

Ekotehnoloģija – Pirolīzes procesa parametru fizikāli tehniskais pamatojums

Ecotechnnology – Physical and Technical Foundation of Pyrolyses Parameters

G. Noviks

Rēzeknes Augstskola

Atbrīvošanas aleja 90, Rēzekne, LV – 4600

e-mail: novik@ru.lv, tālr. 4625258

Abstract

The paper deals with the environmentally safe waste processing problem. The pyrolysis is one of the most prospective among different utilization methods of residuals. For hearing organic mass in the pyrolysis process up to 550°C author recommends to apply high frequency and high intensity electromagnetic fields. It is necessary to analyze relationships between waste electrical parameters and frequency of electromagnetic field to achieve optimal parameter of electromagnetic heating. For this purpose was worked out a device for measuring dielectric permittivity and dielectric losses in the range of electromagnetic frequencies between 0.05 – 50 MHz. The measurements were accomplished on the samplers composed of different quantity of organic and inorganic (dielectrics and conductors) materials.

The methodology of calculation optimal physical and technical squares for implementation of suggested technology was applied and experimental data were analyzed. The best parameters of electromagnetic field for pyrolysis of solid wastes is frequency $f=1,5 - 4 \cdot 10^6$ Hz and electric intensity $E=180 - 220$ kV/m and $E=390 - 40$ kV/m for waste of different composition.

Keywords: *ecotechnology, waste processing, pyrolysis of residuals.*

Ievads

Ekotehnoloģija ir vidi saudzējošā mazatkritumu resursus un enerģiju taupošā tehnoloģija ekoloģiski drošas produkcijas ieguvei.

Tas nozīmē, ka tā ir saistīta ar vidi draudzīgu atkritumu pārstrādāšanas veidu un metožu izstrādi.

Atkritumu pārstrādes tehnoloģiju izvēle savukārt sākas ar fizikālo un ķīmisko lauku un atkritumu komponentu savstarpējās iedarbības procesu izpēti [1], kuras rezultātā tiek pamatotas iespējamās un vairāk atbilstošās ekoloģiski tehnoloģiskajām prasībām alternatīvās tehnoloģijas. Izvēlētas tehnoloģijas tiek izvērtētas pēc ekonomiskajiem parametriem un rezultātā tiek pieņemta īstenošanai atbilstoši tagadējām ekonomiskajām iespējām un lietderīguma līmenim tehnoloģija.

Ekoloģiskais aspekts šajos aprēķinos ir noteicošais.

Cieto atkritumu pārstrādes realizēto metožu un tehnoloģiju analīze rāda, ka lielāko tiesu tās ir saistītas ar atkritumu organiskās daļas utilizāciju vai neitralizāciju. Viena no perspektīvajām metodēm ir atkritumu pirolīze, kuras rezultātā var iegūt augstvērtīgus produktus – gāzveida un šķidro kurināmo, sveķus, puskoksu [2].

Pirolīzes produktu kvalitāte ir atkarīga no pārstrādājamo atkritumvielu karsēšanas režīmiem un pirmām kārtām no masas sakarsēšanas vienmērīguma un dziļuma.

Tradicionālās tiešās kontakta shēmās tāda režīma nodrošināšana ir apgrūtināta un ilglaicīga, jo procesu limitē atkritumvielu zema siltumvadāmība λ un temperatūrvadāmība a . Toties zināms, ka materiāla ātrai un vienmērīgai visas masas dziļumā sakarsēšanai efektīvi izmanto augstfrekvences elektromagnētiskos laukus. [3]

Šajā gadījumā noteicošie faktori ir vielu elektriskās īpašības – dielektriskā caurlaidība ϵ un dielektrisko zudumu leņķis $\text{tg}\delta$, kā arī elektriskā lauka parametri – frekvence f un intensitāte E . Mūsu pētījumi par augstfrekvences un augstsprieguma elektromagnētiskā lauka

izmantošanu cieto atkritumu pārstrādē [4], pierādīja tādas tehnoloģijas principiālu iespējamību un priekšrocības salīdzinājumā ar tradicionālām karsēšanas metodēm.

