



Μάθημα:
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ Ι

Εργαστηριακή Άσκηση 1^η. Βελτιστοποίηση Αντιδραστήρα Διαλείποντος Έργου (Batch Reactor) για την Αξιοποίηση Βιομάζας

Φοιτητής: Δημήτρης Σιδηράς

ΑΜ φοιτητή: -----

11/3/2021

Επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων

Θα πρέπει να παραθέσετε τα πειραματικά σας αποτελέσματα σε πίνακες, καθώς και σε διαγράμματα.

Πίνακας 1. Για το στάδιο της προθέρμανσης $T_e > T$. Η θερμοκρασία στον controller τέθηκε ίση με 180°C (setpoint)

$t_{\text{πειρ}} \text{ min}$	$T \text{ }^{\circ}\text{C}$	$(T_e - T)$	$\ln(T_e - T)$
0	19,8	161,9	5,087
1	19,9	161,7	5,086
2	20,0	161,7	5,085
3	20,1	161,5	5,084
4	20,6	161,0	5,082
5	21,1	160,5	5,078
6	22,2	159,5	5,072
7	23,4	158,2	5,064
8	25,4	156,2	5,051
9	27,8	153,9	5,036
10	31,0	150,6	5,014
11	35,2	146,5	4,987
12	40,9	140,7	4,947
13	47,8	133,8	4,897
14	55,2	126,4	4,839
15	62,2	119,4	4,783
16	69,3	112,3	4,721
17	76,4	105,2	4,656
18	83,1	98,5	4,590
19	90,2	91,5	4,516
20	97,3	84,3	4,435
21	104,1	77,5	4,350
22	110,5	71,2	4,265
23	116,0	65,6	4,183
24	120,9	60,7	4,106
25	124,7	57,0	4,043
26	128,3	53,4	3,977
27	131,6	50,1	3,913
28	134,7	46,9	3,849
29	137,7	44,0	3,783
30	140,6	41,0	3,713
31	143,5	38,2	3,642
32	146,1	35,5	3,571
33	148,8	32,9	3,492
34	151,3	30,3	3,411
35	153,9	27,8	3,323
36	156,4	25,2	3,227

37	158,8	22,8	3,128
38	161,1	20,6	3,023
39	163,4	18,2	2,903
40	165,6	16,0	2,771
41	167,8	13,9	2,630
42	169,8	11,8	2,469
43	171,8	9,8	2,287
44	173,7	7,9	2,068
45	175,5	6,2	1,820
46	177,2	4,5	1,496
47	178,6	3,0	1,096

Όπου T_e = τελική θερμοκρασία, T_0 = αρχική θερμοκρασία και β = σταθερά ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας.

$$T_{\theta\omega\rho} = T_e - (T_e - T_0) \cdot e^{-\beta \cdot t} \quad (1)$$

Αν θεωρήσουμε ως γενικό υπόδειγμα παλινδρόμησης τη γραμμική (ή γραμμοποιημένη) σχέση

$$y = A_0 + A_1 \cdot x$$

όπου $x=t$ και $y=\ln(T_e-T)$ τότε

$$\ln(T_e - T) = \ln(T_e - T_0) - \beta \cdot t \quad (2)$$

$$\beta = -A_1,$$

$$\ln(T_e - T_0) = A_0 \Rightarrow T_e - T_0 = e^{A_0} \Rightarrow T_0 = T_e - e^{A_0} \quad (3)$$

Η τιμή T_e έχει προσδιοριστεί πειραματικά εκ των προτέρων (ως ο μέσος όρος των μετρήσεων του T του ισοθερμοκρασιακού τμήματος, και για τα συγκεκριμένα δεδομένα για το χρονικό διάστημα από 48 έως 98 min) και εισάγεται εξωγενώς στο υπόδειγμα, άρα και στη γραμμοποιημένη σχέση της παλινδρόμησης.

$$T_e = 181,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\beta = -A_1 = 0,07404$$

$$A_0 = 5,691$$

$$T_e - T_0 = 296,2$$

$$T_0 = -114,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$n_1 = 48$$

n_1 =Αριθμός δεδομένων Πίνακα 1.

