



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET  
UNIVERSITY OF ZAGREB  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

# Termička obrada mulja

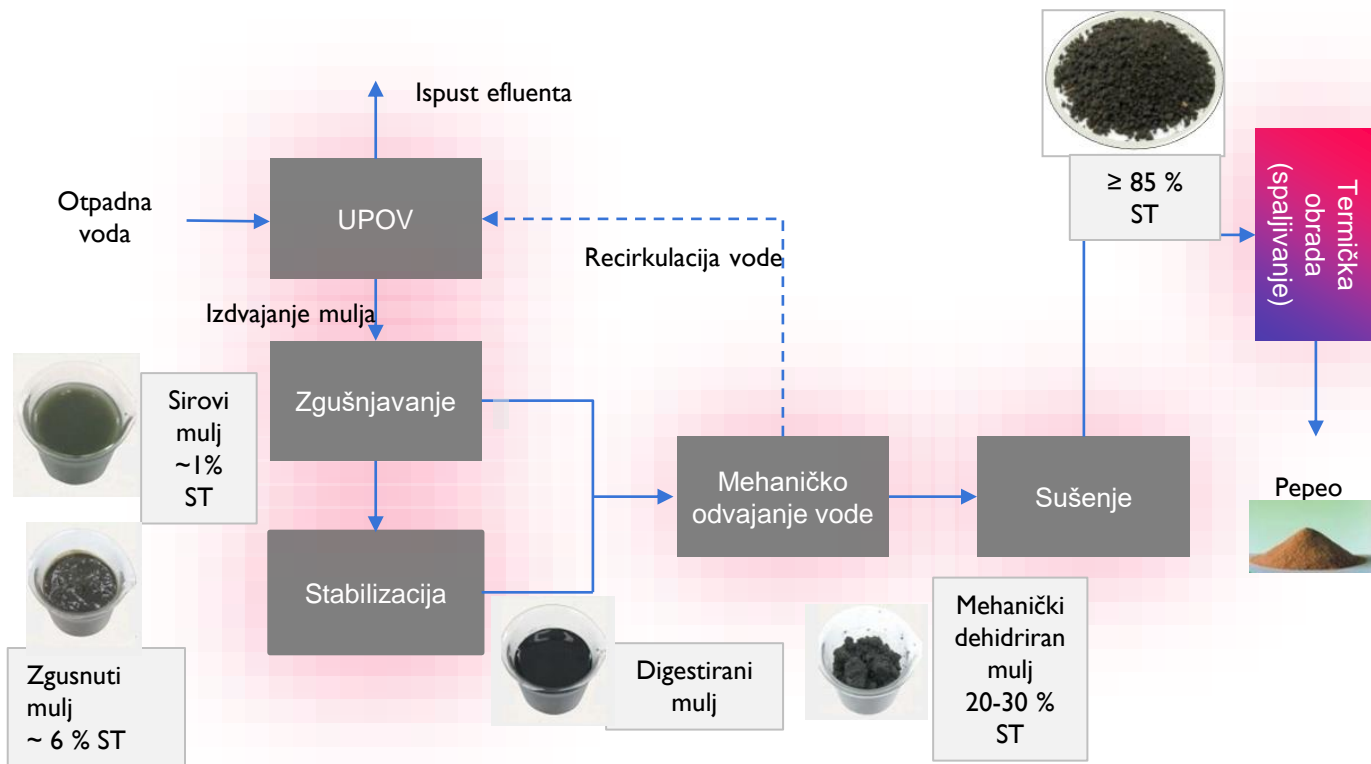
BRAVOBRICK

Andelina Bubalo | Dražen Vouk | Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu  
8. veljače 2024.





# Uvod



## Sušenje mulja:

---

- X 1. konvencionalno
- X 2. mikrovalno
- X 3. solarno





## Konvencionalno sušenje

- X Raspon temperature: 50 °C ~ 260 °C
- X Snaga: 2100 W
- X Kapacitet: 240 l



# Udio oksida u suhim muljevima sušenim MW i CO metodom atomske apsorpcijske spektroskopije (AAS)

Oksidi	SS KA CO	SS KA MW	SS ZG CO	SS ZG MW
wt.%				
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.69	0.68	1.19	0.64
<b>MgO</b>	1.10	2.03	2.43	1.95
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2.16	1.89	3.31	3.66
<b>CaO</b>	16.70	11.65	12.02	9.96
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.72	0.86	0.95	0.96
<b>SiO<sub>2</sub></b>	15.00	16.99	22.64	17.91
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	5.26	4.41	5.1	3.03
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.36	0.50	0.54	0.52
<b>Ukupno oksida</b>	41.98	39.00	48.19	38.61
<b>Loss-on-ignition (LOI) 550 °C</b>	42.9	40.8	45.2	43.2
<b>Loss-on-ignition (LOI) 950 °C</b>	50.7	48.8	50.5	47.8