Lai tehniski realizētu šo tehnoloģiju, nepieciešams atrast procesa optimālos režīmus un parametrus.

Šim nolūkam var būt izmantota mūsu izstrādātā kompleksā ekotehnoloģiju analīzes metodoloģija [5].

Tehnoloģiju ekoloģizācijas uzdevums teorētiski var būt aprakstīts kā triju komponentu kompleksais risinājums:

- a) tehnoloģiskā procesa teorētiski tehniskās iespējamības lauka S_T noteikšana;
- b) sociāli ekonomiskā lietderīguma lauka S_S noteikšana;
- c) ekoloģiski drošā lauka S_E noteikšana.

Šos laukus var attēlot grafiski kā noslēgtās līnijas koordinātēs “efektivitāte E – stabilitāte t ” (efektivitāte + stabilitāte = ilgspējīgā attīstība) un analītiski kā šo līniju vienādojumus.

Ekoloģizācijas uzdevuma risinājums sastāv no tā laukuma izmēru un parametru noteikšanas, kas tiek pārklāts vienlaikus ar visiem pārējiem laukiem.

Ja teorētiski tehniskās iespējamības vienādojumi, kas norobežo tās lauku, ir

$$\begin{aligned} E_T' &= \varphi'(t) \\ E_T'' &= \varphi''(t) \end{aligned} \quad (1)$$

tad ar šīm līnijām ($t_2 - \max$; $t_1 - \min$) norobežotais lauks S_T :

$$S_T = \int_{t_2}^{t_1} \varphi'(t) dt - \int_{t_2}^{t_1} \varphi''(t) dt \quad (2)$$

vai

$$S_T = \frac{1}{2} \int_c \left(E_T' \frac{dE_T''}{dt} - E_T'' \frac{dE_T'}{dt} \right)$$

Attiecīgi sociāli ekonomiskā lietderīguma lauks un ekoloģiski drošais lauks:

$$S_S = \frac{1}{2} \int_c \left(E_S' \frac{dE_S''}{dt} - E_S'' \frac{dE_S'}{dt} \right) \quad (3)$$

$$S_E = \frac{1}{2} \int_c \left(E_E' \frac{dE_E''}{dt} - E_E'' \frac{dE_E'}{dt} \right) \quad (4)$$

Efektivitātes rādītājs teorētiski tehniskās iespējamības laukā var būt pieņemts kā teorētiskais procesa lietderības koeficients, sociāli ekonomiskajā laukā – ekonomiskais efekts, ekoloģiskajā laukā – vides kvalitātes indikators.

Stabilitātes rādītājs – laika posms, kurā tiek nodrošināta attiecīgā efektivitāte.

Risinot kompleksā visus trīs vienādojumus, var noteikt lauku S_O un tā ΔE_{opt} un Δt_{opt} robežas.

Analizējamo problēmu izskatīsim tikai ekoloģiski drošā lauka robežās, kuras attiecīgi ir limitētas iespējamo tehnisko risinājumu ietvaros.

Tad

$$S_O^{E_T} = \int_{t_6}^{t_3} [f_1(E_E) dt - f_2(E_E) dt] - \int_{t_5}^{t_3} [f_4(E_T) dt - f_2(E_E) dt] - \int_{t_6}^{t_4} [f_1(E_E) dt - f_3(E_T) dt] \quad (5)$$

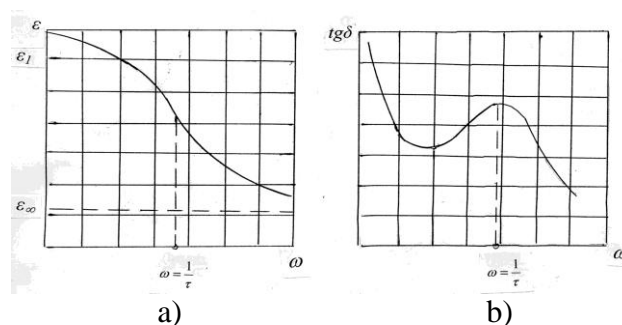
Materiāli un metodes

Vielu elektromagnētiskā lauka iedarbības rezultātā izdalītais siltuma daudzums var būt aprēķināts pēc formulas

$$q=55,6 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot E^2 \cdot 10^{-12} \text{J/m}^3 \cdot \text{sek} \quad (6)$$

Vienlaikus dielektriskā caurlaidība ε , tā dielektriskie zudumi $\operatorname{tg} \delta$ mainās atkarībā no lauka frekvences. Tāpēc, lai nodrošinātu optimālos karsēšanas režīmus elektromagnētiskajā laukā, nepieciešams noteikt šī procesa teorētiski tehniskās iespējamības lauku S_T , kas norobežo optimālo un tehniski realizējamo elektromagnētiskā lauka zonu.