Πίνακας 2

t_{πειρ} (min)	T °C	T_{θεωρ}
0	19,8	
1	19,9	
2	20,0	
3	20,1	
4	20,6	
5	21,1	
6	22,2	
7	23,4	
8	25,4	
9	27,8	29,5
10	31,0	40,4
11	35,2	50,4
12	40,9	59,8
13	47,8	68,5
14	55,2	76,6
15	62,2	84,1
16	69,3	91,0
17	76,4	97,5
18	83,1	103,5
19	90,2	109,1
20	97,3	114,3
21	104,1	119,1
22	110,5	123,5
23	116,0	127,7
24	120,9	131,5
25	124,7	135,1
26	128,3	138,4
27	131,6	141,5
28	134,7	144,4
29	137,7	147,0
30	140,6	149,5
31	143,5	151,8
32	146,1	153,9
33	148,8	155,9
34	151,3	157,7
35	153,9	159,4
36	156,4	161,0
37	158,8	162,5
38	161,1	163,9
39	163,4	165,1
40	165,6	166,3
41	167,8	167,4
42	169,8	168,4

43	171,8	169,4
44	173,7	170,2
45	175,5	171,0
46	177,2	171,8
47	178,6	172,5
48	180,0	173,1
49	181,1	173,8
50	182,1	174,3
51	182,9	174,8
52	183,6	175,3
53	184,2	175,8
54	184,6	176,2
55	184,8	176,6
56	185,0	176,9
57	185,1	177,3
58	185,1	177,6
59	185,1	177,9
60	185,0	178,1
61	184,8	178,4
62	184,5	178,6
63	184,3	178,8
64	183,9	179,0
65	183,6	179,2
66	183,3	179,4
67	182,9	179,5
68	182,5	179,7
69	182,1	179,8
70	181,8	180,0
71	181,4	180,1
72	181,2	180,2
73	180,9	180,3
74	180,6	180,4
75	180,3	180,5
76	180,2	180,6
77	180,0	180,6
78	179,8	180,7
79	179,6	180,8
80	179,5	180,8
81	179,5	180,9
82	179,4	180,9
83	179,4	181,0
84	179,4	181,0
85	179,3	181,1
86	179,5	181,1
87	179,5	181,1
88	179,5	181,2
89	179,7	181,2
90	179,7	181,2
91	179,9	181,3
92	179,9	181,3

93	180,1	181,3
94	180,2	181,3
95	180,3	181,4
96	180,4	181,4
97	180,5	181,4
98	180,6	181,4
99	178,1	
100	159,6	
101	143,9	
102	131,0	
103	120,7	
104	111,9	
105	103,9	
106	96,8	
107	90,8	
108	85,3	
109	80,4	
110	76,0	
111	72,1	
112	68,5	
113	65,2	
114	62,0	
115	59,2	
116	56,5	
117	54,0	
118	51,9	
119	49,7	
120	47,8	
121	45,9	
122	44,2	
123	42,6	
124	41,1	
125	39,6	
126	38,4	
127	37,2	
128	36,1	
129	35,1	
130	33,8	
131	30,9	
132	29,9	
133	28,8	
134	28,2	
135	27,8	

Πίνακας 3. Για χρόνο προθέρμανσης 48 min. Το $y_e=46.0\%=0.460$ δίνεται εξωγενώς

$t_{\text{πειρ}}$ (min)	t (min)	y % w/w	$C_1=y-y_e$	$\ln C_1$	$C_{1 \text{ θεωρ}}$	$(C_1-C_{1, \text{θεωρ}})^2$
48	0	75%	0,290	-1,238	0,2722	0,0003153
58	10	60%	0,140	-1,966	0,1390	0,0000010
68	20	53%	0,070	-2,659	0,0710	0,0000010
78	30	49%	0,030	-3,507	0,0363	0,0000391
88	40	48%	0,020	-3,912	0,0185	0,0000022
98	50	47%	0,010	-4,605	0,0095	0,0000003
					SUM (άθροισμα)	0,08407
					s	0,1450

$$C_{1, \text{θεωρ}} = C_{10, \text{θεωρ}} \cdot e^{-k \cdot t} \quad (4)$$

$$\ln C_1 = \ln C_{10, \text{θεωρ}} - k \cdot t \quad (5)$$

$$C_{2, \text{θεωρ}} = C_{10, \text{θεωρ}} - C_{1, \text{θεωρ}} \quad (6)$$

Αν θεωρήσουμε ως γενικό υπόδειγμα παλινδρόμησης τη γραμμική (ή γραμμοποιημένη) σχέση $y = A'_0 + A'_1 \cdot x$

όπου $x=t$ και $y=\ln(C_1)$ τότε

$$\begin{aligned} \text{Σταθερά ταχύτητας αντίδρασης } k &= -A'_1, \\ \ln(C_{10, \text{θεωρ}}) &= A'_0 \Rightarrow C_{10, \text{θεωρ}} = e^{A'_0} \end{aligned}$$

$$\text{Τυπικό σφάλμα εκτίμησης: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{1i} - C_{1i, \text{θεωρ}})^2}{n-p}} \quad (7)$$

