dospelovací komory.



Obr. 15. Vstupní část celého zařízení sloužící pro dopravu vysušených kalů do násypky retorty



Obr. 16 a 17 pohled na celou jednotku především vstupní a výstupní část ve vyhrazených prostorách firmy Revok, kde se odehrávají i experimenty pro ověření činnosti celého zařízení a pro získávání biocharu pro další chemické analýzy.



Obr. 18 a 19 instalované zařízení na chemickou analýzu vzniklého plynu vlevo, vpravo potom jímání biocharu do sudu ze kterého byly odebrány pravidelně vzorky pro chemickou analýzu.



Obr. 20 pohled na zařízení od výstupní části. Vlevo je vidět zádň část dodávkového vozu ve kterém byla aparatura pro měření emisí. Je vidět i kabel spojující komínek na zařízení s měřicí aparaturou.

Parametry vyrobeného biouhlu

Tabulka 1. Výsledky rozboru vysušených čistírenských kalů z Karlových Varů provedených na VŠCHT Praha a FŽP UJEP Ústí nad Labem

Vlastnost, veličina	jednotka	Kal Karlovy Vary Rok 2018	Kal Karlovy Vary Rok 2019
popel, A ^d	% hm.	43,4	38,4
prchavá hořlavina, V ^d	% hm.	47,8	41,6
Fixní uhlík ^d	% hm.	8,8	20,0
spalné teplo, Q _s ^d	MJ·kg ⁻¹	13	14,3
výhřevnost, Q _i ^d	MJ·kg ⁻¹	12	13,26
obsah uhlíku, C ^d	% hm.	29,2	31,7
obsah vodíku, H ^d	% hm.	4,4	4,7
obsah dusíku, N ^d	% hm.	4,3	4,3
obsah kyslíku, O ^d	% hm.		19,1
obsah celkové síry, S1 ^d	% hm.	1,2	1,9
obsah spalitelné síry, S2 ^d	mg·kg ⁻¹	9642	
obsah chloru, Cl ^d	mg·kg ⁻¹	599	
obsah fluoru, F ^d	mg·kg ⁻¹	408	

Jak plyne ze srovnání složení sušených kalů z Karlových Varů z roku 2018 a 2019, kaly se výrazně liší především obsahem popelovin, obsahem celkové síry i výhřevností.

Tabulka 2: Složení biouhlu při pyrolyzním pokusu s rovnoměrnějším dávkováním kalu přibližně 30,5 kg/hod, zlepšenou regulací teploty v pyrolyzní peci se šnekem. Vlhkost dávkovaného kalu byla 21,6 hm. %, obsah popelovin v sušině byl asi 50,95 hm. %. Teplota pyrolýzy 600 – 640 °C.

	Čas odběru 13:50 hod	Čas odběru 14:40 hod	poznámka
Vlhkost (hm. %)	-	-	Mírně hygroskopický
Obsah popela ^d (hm. %)	71,68	71,52	
Obsah prchavé hořlaviny ^d (hm. %)	4,35	4,57	
Obsah fixního uhlíku ^d (hm. %)	23,97	23,91	
Obsah C v hořlavině	25,79	25,23	
Obsah H v hořlavině	0,7	0,68	
Obsah N v hořlavině	2,35	2,25	
Obsah S v hořlavině	1,09	1,04	
Suma obsahů vybraných 12 PAU	Pod 0,5 mg/kg	Pod 0,5 mg/kg	

Tabulka 3.: Složení biouhlu při pyrolyzním pokusu s rovnoměrným a vyšším dávkováním kalu (46 kg/hod), zlepšenou regulací teploty v pyrolyzní peci se šnekem a srovnání se složením vstupního karlovarského kalu. Teplota v 600 – 650 °C v pyrolyzní peci a s generací dostatečně výhřevného pyrolyzního plynu, který umožnil také odstavení pomocného plynový hořáku na zemní plyn.