Reālās vielās sakarā ar struktūras un sastāva daudzveidību teorētiskās ε un $\operatorname{tg} \delta$ līknes atkarībā no f (att.1) diezgan reti atbilst faktiskajām.



1.attēls a) teorētiskā likumsakarība starp dielektrisko caurlaidību ε un elektriskā lauka

$$\text{frekvenci } \omega \text{ (}\tau \text{ – materiālu daļiņu relaksācijas laiks) } \varepsilon = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau^2};$$

b) teorētiskā likumsakarība starp dielektrisko zudumu leņķa tangensu un elektriskā lauka

$$\text{frekvenci } \omega \text{ (}\rho \text{ – materiāla elektrovadītspēja) } \operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_{\infty} \omega \tau}{\varepsilon_1 + \varepsilon_{\infty} \omega^2 \tau^2} + \frac{4\pi\rho}{\omega(\varepsilon_1 + \varepsilon_{\infty} \omega^2 \tau^2)} \cdot 1$$

Cietie atkritumi sastāv no daudzu vielu maisījuma, kurā ir kā vielas ar augstiem ε un $\operatorname{tg} \delta$ radītājiem, tā arī ar zemiem. Līdz ar to arī sakarsēšanas laiks elektromagnētiskajā laukā katrai komponentei būs savs. Tanī pat laikā apstrādāšanas procesam tiek pakļauta visa atkritumu masa.

Pēdējais faktors norāda uz to, ka pētījumiem ir lietderīgi izvēlēties speciāli sagatavotas mākslīgās kompozīcijas, kuras var kalpot kā atkritumvielu modeļi elektromagnētiskā lauka iedarbības pētīšanai.

Atkritumvielu neorganiskā sastāvdaļa tika modelēta ar minerālvielām, kuru elektriskās īpašības aptver visu tipisko cieto atkritumu īpašību diapazonu - marmors, kvarca smiltis – kā tipiski dielektriķi, māla slāneklis – pusvadītājs un magnetīts - vadītājs.

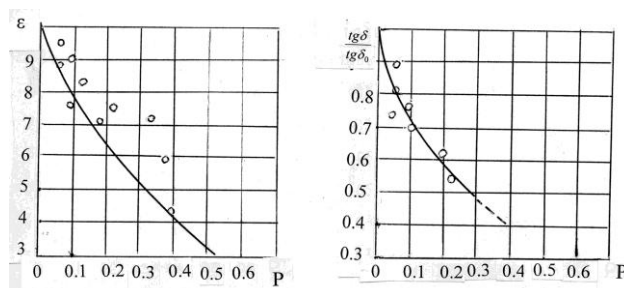
Organiskā sastāvdaļa tika modelēta ar kūdras un brūnogļu maisījumiem. Izejvielas tika sasmalcinātas līdz daļiņu izmēriem 1-2 mm un izveidoti šāda sastāva paraugi (1.tabula).

1.tabula

Kompozīcijas sastāvs

Parauga Nr.	Sastāvs				
	Organiskais maisījums	Māla slāneklis	Marmors	Kvarcs	Magnetīts
1.	100	-	-	-	-
2.	-	100	-	-	-
3.	20	20	40	-	10
4.	40	20	20	10	20
5.	40	30	-	30	-

Paraugi tika izgatavoti no sausā izejvielu maisījuma tos sablīvējot tā, lai to blīvums būtu apmēram 700 kg/m^3 , jo kā to parādīja mūsu pētījumi (att.2) [6], materiālu elektriskās īpašības ir stipri atkarīgas no to porainības.