ή

$$n=6$$

$$p=2$$

$$f=n-p=6-2=4$$

$$s = \sqrt{\frac{SUM}{4}} \quad (7')$$

y_e	46,0%	$k=-A'_1$	0,06720		
		A'_0	-1,301	$C_{10,θεωρ}=\exp(A'_0)$	0,2722
$t_{προθ}$	48	R	-0,9969	R^2	0,9938

$$K_1 = B_1/C_{2,θεωρ} \quad (8)$$

Όπου K_1 : κόστος πρώτης ύλης σε €/tn και $B_1=45,00$ €/tn

$$K_2 = B_2 + B_3 \cdot t \quad (9)$$

Όπου : K_2 : κόστος ενέργειας, εργασίας και άλλα κόστη ανάλογα του χρόνου σε ν.μ.

t : χρόνος σε min

$B_2 = 50,00$ €/tn, $B_3 = 4,00$ €/(tn.min),

$$\text{και} \quad K = K_1 + K_2 \quad (10)$$

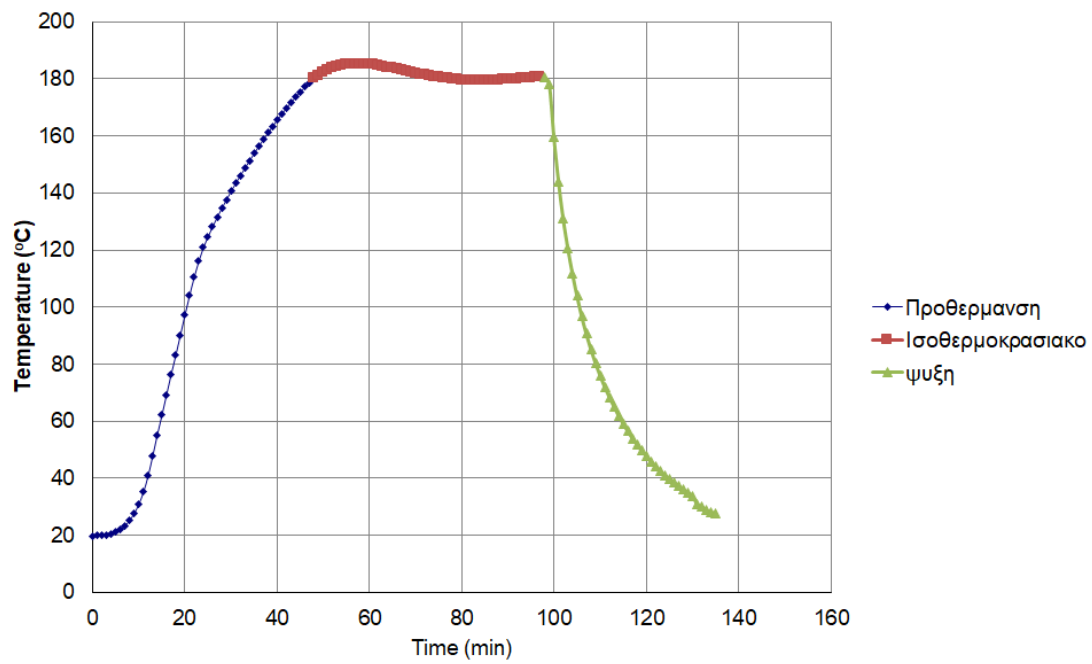
όπου: K = συνολικό κόστος σε €/tn

$$\text{απόδοση \%} = \frac{C_{2,θεωρ}}{C_{10,θεωρ}} \quad (11)$$

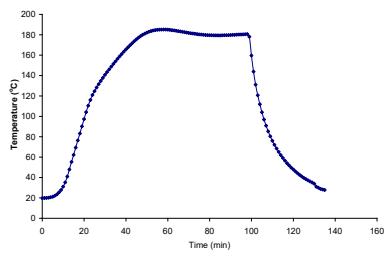
Πίνακας 4

t (min)	$C_{1\text{ θεωρ}}$	$C_{2\text{ θεωρ}}$	K_1 (€/tn)	K_2 (€/tn)	K (€/tn)	Απόδοση %
0	0,272	0,000				0,0%
1	0,255	0,018				6,5%
2	0,238	0,034				12,6%
3	0,223	0,050				18,3%
4	0,208	0,064				23,6%
5	0,195	0,078				28,5%
6	0,182	0,090				33,2%
7	0,170	0,102	440,469	78,000	518,469	37,5%
8	0,159	0,113	397,462	82,000	479,462	41,6%
9	0,149	0,124	364,212	86,000	450,212	45,4%
10	0,139	0,133	337,791	90,000	427,791	48,9%
11	0,130	0,142	316,334	94,000	410,334	52,3%
12	0,122	0,151	298,600	98,000	396,600	55,4%

