|  |
| --- |
| ΔΠΘ ΑΠΕ  Τμ. Μηχανικών Περιβάλλοντος 7 Οκτωβρίου 2013 |

ΘΕΜΑ 1Ο (10 μονάδες)

Να υπολογισθούν η σύσταση και η ειδική ΚΘΔ σε kJ/lt του αερίου που παράγεται από την αεριοποίηση βιομάζας με σύσταση 55 % C, 5 % H, 40 % O, τέφρα 5 %, υγρασία 15 % αν ως μέσο αεριοποίησης χρησιμοποιηθεί καθαρό οξυγόνο ίσο με το 20 % του οξυγόνου που απαιτείται για πλήρη καύση και ίση ποσότητα υδρατμού. Η έκταση της αεριοποίησης είναι 90 % της ξηρής βιομάζας και η σύσταση του οργανικού μέρους του υπολείμματος 90 % C, 1 % H, 9 % O (η τέφρα μεταφέρεται όλη στο υπόλειμμα). Το παραγόμενο αέριο περιέχει Ν2, Η2, CO, CO2 και 10 % CH4. (Θερμότητες σχηματισμού CO2, CO, H2Og, H2Ol, CH4: 393,5, 110,5, 241,8, 285,8, 74,5 kJ/mol, λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού 40,7 kJ/mol). Να υπολογιστεί επίσης η απόδοση της αεριοποίησης, αν αυτή ορίζεται ως η ΚΘΔ του παραγόμενου αερίου προς την ΚΘΔ της τροφοδοτούμενης βιομάζας.

ΛΥΣΗ

Σύσταση ξετ βιομάζας

% κ.β. gr/kg ξετ βιομάζας mol/kg ξετ βιομάζας

C 0,55 550 550/12 = 45,83

H 0,05 50 50/1 = 50,00

O 0,4 400 400/16 = 25,00

ΑΘΔ ξετ βιομάζας = 33.890,4 x 0,55 + 144.180,6 x (0,05 – 0,4/8) = 18639,72 kJ/kg ξετ βιομάζας

ΑΘΔ βιομάζας = (ΑΘΔ ξετ βιομάζας) \*(1 – 5/100 – 15/100) = 14911,78 kJ/kg βιομάζας

Περιεχόμενη υγρασία = (15/100)\*1000/18 = 8,33 mol/kg βιομάζας

Παραγόμενη υγρασία = (1 – 5/100 – 15/100)\*50,00 / 2 = 20,00 mol/kg βιομάζας

Ολική υγρασία =28,33 mol/kg βιομάζας

ΚΘΔ βιομάζας = 14911,78 - 28,33\*40,7 =13758,61 kJ/kg βιομάζας

Θερμότητα σχηματισμού ξετ βιομάζας = 45,83\*393,5 +(50,00/2)\*285,8 – 18639,72 =

= 6540,70 kJ/kg ξετ βιομάζας

Οξυγόνο για πλήρη καύση = (1 – 5/100 – 15/100)\*(45,83 + 50,00/4 – 25,00/2)=

= 36,67 mol O2/kg βιομάζας

Τροφοδοσία Οξυγόνου = (20/100)\*36,67 = 7,33 mol O2/kg βιομάζας

Τροφοδοσία υδρατμού = = 7,33 mol H2O/kg βιομάζας

Ισοζύγιο μάζας στον αεριοποιητή

ΕΙΣΟΔΟΣ C (1 – 0,05 – 0,15)\*45,83 = 36,67 mol/kg βιομάζας

O (1 – 0,05 – 0,15)\*25 ,00 + 8,33 + 2\*7,33 + 7,33 =50,33 mol/kg βιομάζας

H (1 – 0,05 – 0,15)\*50,00 + 2\*8,33 +2\*7,33 =71,33 mol/kg βιομάζας

ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ C [(1 – 0,15)\*(1 – 0,9)-0,05]\*0,9\*1000/12 = 2,63 mol/kg βιομάζας