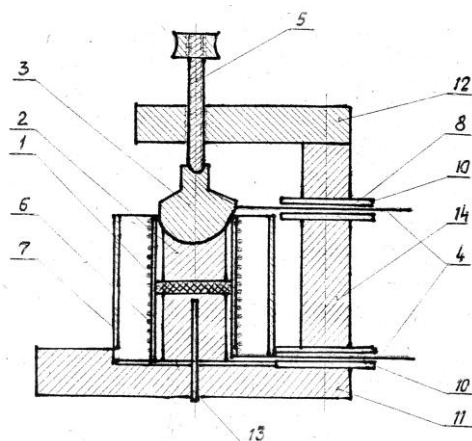
2.attēls. Materiālu ϵ un $\text{tg}\delta$ atkarība no porainības P [6] punkti – eksperimentālie dati;

līknes - teorētiskie aprēķini: $\epsilon = \epsilon_0^{1-P}$; $\frac{\text{tg}\delta}{\text{tg}\delta_0} = \epsilon_0 \frac{1-P}{P(1-\epsilon_0) + \epsilon_0}$

Paraugu skaits katram mērījumam tika izvēlēts atbilstoši iepriekš aprēķinātam šo īpašību variācijas koeficientam – $k_{\text{var}}=25\%$, kas nosaka atbilstoši varbūtības teorijai nepieciešamo paraugu skaitu 5.

No sablīvētā materiāla tika izveidoti diski ar diametru 42 mm un biezumu 6-8 mm. Paraugu izmēri tika izvēlēti izejot no nepieciešamības izvairīties mērījumos no malas efekta, kas dod nevienmērīgu elektriskā lauka sadalījumu paraugā un līdz ar to pazemina mērījumu rezultātu precizitāti. Mērījumi tika veikti, ievietojot paraugu speciālā turētājā - kondensatorā starp diviem mīkstiem elektrodiem izgatavotiem no svina folijas uzlīmētas uz gumijas pamatnes 5 mm biezumā.

Tā kā paraugi neskatoties uz sablīvējumu ir diezgan irdeni, tad šis kondensators tika ievietots speciālā cilindrā (3.att.), izgatavotā no sitāla, kam piemīt ļoti maza dielektriskā caurlaidība un dielektriskie zudumi.



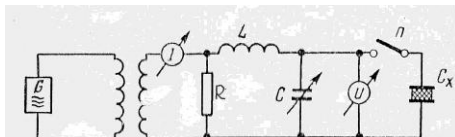
3.attēls. Elektrisko īpašību (ϵ , $\text{tg}\delta$, ρ) mērīšanas iekārta temperatūras diapazonā līdz 300°C .

1 – paraugs; 2 – sitāla paplāksne; 3 – sitāla stienis; 4 – elektrodi; 5 – piespiedējskrūve; 6 – iekšējais cilindrs; 7 – ārējais cilindrs; 8 – sildelements; 9 – kausētā kvarca stieņi; 10 – kausētā kvarca caurulītes; 11 – dielektriskā pamatne; 12 – 14 – kronšteins, 13 – termopāris.

Dielektriskās caurlaidības ϵ un $\text{tg}\delta$ izmērīšanai tika izmantota standarta aparatūra – kumetri E-9-4 un BM-211, kuri strādā uz divu elektrisko kontūru (iekšējā un ārējā) rezonanses pamata (att.4). Kondensators ar paraugu tiek ieslēgts ārējā kontūrā. Pie attiecīgās

izvēlētās elektriskās lauka frekvences ar kumtru nosaka, pirmām kārtām, ārējā elektriskā kontūra rezonanses kapacitāti C_1 un elektrisko labumu Q -faktoru Q_1 , kad kondensators tukšs – starp elektrodiem nav parauga.

Pēc tam kondensatorā tiek ievietots paraugs un izmērīta rezonanses kapacitāte C_2 un Q -faktors Q_2 kontūram ar paraugu.



4.attēls. Q –metra principiālā shēma, σ - frekvences elektriskā lauka ģenerators; C_x – materiāla paraugs

Dielektriskā caurlaidība ϵ tiek aprēķināta pēc formulas :

$$\epsilon = \frac{C_1 - C_2}{\epsilon_0 \cdot S} \quad (7)$$

kur $\epsilon_0 = 8,885 \cdot 10^{-12}$ F/m – vakuuma elektriskā konstante.