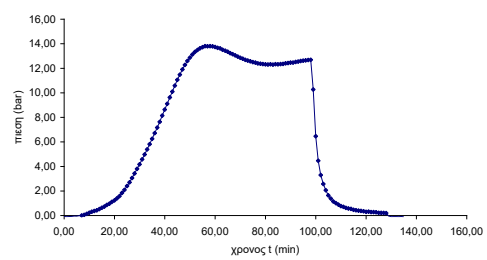
13	0,114	0,159	283,728	102,000	385,728	58,3%
14	0,106	0,166	271,102	106,000	377,102	61,0%
15	0,099	0,173	260,273	110,000	370,273	63,5%
16	0,093	0,179	250,903	114,000	364,903	65,9%
17	0,087	0,185	242,732	118,000	360,732	68,1%
18	0,081	0,191	235,559	122,000	357,559	70,2%
19	0,076	0,196	229,226	126,000	355,225	72,1%
20	0,071	0,201	223,604	130,000	353,604	73,9%
21	0,066	0,206	218,592	134,000	352,592	75,6%
22	0,062	0,210	214,105	138,000	352,105	77,2%
23	0,058	0,214	210,073	142,000	352,073	78,7%
24	0,054	0,218	206,438	146,000	352,438	80,1%
25	0,051	0,222	203,151	150,000	353,151	81,4%
26	0,047	0,225	200,171	154,000	354,171	82,6%
27	0,044	0,228	197,463	158,000	355,463	83,7%
28	0,041	0,231	194,997	162,000	356,997	84,8%
29	0,039	0,233	192,745	166,000	358,745	85,8%
30	0,036	0,236	190,687	170,000	360,687	86,7%
31	0,034	0,238	188,802	174,000	362,802	87,5%
32	0,032	0,241	187,073	178,000	365,073	88,4%
33	0,030	0,243	185,484	182,000	367,484	89,1%
34	0,028	0,245	184,023	186,000	370,023	89,8%
35	0,026	0,246	182,678	190,000	372,678	90,5%
36	0,024	0,248	181,437	194,000	375,437	91,1%
37	0,023	0,250	180,293	198,000	378,293	91,7%
38	0,021	0,251	179,236	202,000	381,236	92,2%
39	0,020	0,252	178,258	206,000	384,258	92,7%
40	0,019	0,254	177,354	210,000	387,354	93,2%
41	0,017	0,255	176,517	214,000	390,517	93,6%
42	0,016	0,256	175,741	218,000	393,741	94,1%
43	0,015	0,257	175,022	222,000	397,022	94,4%
44	0,014	0,258	174,355	226,000	400,355	94,8%
45	0,013	0,259	173,736	230,000	403,736	95,1%
46	0,012	0,260	173,161	234,000	407,161	95,5%
47	0,012	0,261	172,627	238,000	410,627	95,8%
48	0,011	0,261	172,131	242,000	414,131	96,0%
49	0,010	0,262	171,669	246,000	417,669	96,3%
50	0,009	0,263	171,240	250,000	421,240	96,5%



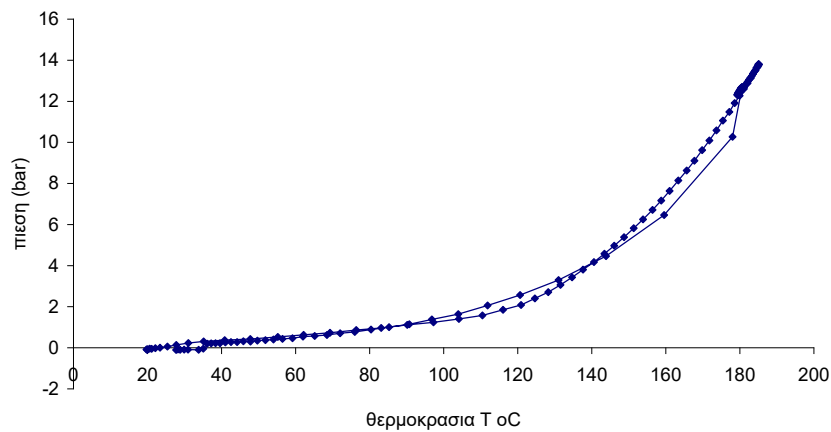
Σχήμα 0 των τριών σταδίων: Προθέρμανσης, ισοθερμοκρασιακό και ψύξης (δεν απαιτείται να κατασκευαστεί από τους φοιτητές, αρκεί αντ' αυτού το Σχ. 1α).