O [(1 – 0,15)\*(1 – 0,9)-0,05]\*0,09\*1000/16 = 0,20 mol/kg βιομάζας

H [(1 – 0,15)\*(1 – 0,9)-0,05]\*0,01\*1000/1 = 0,02 mol/kg βιομάζας

ΑΕΡΙΟ C 36,67 – 2,63 = 34,04 mol/kg βιομάζας

O 50,33 – 0,20 = 50,14 mol/kg βιομάζας

H 71,33 – 0,02 = 71,31 mol/kg βιομάζας

Σύσταση παραγόμενου αερίου

Η2 (71,31/2) – 2\*(10/100)\*(34,04)/(1 + 2\*(10/100)) =24,04 mol/kg βιομάζας

CO 34,04 – 21,90 – 5,81 = 6,33 mol/kg βιομάζας

CO2 50,14 – 34,04 + 5,81 = 21,90 mol/kg βιομάζας

CH4 (10/100)\*(34,04 + 24,04) = 5,81 mol/kg βιομάζας

ΣΥΝΟΛΟ = 58,08 mol/kg βιομάζας

Όγκος αερίου 58,08\*22,4 = 1301 lt/ kg βιομά ζας

ΚΘΔ αερίου 24,04\*241,8 + 6,33\*(393,15 – 110,5) + 5,81\*(393,5 +2\*241,8 – 74,5) =

= 12265,92 kJ/kg βιομάζας

ειδική ΚΘΔ αερίου 12265,92 /1301 = 9,43 KJ/ lt

ΘΕΜΑ 2Ο (10 μονάδες)

Μονάδα αναερόβιας χώνευσης τροφοδοτείται με 5.000 ξ. τόνους ζωικών αποβλήτων, το χρόνο, με σύσταση C 55 % κ.β., Ο 40 % κ.β., Η 5 % κ.β., ανόργανα 5 % κ.β., πτητικά στερεά 75 % κ.β. ολικών στερεών. Τα απόβλητα τροφοδοτούνται στον χωνευτή αραιωμένα σε 10 % κ.β. ολικά στερεά σε νερό. Να υπολογιστούν ο απαιτούμενος όγκος μεσόφιλου χωνευτή για 60 % καταστροφή των πτητικών στερεών και η ετήσια παραγωγή, η σύσταση και η ειδική ΚΘΔ του παραγόμενου βιοαερίου. Δίνονται:

Αντίδραση χώνευσης: CaHbOcNd + [(4a-b-2c+3d)/4]H2O => [(4a+b-2c-3d)/8]CH4 + [(4a-b+2c+3d)/8]CO2 + dNH3

Μετατροπή VS για μεσόφιλη διεργασία: % μετατροπή VS = 17,9 x lnHRT – 3,9 (ΗRT σε ημέρες)

ΛΥΣΗ

Υδραυλικός χρόνος παραμονής: HRT = exp((60 + 3,9)/17,9) = 35,51 d

Ημερήσια παροχή: Qd = (5000/365)/(10/100) = 137,00 m3/d

Όγκος υγρής φάσης χωνευτή: VL = 35,51\*137,00 = 4864,47 m3

Όγκος χωνευτή: V = 4\*4864,47/3 = 6485,96 m3

Σύσταση ολικών στερεών Σύσταση πτητικών στερεών

C 55\*(100 – 5)/100 = 52,38 %w 100 – 50,67 – 6,33 = 43,00 %w 35,83 mol/kg VS

O 40\*(100 – 5)/100 = 38,00 %w 38,00\*100/75 = 50,67 %w 31,67 mol/kg VS

H 5\*(100 – 5)/100 = 4,75 %w 4,75\*100/75 = 6,33 %w 63,33 mol/kg VS

Τέφρα = 5,00 %w

100,00 %w 100,00 %w

Σύσταση βιοαερίου

CH4 (4\*35,83 + 63,33 – 2\*31,67)/8 = 17,92 mol/kgVS 50 % κ.ο.

CO2 (4\*35,83 – 63,33 + 2\*31,67)/8 = 17,92 mol/kgVS 50 % κ.ο.