Dielektrisko zudumu leņķis $\text{tg}\delta$:

$$\text{tg}\delta = \frac{C_1(Q_1 - Q_2)}{(C_1 - C_2)Q_1 \cdot Q_2} \quad (8)$$

Mērījumu rezultātu sistemātiskās kļūdas galvenais avots ir parauga kontakta ar elektrodiem apstākļi, jo ļoti grūti ir nodrošināt pilnīgu elektrodu piegulšanu virsmai.

Līdz ar to izmērītie ϵ un $\text{tg}\delta$ vienmēr ir pēc mūsu aprēķiniem par 10-17% zemāki par reālajiem.

Tā kā mūsu pētījumu uzdevums bija izanalizēt parametru atkarību no lauka frekvences, šī kļūda ir pilnīgi pieļaujama. Elektriskie parametri tika mērīti elektromagnētiskā lauka frekvences izmaiņu diapazonā no 0,05 līdz 50 MHz.

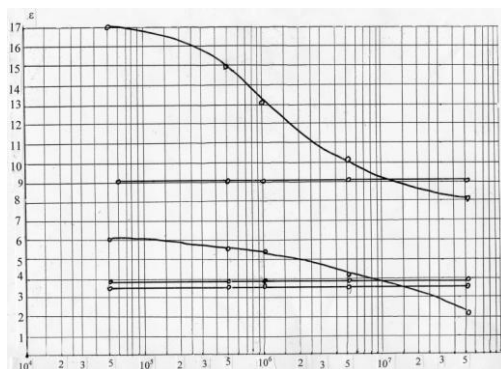
Rezultāti un to analīze

Dielektriskās caurlaidības ϵ un $\text{tg}\delta$ mērījumu rezultāti parādīti 2.tabulā. Kā redzams, (5.att) izpētītā frekvenču diapazonā kompozīcijām Nr.3, 4, 5 dielektriskā caurlaidība nemainās, pie tam vismazākā tā ir paraugiem Nr.3 un Nr.5 (3,5-3,8) un vislielākā paraugam Nr.4 (9,0).

2.tabula

Kompozītu dielektriskā caurlaidība un dielektrisko zudumu leņķis

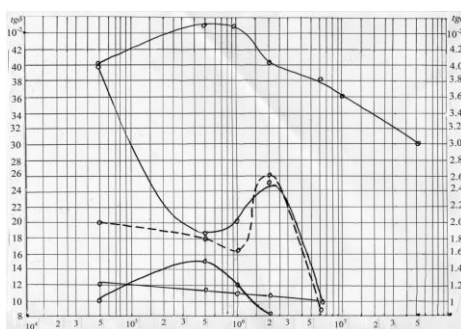
Paraugu Nr.	Parametrs	Elektriskā lauka frekvence, MHz						
		0.005	0.5	1	2	5	10	50
1.	ϵ	6	5.5	5.2	4.9	4	3.7	2
	$\text{tg}\delta$	0.1	0.15	0.12	0.09	0.08	0.08	0.085
2.	ϵ	17	15	13	11.5	10	9	8
	$\text{tg}\delta$	0.4	0.45	0.45	0.4	0.38	0.36	0.3
3.	ϵ	0.02	0.018	0.016	0.026	0.001	0.001	0.001
	$\text{tg}\delta$	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
4.	ϵ	9	9	9	9	9	9	9
	$\text{tg}\delta$	0.04	0.018	0.020	0.025	0.008	-	-
5.	ϵ	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-
	$\text{tg}\delta$	0.012	0.0116	1.1	1.05	0.8	-	-



5.attēls. Dielektriskās caurlaidības ϵ atkarība no lauka frekvences

Toties māla slāneklim (Nr.2) un organisko vielu maisījumam (Nr.1) dielektriskā caurlaidība pazeminās palielinoties elektriskā lauka frekvencei.

Daudz sarežģītākas ir sakarības starp $\text{tg}\delta$ un lauka frekvenci (6.att.).