	Čas odběru 13:40 hod	Čas odběru 14:45 hod	Čas odběru 15:40 hod	Dávkovaný kal
Vlhkost (hm. %)	-	-	-	11,72
Obsah popela ^d (hm. %)	71,96	71,36	70,88	41,82
Obsah prchavé hořlaviny ^d (hm.%)	5,05	6,36	6,72	48,06
Obsah fixního uhlíku ^d (hm. %)	22,99	22,28	22,4	10,1
Obsah C v hořlavině	25,08	24,77	25,41	31,23
Obsah H v hořlavině	0,73	0,86	0,91	4,53
Obsah N v hořlavině	2,34	2,56	2,6	4,18
Obsah S v hořlavině	1,14	1,0	1,0	1,54

Tabulka 4: Specifické povrchy biouhlů naměřené pomocí BET metody s dusíkem

	Specifický povrch biouhlu (m ² /g)
Dávkování 30,5 kg/hod, čas 12:50 hod	29
Dávkování 30,5 kg/hod, čas 13:40 hod	23
Dávkování 30,5 kg/hod, čas 14:45 hod	22
Dávkování 46 kg/hod, čas 13:40 hod	18
Dávkování 46 kg/hod, čas 14:45 hod	29
Dávkování 46 kg/hod, čas 15:40 hod	25

Parametry (složení a výhřevnosti) pyrolyzních nekondenzujících plynů

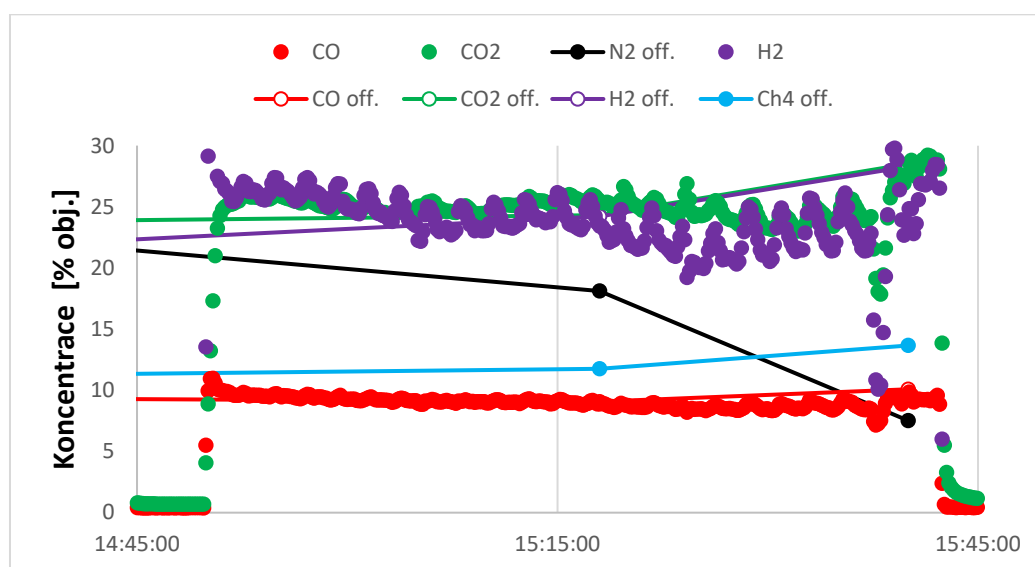
Tabulka 5: Složení termolyzního plynu, termolyzní experiment s dávkováním kalu 30,5 kg/hod, výsledky jsou v obj. %