---

Spaljivanje suhog mulja

**X** osušenog konvekcijskom metodom sušenja

**X** osušenog mikrovalnom metodom sušenja

Uplinjavanje suhog mulja

**X** osušenog konvekcijskom metodom sušenja

**X** osušenog solarnom metodom sušenja





# Spaljivanje mulja



Testo 340  
(CO, NO, NOx,  
SO<sub>2</sub>)



Dräger X-pid® 9000/9500  
(HOS spojevi)

Pepeo iz procesa  
spaljivanja



Spaljivanje mulja u laboratorijskoj peći za žarenje



# Uplinjavanje

Čađa (ciklon)

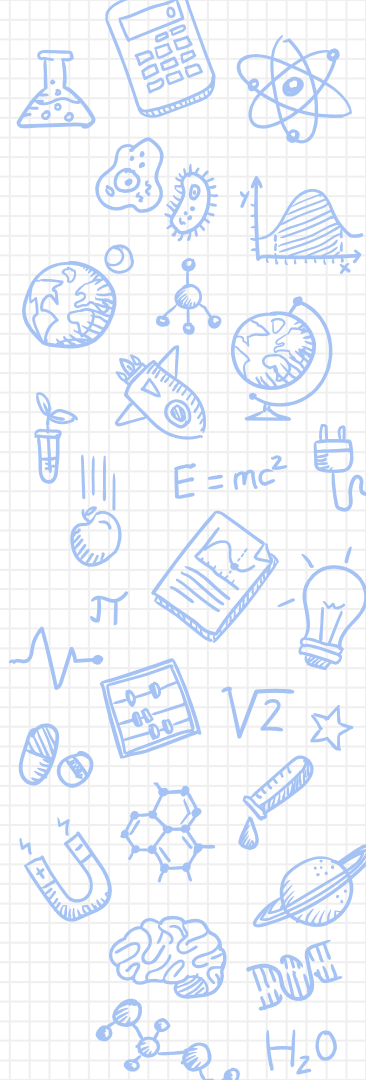


Pepec+čađa iz procesa  
uplinjavanja (s dna peći)



## Udio oksida u pepelu metodom atomske apsorpcijske spektroskopije (AAS)

Oksidi wt. %	KA			ZG		
	ISSA CO	GSSA CO	SSC FLY	ISSA ZG CO	GSSA CO	SSC FLY
K <sub>2</sub> O	1..26	1.71	0.21	1.51	2.54	1.06
MgO	2.68	2.85	0.08	4.31	6.12	0.89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.01	10.57	6.82	7.37	9.50	4.33
CaO	16.14	14.69	0.41	14.24	8.69	2.51
Na <sub>2</sub> O	0.67	1.33	0.04	1.11	2.89	0.98
SiO <sub>2</sub>	40.62	3.75	1.50	47.55	2.85	4.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.49	15.56	0.37	11.8	13..46	2.23
TiO <sub>2</sub>	1.12	0.44	0.00	1	0.45	0.06
Ukupno oksida	82.99	50.90	9.41	88.89	46.50	16.92