6.attēls. Dielektrisko zudumu $\text{tg}\delta$ atkarība no frekvences

Visos gadījumos ir vērojami $\text{tg}\delta$ maksimumi, pie tam katram paraugam savā frekvenču diapazonā. Vismazāk izteikts maksimums ir paraugam Nr.5. Pie tam vislielākie dielektriskie zudumi ir noteikti māla slāneklim (0,4 - 0,3) un organisko vielu maisījumam (0,1 - 0,08), desmitkārt mazāki tie ir paraugam Nr.5 (0,012 - 0,008).

Mērījumu rezultāti rāda, ka kompozīcijām piemīt liela elektrisko īpašību daudzveidība, kas nosaka elektriskā lauka parametru un darbības režīmu optimizācijas nepieciešamību katram konkrētajam uzņēmumam.

Vienādojums (6) norāda uz to, ka siltuma izdale materiālā ir tieši proporcionāla abu elektrisko parametru reizinājumam $\epsilon \cdot \text{tg}\delta$. Salīdzinot šos reizinājumus pie dažādām lauka frekvencēm (tab.3) var secināt, ka tie lielāki kompozītmateriālu daļai samazinās, palielinoties frekvencei. Maksimumi uz līknēm ir vērojami tikai paraugiem Nr.3 un Nr.4 frekvenču diapazonā $10^6 - 2 \cdot 10^6$ Hz.

Reizinājuma $\varepsilon \times \text{tg}\delta$ izmaiņu atkarība no frekvences

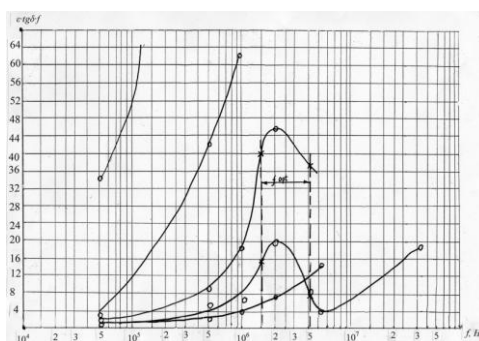
f, Hz	$5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^5$	10^6	$2 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	10^7	$5 \cdot 10^7$
1.	0.6	0.825	0.624	0.392	0.32	0.296	0.17
2.	6.8	6.75	5.85	4.6	3.8	3.24	2.4
3.	0.076	0.068	0.061	0.099	0.0038	0.0038	0.0038
4.	0.36	0.162	0.18	0.225	0.072	-	-
5.	0.042	0.0406	0.0385	0.0368	0.028	-	-

Tomēr uz šo datu pamata secināt par lielāku siltuma izdalīšanās efektivitāti elektromagnētiskā lauka zemākas frekvences diapazonā nebūs pareizi, jo siltuma izdole ir atkarīga ne tikai no materiāla īpašībām, bet arī no lauku parametriem f un E . Tāpēc bija veikta reizinājuma $\varepsilon \cdot \text{tg}\delta \cdot f$ analīze atkarībā no lauka frekvences. Šajā gadījumā ir vērojama (4.tabula, 7.attēls) kompleksā parametra $b = \varepsilon \times \text{tg}\delta \times f$ strauja izaugsme palielinoties frekvencei. Pie tam paraugos Nr. 1; 2 un 5 šī izaugsme ir nepārtraukta, paraugos Nr.3 un 4 – ar maksimumiem frekvenču diapazonā $1,5 \cdot 10^6 - 4 \cdot 10^6$ Hz. Izejot no šiem datiem ierobežosim teorētiski tehniskās iespējamības lauku cieto atkritumvielu elektromagnētiskajai pirolīzei kā pēc frekvences, tā arī pēc elektriskā lauka intensitātes E .