Σχ.1α

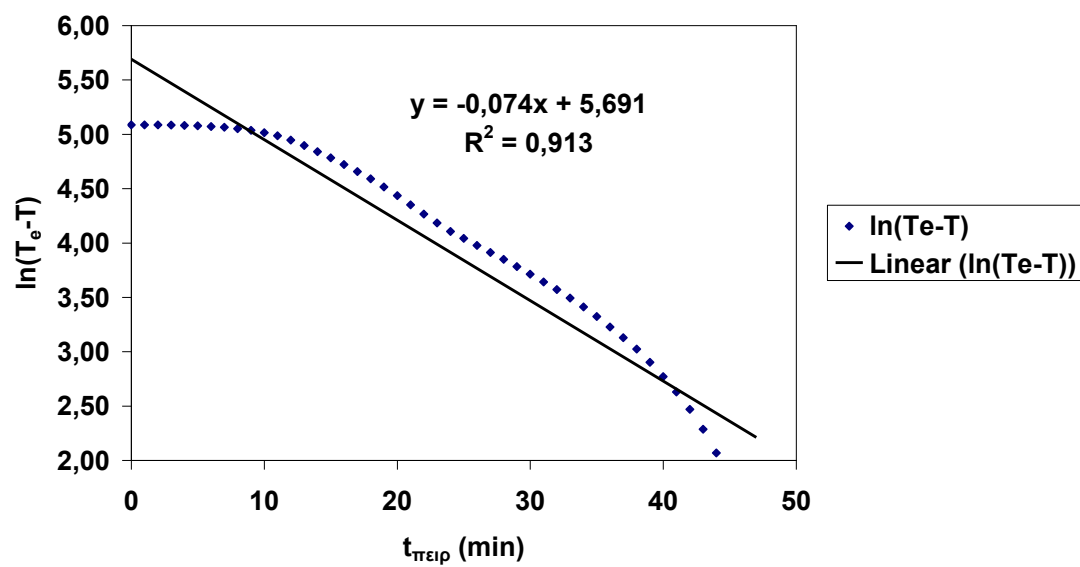


Σχ.1β

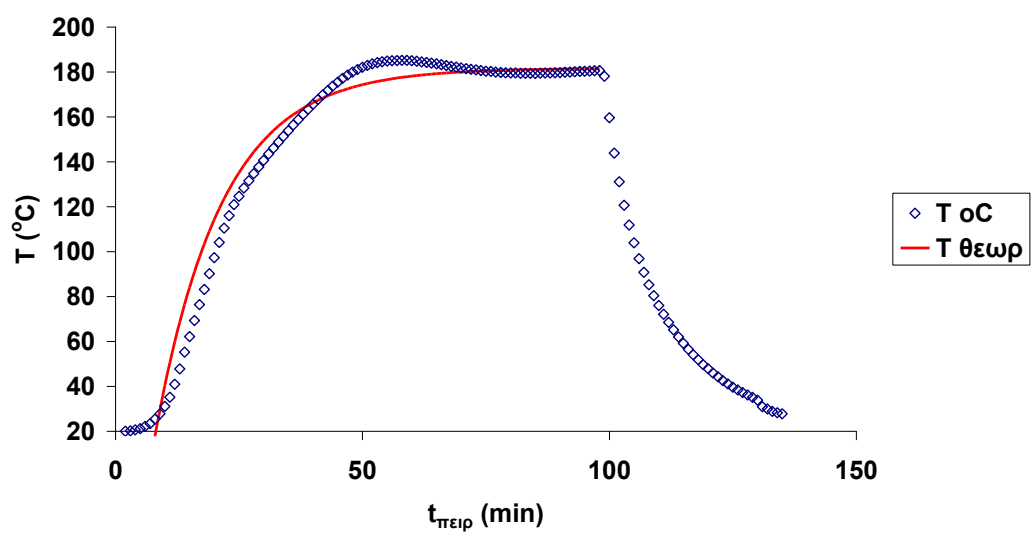


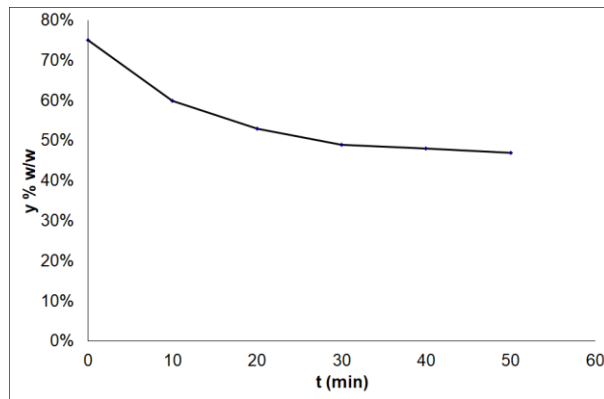
Σχ. 1γ

Σχήμα 1



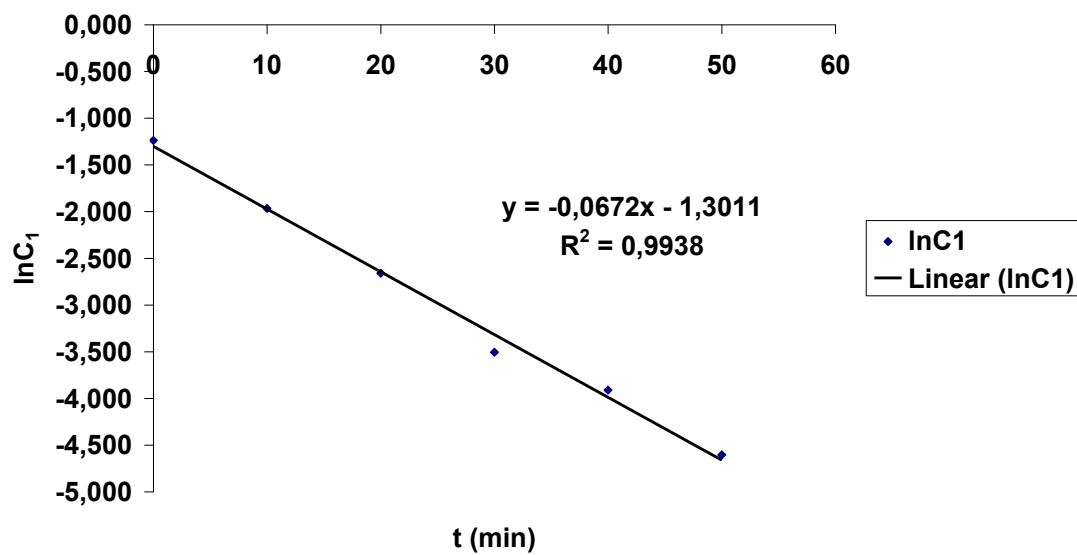
Σχήμα 2



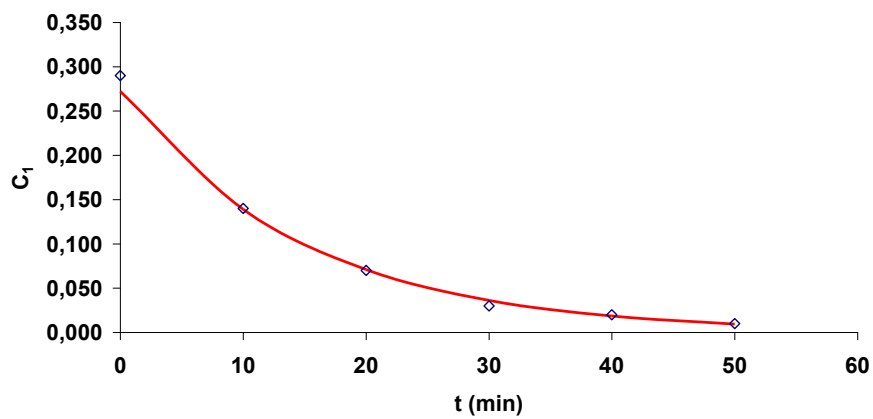


Σχήμα 3α

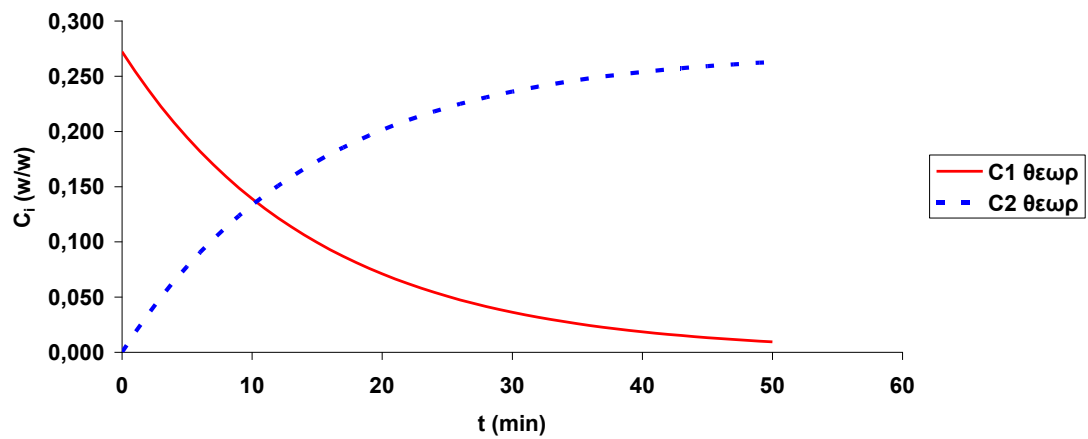