# Teški metali i ostali elementi određeni su metodom fluorescencije X-zraka (engl. X-ray Fluorescence, XRF)

		KA				ZG		
		GSSC (SOL)		GSSA (CO)	SSC FLY	ISSA 900	GSSC bott.	SSC FLY
		ISSA	Bott.	bott.				
K	%w	1.18	1.36	1.22	0.32	1.36	2.12	0.38
Ca	%w	10.78	9.94	18.79	0.85	8.32	8.26	2.38
Ti	mg/kg	3176.76	4297.41	4921.30	301.20	4160.12	6175.44	1563.91
V	mg/kg	86.91	88.72	117.73	<MDL	102.63	188.39	<MDL
Cr	mg/kg	187.75	196.97	<b>308.90</b>	207.99	84.19	<b>3195.59</b>	<b>2312.17</b>
Mn	mg/kg	461.91	325.93	606.40	111.71	950.46	<b>2279.01</b>	<b>1220.83</b>
Fe	%w	2.15	4.15	4.96	0.54	3.61	6.42	5.07
Ni	mg/kg	130.13	190.04	175.65	<b>414.24</b>	75.08	997.06	<b>1875.79</b>
Cu	mg/kg	227.77	268.95	329.73	427.22	310.74	404.93	241.75
Zn	mg/kg	2170.06	679.35	569.63	<b>38350.00</b>	931.26	761.46	<b>48360.00</b>
Ga	mg/kg	13.70	6.03	7.47	<b>443.13</b>	13.09	10.99	<b>424.85</b>
As	mg/kg	<1.0	13.82	18.35	<b>1281.73</b>	8.12	20.19	<b>&lt;4371.1</b>
Br	mg/kg	123.52	193.51	173.71	<b>1953.60</b>	72.69	161.66	<MDL
Rb	mg/kg	51.63	100.30	74.75	<MDL	62.44	115.94	19.38
Sr	mg/kg	275.32	345.53	426.41	17.09	208.40	313.43	63.70
Y	mg/kg	41.85	60.60	57.24	<MDL	51.69	72.18	<MDL
Zr	mg/kg	368.88	545.65	482.05	<MDL	341.49	426.35	<MDL
Pb	mg/kg	124.89	22.72	31.26	<b>5002.91</b>	244.09	34.00	<b>5757.80</b>
Th	mg/kg	6.45	<MDL	<MDL	<b>381.05</b>	9.84	8.29	<b>452.66</b>

pokazatelj i mjerna jedinica	Spaljivanje	Uplinjavanje		Spaljivanje	Uplinjavanje		Karakterizacija otpada – izluživanje prema Direktivi 2003/33/EC.		
	SSA ZG	SSA ZG	Lebdeće čestice iz ciklona	SSA KA	SSA ZG	Lebdeće čestice iz ciklona	Inertno	Netoksično	Toksično
As mg/L	<DL	<0.00005	<0.00005	<DL	<DL	<DL	0.5	2	25
Ba mg/L	2.502	<0.00035	0.142	1.524	1.071	<DL	20	100	300
Cd mg/L	0.000061	0.0002	0.005029	0.000019	<DL	0.0042	0.04	1	5
Co mg/L	<DL	<0.00015	0.07344	<DL	0.000584	0.01367	0.06	0.7	5
Cr mg/L	<DL			0.150	0.036	0.064	0.5	10	70
Cu mg/L	<DL	<0.0015	0.009	0.41	<DL	<DL	2	50	100
Hg mg/L		0.000021	0.000032				0.01	0,2	2
Mo mg/L	0.4539	<0.00003	0.00003	0.7927	0.08254	<DL	0.5	10	30
Ni mg/L	<DL	<0.00007	3.389	<DL	<DL	2.317	0.4	10	40
Pb mg/L	<DL	0.0000636	0.001949	<DL	0.000669	0.4409	0.5	10	50
Se mg/L	0.002149	0.004013	0.002691	0.001581	0.000425	0.009720	0.1	0,5	7
Zn mg/L	<DL			<DL	<DL	<b>69.2</b>	4	50	60
Cl <sup>-</sup> mg/L	250	<b>2180</b>	<b>3396</b>	422	<b>1570</b>	548	800	15000	25000
F <sup>-</sup> mg/L	0.88	0.38	3.37	1.39	0.68	3.38	10	150	500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	950	170	<b>1160</b>	<b>1300</b>	58	590	1000	20000	50000
DOC mg/L	12.54	8.059	20.13	15.13	5.916	2267	500	800	1000
TDS mg/L	1328	2470	3220	1239	1052	1233	4000	60000	100000

# H v a l a   n a   p a   ž   n j i   !

*Ovaj je rad financirala Hrvatska zaklada za znanost u okviru projekta "IP-2019-04-1169 – Zbrinjavanje pročišćenih zauljenih otpadnih voda i mulja s UPOV-a u opekarskoj industriji – proizvodnja novog opekarskog proizvoda u okviru kružne ekonomije".*