4.tabula

Reizinājuma $\varepsilon \times \text{tg}\delta \times f$ izmaiņu atkarība no frekvences

f, Hz	$5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^5$	10^6	$2 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	10^7	$5 \cdot 10^7$
1.	$3 \cdot 10^4$	$41.25 \cdot 10^4$	$62.4 \cdot 10^4$	$78.4 \cdot 10^4$	$160.4 \cdot 10^4$	$296 \cdot 10^4$	$850 \cdot 10^4$
2.	$3 \cdot 10^4$	337.5	585	920	1900	3240	$12000 \cdot 10^4$
3.	$0.38 \cdot 10^4$	3.4	6.1	19.8	1.9	3.8	1.9
4.	$1.8 \cdot 10^4$	8.1	18	45	36	-	-
5.	$0.21 \cdot 10^4$	2.03	3.85	7.36	14	-	-

7.attēls. Reizinājuma $\varepsilon \times \text{tg}\delta \times f$ atkarība no lauka frekvences

Mūsu iepriekšējie pētījumi pierādīja, ka nepieciešamais siltuma daudzums, lai sakarsētu atkritumvielas līdz temperatūrai 550°C , sastāda $1,7 \text{ MJ/kg}$ [4]. Sakarsēšanas laiks, nepieciešamais, lai pilnībā norisētu visas materiāla pirolīzes reakcijas, nedrīkst būt mazāks par 20 minūtēm.

Pieņemsim aprēķinos siltuma izdales laika robežas 20 un 30 minūtes.

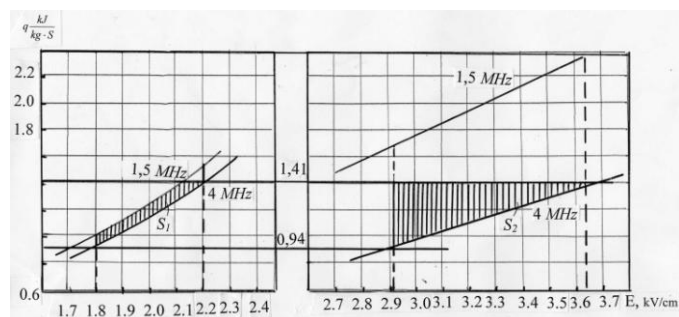
No šejienes aprēķinam nepieciešamo siltuma daudzumu, kam jāizdalās katrā materiāla kg vienas stundas laikā: ja $t=20$ min – $q=1,42$ kJ/sek·kg, ja $t=30$ min – $q = 0,94$ kJ/sek·kg.

Piedāvātā pirolīzes iekārtā [4] tiek projektēts pirolizējamā materiāla slāņa biezums uz konveijera lentes 15 – 20 cm.

Aprēķināsim siltuma daudzumus, kuri izdalās pie $f_{opt}^{min}=1,5 \cdot 10^6$ Hz un $f_{opt}^{max}=4 \cdot 10^6$ Hz.

Paraugam Nr.4 pie $f_{opt}^{min} \varepsilon \cdot tg\delta \cdot f=4 \cdot 10^5$, pie $f_{opt}^{max} - 3,8 \cdot 10^5$, paraugam Nr.3 attiecīgi $1,4 \cdot 10^5$ un $0,8 \cdot 10^5$.

Aprēķinātā tādā veidā likumsakarība starp siltuma daudzumu q , kas izdalās šajos divos materiālos pie attiecīgajām frekvencēm un elektriskā lauka intensitāti E dota 8.attēlā.



8.attēls. Fizikāli tehniskie elektromagnētiskās atkritumu pirolīzes optimālie lauki S_1 un S_2

Tā kā nepieciešamais siltuma daudzums atrodas robežās 1,42 un 0,94 kJ/sek·kg, tad novelkot uz grafika attiecīgās horizontālās līnijas var norobežot uz līknēm maksimālos un minimālos elektriskā lauka intensitātes lielumus, kuri nodrošina siltuma izdalīšanās optimālos režīmus karsējamā intervālā.

Līdz ar to vienādojumi:

$q_1=2,224 \cdot 10^{-5} \cdot E^2$ J/m³·sek un $q_2=2,1128 \cdot 10^{-5} \cdot E^2$ J/m³·sek norobežo paraugu Nr.3 fizikālā lietderīguma lauku, bet vienādojums $q_3=0,7784 \cdot 10^{-5} \cdot E^2$ J/m³·sek un $q_4=0,4488 \cdot 10^{-5} \cdot E^2$ J/m³·sek norobežo paraugu Nr.4 fizikālā lietderīguma lauku.