Σχήμα 3



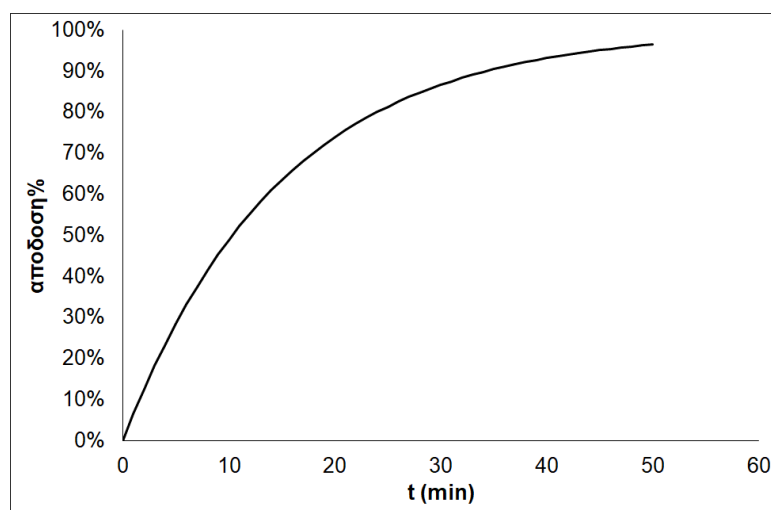
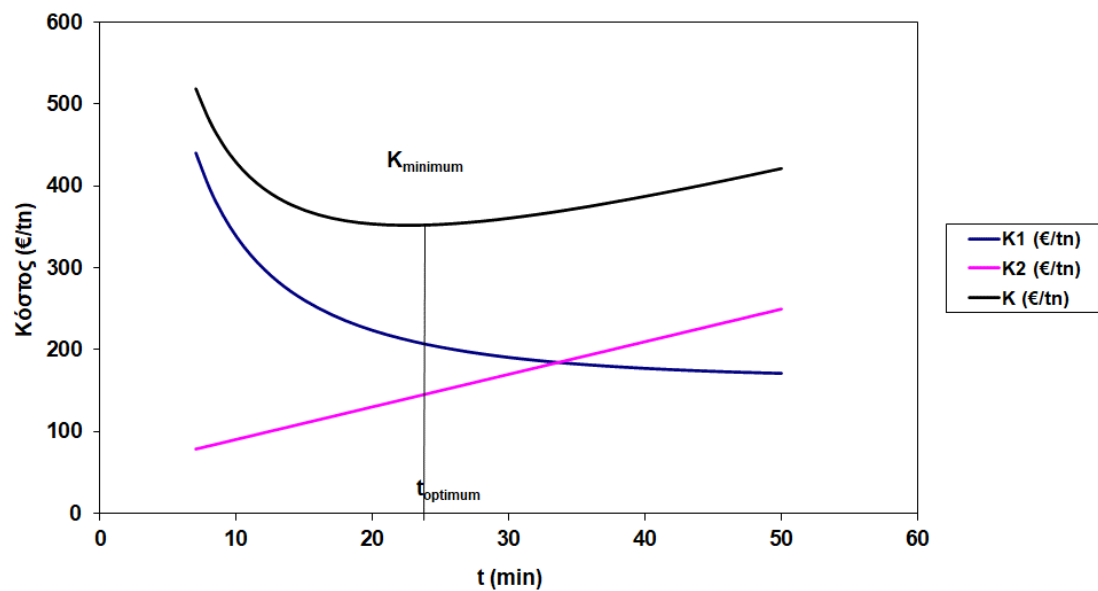
Σχήμα 4



Σχήμα 5



Σχήμα 6



Σχήμα 6α (δεν απαιτείται να κατασκευαστεί από τους φοιτητές)

Συμπεράσματα

Για $t_{\text{optimum}} = 23 \text{ min}$ έχουμε $K_{\text{minimum}} = 352,073 \text{ €/tn}$

$$\text{αποδοση}\% = \frac{C_{2,\theta\epsilon\omega\rho}}{C_{10,\theta\epsilon\omega\rho}} = \frac{0,2142}{0,2722} = 0,7868 = 78,68\%$$

Η μέγιστη απόδοση της διεργασίας είναι 78,68% για $t_{\text{optimum}} = 23 \text{ min}$, και η βέλτιστη οικονομικά λύση είναι $K_{\text{minimum}} = 352,073 \text{ €/tn}$.