Vzorek složka,	Čas 12:40 % obj.	Čas 13:30 %	Čas 14:00 %	
O ₂ ve vzorku*	5,40	5,54	2,30	
CO ₂	14,53	14,04	15,82	
H ₂	17,33	16,00	19,03	
CO	7,86	7,10	9,69	
CH ₄	8,25	7,55	9,13	
N ₂	39,12	42,71	36,22	
Ar	0,46	0,50	0,42	
etan	1,366	1,225	1,373	
etylen	2,022	1,844	2,242	
acetylen	0,020	0,031	0,033	
propan	0,364	0,331	0,320	
propen	1,496	1,325	1,511	
butany	0,067	0,060	0,056	
buta-1,3-dien	0,002	0,002	0,002	
propin	0,367	0,325	0,382	
but1-en-3-yn	0,039	0,038	0,030	
cyklopentadien	0,031	0,029	0,031	
benzen	0,165	0,121	0,177	
toluen	0,123	0,053	0,099	
H ₂ S	0,159	0,455	0,410	
ostatní (C ₄ -C ₆)	0,821	0,727	0,718	
suma	100,00	100,00	100,00	
Spalné teplo 15/15, MJ/m ³	11,86	10,70	12,64	
Výhřevnost 15/15, MJ/m ³	10,85	9,80	11,57	

Tabulka 6: Složení termolyzního plynu, termolyzní experiment s dávkováním kalu 46 kg/hod, výsledky jsou v obj. %

Vzorek složka,	Čas 12:47	Čas 13:25	Čas 13:47	Čas 14:24	Čas 14:42	Čas 15:18	Čas 15:40
	% obj.						
O ₂ ve vzorku*	2,21	0,51	0,47	0,43	0,74	1,45	0,48
CO ₂	20,37	23,19	22,74	25,62	23,87	24,34	28,51
H ₂	21,80	21,79	20,24	22,24	22,17	24,22	28,29
CO	10,04	10,27	9,68	9,42	9,31	9,08	10,08
CH ₄	11,23	11,10	10,68	11,69	11,31	11,77	13,66
N ₂	25,04	22,40	26,14	19,95	21,73	18,13	7,53
Ar	0,29	0,26	0,31	0,23	0,25	0,21	0,09
etan	1,776	2,014	1,756	2,086	1,924	2,018	2,303
etylen	2,322	2,503	2,083	2,036	1,900	1,845	1,889
acetylen	0,016	0,014	0,018	0,005	0,008	0,009	0,007
propan	0,621	0,707	0,712	1,013	0,943	1,003	1,156
propen	1,974	2,203	1,864	2,042	1,870	1,855	1,861
butany	0,125	0,148	0,170	0,214	0,276	0,275	0,297
buta-1,3-dien	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
propyn	0,436	0,455	0,417	0,322	0,339	0,308	0,252
but1-en-3-yn	0,065	0,052	0,099	0,103	0,166	0,163	0,150
cyklopentadien	0,000	0,049	0,033	0,001	0,002	0,058	0,076
benzen	0,009	0,004	0,011	0,018	0,039	0,022	0,091
toluen	0,001	0,001	0,002	0,004	0,008	0,004	0,030
H ₂ S	0,635	1,243	1,361	1,302	1,405	1,629	1,506
ostatní (C4-C6)	1,037	1,080	1,218	1,265	1,734	1,608	1,731
suma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Spalné teplo 15/15, MJ/m ³	14,95	14,95	14,87	16,07	16,29	16,69	18,64
Výhřevnost 15/15, MJ/m ³	13,67	13,67	13,65	14,72	14,93	15,28	17,03

Srovnání kontinuálního měření složení pyrolyzních plynů s off-line analýzami vzorků plynu pomocí plynové chromatografie



Obr. 21 záznam hodinového on-line měření koncentrací CO, CO₂ a H₂ v pyrolyzním plynu pomocí analyzátorů s koncentracemi plynů zjištěnými off-line chromatografickou analýzou odebraných vzorků plynu

Emisní limity při spalování odpadů a při zpracování odpadů (včetně kalů)