Otrā vienādojumu grupa, kas norobežo tehniskā lietderīguma lauku, ir horizontālās līnijas $q'=0,94$ kJ/kg·sek un $q''=0,94$ kJ/kg·sek.

Līdz ar to vienkāršojas šo vienādojumu sistēmas risinājums. Racionālais no ekoloģiskā viedokļa elektriskās intensitātes minimālais diapazons, kas spēj nodrošināt tehnoloģiskā procesa normālu norisi paraugam Nr.3 (8.att.) ir 1,8 – 2,2 kV/cm un paraugam Nr.4 – 3,9 – 4.6 kV/cm.

Redzams, ka šajā gadījumā nav nepieciešamības noteikt pilnu, norobežotās ar līnijām virsmas laukumu. Atkarībā no ievadītā uz konteineru materiāla elektriskajām īpašībām elektriskās intensitātes izmaiņas un to izturēšanu optimālajā diapazonā var automatizēt pat bez izmaiņām augstfrekvences ģeneratora darbā – tikai mehāniski regulējot karsējamā materiāla slāņa biezumu uz konveijera lentes.

Secinājumi

Ekotehnoloģijas attīstības nosacījums ir optimāli atrisināt atkritumvielu, kas veidojas tehnoloģiskajā procesā, pārstrādi un utilizāciju. Progresīvās atkritumu termiskās utilizācijas – pirolīzes metode pašlaik nav attīstīta, nedod augstas kvalitātes gala produktus un, ja tiek izmantotas materiāla karsēšanai parastās siltumiekārtas, tā veido papildus antropogēno slodzi uz vidi.

Mūsu pētījumos pierādīts, ka materiāla karsēšanai izmantojot augstfrekvences elektromagnētiskos laukus var novērst uzskaitītos trūkumus.

Tanī pat laikā optimālie iekārtas parametri ir atkarīgi no materiāla elektriskajām īpašībām, un to izmaiņām dažādas frekvences laukos. Lai izanalizētu un noteiktu optimālos elektromagnētiskā lauka režīmus bija veikti pētījumi, izmantojot komplekso ekotehnoloģiju analīzes metodoloģiju.

Uz eksperimentāli noteikto materiālu kompozīciju elektrisko īpašību un to izmaiņu atkarībā no elektriskā lauka frekvences pamata aprēķināti optimālās lauka frekvences un elektriskās intensitātes robežlielumi.

Visām atkritumvielām ar diezgan plašu īpašību svārstībām kā optimālo var rekomendēt frekvenču diapazonu no $1,5 \cdot 10^6$ līdz $4 \cdot 10^6$ Hz.

Atkritumvielām, kurās ir pārsvarā organiskās komponentes (>40%) un zemas elektrotestības minerālkomponenti elektriskās intensitātes E diapazons ir 180 – 220 kV/m.

Atkritumvielās, kur organiskā daļa sastāda 20% un mazāk un ir tikai 10% labi vadošo elektrību sastāvdaļu tiek rekomendēts pirolīzei izmantot elektrisko lauku ar intensitāti 390 – 460 kV/m .

Literatūra

1. Новик Г. Я., Ржевская С. В. Физико-техническое обеспечение горного производства. М.: Наука, 1995, 255 стр.
2. Бобович Б. Б., Девяткин В. В. Переработка отходов производства и потребления. М.: Интернет инженеринг, 2000, 420 стр.
3. Новик Г. Я. Химические основы комплексной переработки минерального сырья. М.: МГИ, 1991, 42 стр.
4. G. Noviks, Cieto atkritumu pārstrādes ekotehnoloģija. Tradicionālas un novatoriskais sabiedrības ilgtspējīgā attīstībā. Starptautiskās zinātniskās konferences materiāli, 2002. g. 28. febr. – 2. marts. Rēzekne, 2002, lpp. 83-95.
5. Ekotehnoloģiju parametru kompleksās analīzes sistēmas pilnveidošana. Rēzeknes Augstskolas Raksti, Rēzekne, 2003.
6. Новик Г. Я., Зильбершмидт М. Г. Управление свойствами пород в процессах горного производства, М. Недрa, 1994, 224 стр.