Παράρτημα

Ενδεικτικά πειραματικά δεδομένα

Ημερομηνία:	10/3/2021
Ονοματεπώνυμο / υπογραφή φοιτητή	Σιδηράς Δημήτριος του Κων/νου
Αριθμός Μητρώου φοιτητή	Π.χ., Τ.....7
Ομάδα:	Π.χ., 7

Πίνακας Π1

Χρόνος (Time) $t_{\text{πειρ}}$ (min)	Θερμοκρασία (Temperature) T (°C)	Πίεση (Pressure) P (bar)
0,00	19,753	-0,08
1,00	19,909	-0,10
2,00	19,965	-0,08
3,00	20,147	-0,08
4,00	20,588	-0,05
5,00	21,134	-0,05
6,00	22,151	-0,02
7,00	23,394	0,00
8,00	25,39	0,05
9,00	27,769	0,14
10,00	31,042	0,23
11,00	35,157	0,31
12,00	40,891	0,37
13,00	47,801	0,42
14,00	55,234	0,52
15,00	62,173	0,63
16,00	69,298	0,73
17,00	76,375	0,86

18,00	83,14	0,96
19,00	90,161	1,11
20,00	97,282	1,23
21,00	104,11	1,40
22,00	110,47	1,58
23,00	116,03	1,84
24,00	120,91	2,08
25,00	124,65	2,40
26,00	128,27	2,71
27,00	131,56	3,06
28,00	134,68	3,42
29,00	137,67	3,80
30,00	140,63	4,17
31,00	143,45	4,57
32,00	146,08	4,97
33,00	148,76	5,38
34,00	151,33	5,82
35,00	153,87	6,25
36,00	156,42	6,71
37,00	158,79	7,16
38,00	161,06	7,63
39,00	163,4	8,14
40,00	165,64	8,63
41,00	167,75	9,10
42,00	169,81	9,62
43,00	171,78	10,09
44,00	173,71	10,58
45,00	175,45	11,05
46,00	177,16	11,48
47,00	178,63	11,91
48,00	179,96	12,27
49,00	181,1	12,60
50,00	182,1	12,87
51,00	182,94	13,12
52,00	183,62	13,34
53,00	184,15	13,49
54,00	184,56	13,63
55,00	184,84	13,71
56,00	185,03	13,80
57,00	185,1	13,79
58,00	185,14	13,80
59,00	185,12	13,78
60,00	185,01	13,73
61,00	184,77	13,66
62,00	184,49	13,62
63,00	184,26	13,51
64,00	183,93	13,43
65,00	183,58	13,35
66,00	183,26	13,23
67,00	182,87	13,15

68,00	182,49	13,05
69,00	182,14	12,95
70,00	181,8	12,86
71,00	181,44	12,78
72,00	181,19	12,69
73,00	180,94	12,63
74,00	180,61	12,57
75,00	180,34	12,50
76,00	180,23	12,46
77,00	179,96	12,39
78,00	179,79	12,37
79,00	179,63	12,34
80,00	179,52	12,32
81,00	179,51	12,30
82,00	179,42	12,33
83,00	179,41	12,30
84,00	179,4	12,34
85,00	179,34	12,32
86,00	179,47	12,34
87,00	179,51	12,36
88,00	179,52	12,40
89,00	179,65	12,42
90,00	179,72	12,46
91,00	179,87	12,46
92,00	179,92	12,52
93,00	180,1	12,54
94,00	180,21	12,59
95,00	180,27	12,62
96,00	180,35	12,65
97,00	180,51	12,68
98,00	180,62	12,69
99,00	178,05	10,27
100,00	159,58	6,46
101,00	143,87	4,46
102,00	131,04	3,30
103,00	120,65	2,57
104,00	111,85	2,06
105,00	103,94	1,64
106,00	96,826	1,38
107,00	90,755	1,14
108,00	85,259	1,00
109,00	80,397	0,88
110,00	75,989	0,77
111,00	72,063	0,70
112,00	68,467	0,62
113,00	65,153	0,57
114,00	61,984	0,54
115,00	59,167	0,46
116,00	56,48	0,43
117,00	54,039	0,40

118,00	51,857	0,37
119,00	49,678	0,34
120,00	47,815	0,30
121,00	45,915	0,31
122,00	44,197	0,28
123,00	42,576	0,28
124,00	41,05	0,26
125,00	39,622	0,22
126,00	38,412	0,22
127,00	37,228	0,21
128,00	36,133	0,20
129,00	35,079	-0,05
130,00	33,825	-0,10
131,00	30,946	-0,09
132,00	29,918	-0,09
133,00	28,845	-0,10
134,00	28,237	-0,08
135,00	27,75	-0,11

Πίνακας Π2

$t_{\text{πειρ}}$ (min)	t (min)	γ % w/w
48	0	75%
58	10	60%
68	20	53%
78	30	49%
88	40	48%
98	50	47%

Ισχύει για χρόνο προθέρμανσης 48 min.

Δίνεται:

$$\gamma_e = 46,0\% = 0,460$$