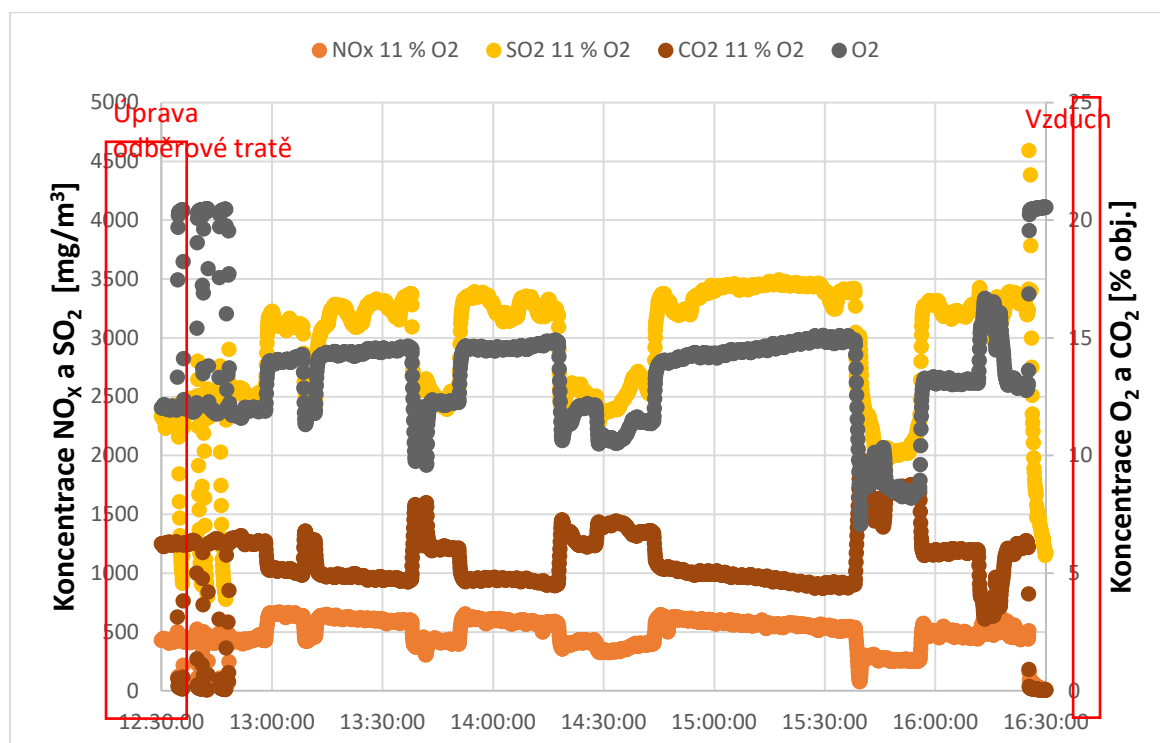
Tabulka 7: Emisní limity při spalování odpadů a požadavky na čištění spalin z termolýzních plynů
Ve druhém sloupci odhady emisí na základě analýzy termolýzního plynu před vstupem do pece

Kategorie polutantu	Koncentrace v surových spalinách (mg/Nm ³)	Povolený denní průměr emisních koncentrací (mg/Nm ³)	Požadovaný stupeň separace polutantu ze surových spalin
Prachové částice	2000 – 6 000	10	99 – 99,8 %
HCl	300 - 1500	10	98-99 %
HF	2 - 20	10	asi 95 %
SO ₂	1000 - 3000	50	95 – 99 %
NO _x (jako NO ₂)	400 - 1000	200	50 – 80 %
Hg	0,1 – 0,3	0,05	50 – 80 %
Σ (slouč. Cd a Tl)		0,05	
Σ (slouč. As, Co, Cr, Cu, Mn, Mn, Pb, Sb, V, Zn)		0,5	
Σ (slouč. As, Cd, Co, Cr + Benzo(a)pyren)		0,05	
Σ (PCDD/PCDF)		0,1 ng TEQ/Nm ³	

Pozn. Očekává se zpřísnění limitů pro emise malých částic prachu pod 1 µm (PM1)

Pro SNCR a SCR u de-NO_x budou limity emisí NH₃ (asi 10 mg/Nm³ a 5 mg/Nm³)

Koncentrace polutantů na komíně při kontinuálním měření emisí SO₂, NO_x a CO analyzátozem Horiba PG-350



Obr. 22: Výsledky emisních měření při pyrolyzním pokusu s dávkováním 46 kg kalu/hod a při dávkování sorbentu Vapcarb (Ca(OH)₂ + aktivní uhlí) asi v množství 1,2 kg/hod (čas od 12:40 hod do 16:20 hod)

Manuální metody stanovení HCl a rtuti ve spalínách

Tabulka 8: Parametry při odběrovém manuálním stanovení koncentrace HCl ve spalínách, pyrolýza s dávkováním 46 kg kalu/hod

Čas odběru spalín: 13:40 – 14:10	Množství odebraného plynu: 30 litrů
Koncentrace absorpčního roztoku NaOH: 0,1 mol	Počet absorpčních bublaček: 2
Celkové množství roztoku k analýze Cl: 240 ml	Množství HCl ve vzorku plynu 30 litrů přepočtená na konc. O ₂ ve spalínách 11 % : 0,333 mg
Koncentrace HCl ve spalínách při 11 % kyslíku: 11,1 mg/m ³	

Tabulka 9: Parametry při odběrovém manuálním stanovení koncentrace celkové rtuti ve spalínách, pyrolýza s dávkováním 46 kg kalu/hod

Čas odběru spalín: 14:15 – 14:40	Množství odebraného plynu: 25 litrů
Absorpční roztok: 2,5 % KMnO ₄ v 10% H ₂ SO ₄	Počet absorpčních bublaček: 3
Celkové množství roztoku k analýze Hg: 350 ml	Předběžné úpravy: částečná redukce KMnO ₄ a neutralizace na pH 5
Analýza kapalných vzorků pomocí analyzátoru DMA 80-evo	Koncentrace celkové rtuti ve spalínách: asi 55 µg/Nm ³ při koncentraci kyslíku 11 % obj.

Tabulka 10: popis jednotlivých prvků k obr. č. 3

SOUPIS POUŽITÝCH ZAŘÍZENÍ			
Označení aparátu	Název aparátu	Označení aparátu	Název aparátu
B-101	zásobník kalu	W-114	chladič spalín
H-102	dopravník kalu	C-115	adsorbční filtrace prachu
O-103	zásobník sorbentu	W-116	přehříváč
H-104	dopravník kalu	V-117	dmychadlo
B-105	zásobník kalu	C-118	filtry NO _x
X-106	dávkovací armatura	A-119	komín
C-107	pyrolýzní reaktor	K-150	havarijní odtah spalín (havarijní servo)
O-100,101	zásobník odpad 1 a 2	V-121	cyklonový odlučovač
O-102	zásobník čpavku	V-122	dmychadlo
X-110	dávkovací armatura	K-151	klapka ohřevu spalín
H-111	chlazený dopravník tuhého zbytku	B-102	zásobník chladicí vody
K-112	zásobník tuhého zbytku	CH-100	čerpadlo chlazení
D-113	spalovací komora	K-153	ventil regulace teploty
		C-132	tlačový vzduchojem, kompresor

LEGENDA					
	číslo proudu		teplota (zobrazení, zápis)		hadina (zobrazení, zápis)
	teplota (°C)		teplota (zobrazení, zápis, regulace)		hadina (zobrazení, zápis, regulace)
	přetlak (kPa)		tlak (zobrazení, zápis)		frekvence otáčení (zobrazení, zápis)
	průtok (kg/h)		tlak (zobrazení, zápis, regulace)		frekvence otáčení (zobrazení, zápis, regulace)
	tepelný výkon (kW)		průtok (zobrazení, zápis)		relativní vlhkost (zobrazení, zápis)
			průtok (zobrazení, zápis, regulace)		směření plynu (zobrazení, zápis, regulace)