βιοαέριο 17,92 + 17,92 = 35,83 mol/kgVS

35,83 \* 22,4 /1000 = 0,803 m3/kgVS

Ετήσια παραγωγή βιοαερίου: 5.000\*1000\*0,75\*0,803 = 3.010.000 m3/έτος

Ειδική ΚΘΔ: 17,92 \* (393,5 + 2\*241,8 – 74,5)/803 = 17,92 kJ/lt

ΘΕΜΑ 3Ο (10 μονάδες)

Βιομάζα με ξηρή και ελεύθερη τέφρας στοιχειακή σύσταση: C 55 %, H 5 % και O 40 % τροφοδοτείται σε καυστήρα. Τα απαέρια εξέρχονται σε θερμοκρασία 120 οC και περιέχουν 0,2 % CO, ενώ τροφοδοτείται 25 % περίσσεια αέρα. Να υπολογιστεί η ωφέλιμη θερμότητα ανά kg τροφοδοτούμενης βιομάζας, αν η υγρασία της τελευταίας είναι 20 % και η τέφρα 5 % (6 μονάδες). Η ωφέλιμη θερμότητα τροφοδοτείται σε ατμοστρόβιλο που λειτουργεί στα 10 ΜPa και τους 600 oC, με πίεση συμπυκνωτή 10 kPa. Να υπολογιστεί η ηλεκτρική απόδοση της διάταξης καυστήρα/ατμοστροβίλου ως προς την ΚΘΔ της τροφοοσίας, αν οι ισεντροπικές αποδόσεις αντλίας και στροβίλου είναι 90 % (4 μονάδες). Θερμοχωρητικότητες O2, N2, H2, CO2, CO, H2O, CH4: 0,035, 0,027, 0,028, 0,043, 0,028, 0,034, 0,022 kJ/molK.

ΛΥΣΗ

Σύσταση ξηρής και ελεύθερης τέφρας βιομάζας

% κ.β. gr/kg mol/kg

C 0,55 550 45,83

H 0,05 50 50,00

O 0,4 400 25,00

ΑΘΔ ξετ βιομάζας = 33.890,4 x 0,55 + 144.180,6 x (0,05 – 0,4/8) = 18639,72 kJ/kg ξετ βιομάζας

ΑΘΔ βιομάζας = (ΑΘΔ ξετ βιομάζας) \*(1 – 5/100 – 20/100) = 13979,79 kJ/kg βιομάζας

Περιεχόμενη υγρασία = (20/100)\*1000/18 = 11,11 mol/kg βιομάζας

Παραγόμενη υγρασία = (1 – 5/100 – 20/100)\*50,00 / 2 = 18,75 mol/kg βιομάζας

Ολική εξερχόμενη υγρασία =29,86 mol/kg βιομάζας

ΚΘΔ βιομάζας = 13979,79 – 29,86\*40,7 =12764,44 kJ/kg βιομάζας

Θερμότητα σχηματισμού ξετ βιομάζας = 45,83\*393,5 +(50,00/2)\*285,8 – 18639,72 =

= 6540,70 kJ/kg ξετ βιομάζας

Οξυγόνο για πλήρη καύση = (1 – 5/100 – 20/100)\*(45,83 + 50,00/4 – 25,00/2)=

= 34,38 mol O2/kg βιομάζας

Τροφοδοσία Οξυγόνου = (125/100)\*34,38 = 42,97 mol O2/kg βιομάζας

Τροφοδοσία Αζώτου = (79/21)\* 42,97 = 161,64 mol Ν2/kg βιομάζας

Σύσταση απαερίων

CO2 (1 – 0,05 – 0,20)\*45,83 – 0,43 = 33,91 mol/kg βιομάζας

H2O (1 – 0,05 – 0,20)\*50/2 + 11,11 = 29,86 mol/kg βιομάζας

CO = 0,47 mol/kg βιομάζας

O2 (1 – 0,05 – 0,20)\*25,00/2 + 40,10 – 33,94 – 29,86/2 – 0,43/2 = 8,83 mol/kg βιομάζας

N2 = 161,64 mol/kg βιομάζας

Παραγόμενη θερμότητα:

33,91\*393,5 + 29,86\*285,8 +0,47\*110,5 – 0,75\*6540,70 – 11,11\*285,8 = 13846,94 kJ/kg βιομάζας

Απώλειες καυσαερίων:

(33,91\*0,043 +29,86\*0,034 + 0,47\*0,028 + 8,83\*0,035 + 161,64\*0,027)\*(125 – 25) = 715,98 kJ/kg βιομάζας

Λανθάνουσα θερμότητα: 29,86\*40,7 = 1215,35 kJ/kg βιομάζας

Ωφέλιμη θερμότητα: 13846,94 – 715,98 – 1215,35 = 11915,62 kJ/kg βιομάζας

ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ

h1 = 191,81 kJ/kg ατμού v1 = 0,001010 m3/kg ατμού

wins = 0,001010\*(10000 – 10) = 10,09 kJ/kg ατμού win = 10,09/0,9 = 11,21 kJ/kg ατμού

h2 = 191,81 + 11,21 = 203,02 kJ/kg ατμού

h3 = 3625,8 kJ/kg ατμού s3 = 6,9045 kJ/kgK

x4 = (6,9045 – 0,6492)/(8,1488 – 0,6492) = 0,83 h4 = 0,83\*2583,9 + (1-0,83)\*191,81 = 2187,0 kJ/kg ατμού

m = 11915,62/(3625,8 – 203,02) = 3,48 kg ατμού / kg βιομάζας

Wout = 3,48\*0,9\*(3625,8 – 2187,0) = 4507,9 kJ/ kg βιομάζας Win = 3,48\*11,21 = 39,0 kJ/ kg βιομάζας

Wel = 4507,9 – 39,0 = 4468,9 kJ/ kg βιομάζας nel = 4468,9/12764,4 = 35 %

ΘΕΜΑ 4Ο (10 μονάδες)

Σε περιοχή με μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου 9 m/s, η οποία ακολουθεί κατανομή Weibull με k = 2, τοποθετούνται 50 Α/Γ ύψους 60 m και μήκους πτερυγίων 35 m. Να υπολογιστεί η τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής MWh, ώστε η επένδυση να αποπληρωθεί σε 5 έτη αν η κάθε Α/Γ έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: ταχύτητα έναρξης 5 m/s, ονομαστική ταχύτητα 12 m/s, ταχύτητα αποκοπής 22 m/s, ονομαστική απόδοση 40 %, ηλεκτρική απόδοση 90 %, ενώ ο συντελεστής τραχύτητας του εδάφους είναι 0,1. Για τις Α/Γ του αιολικού σταθμού έχουν γίνει οι υπολογισμοί του Πίνακα.

ΛΥΣΗ

c = 9/0,9 = 10 m/s hi = (2/10)\*[(10/10)^(2 – 1)]\*exp[-(10/10)^2] = 0,0736

vhi = 10\*(100/10)^0,1 = 12,6 m/s Pi = 0,5\*1,225\*12,6^3 = 1222,1 W/m2

P\*oi = 0,5\*0,4\*1,225\*10^3 = 245 W/m2 A = π\*55^2 = 9503 m2

Poi = 245\*9503/1000 = 2328,3 kW ti = 0,0736\*24\*365 = 645 h

Eoi = 645\*2328,3 = 1500,7 MWh Eel = 0,9\*1500,7 = 1350,6 MWh

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| vi,  m/s | hi | vhi,  m/s | Pi, W/m2 | Cp, % | P\*oi, W/m2 | A,m2 | Poi, kW | ti, h | Eoi, MWh | nel, % | Eel, MWh |
| 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 3848 | 0,0 | 0 | 0,0 | 90 | 0 |
| 1 | 0,0198 | 1,2 | 1,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 173 | 0,0 | 0 |
| 2 | 0,0384 | 2,4 | 8,4 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 337 | 0,0 | 0 |
| 3 | 0,0548 | 3,6 | 28,3 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 480 | 0,0 | 0 |
| 4 | 0,0682 | 4,8 | 67,1 | 40,0 | 26,84 | 103,3 | 597 | 61,7 | 55,5 |
| 5 | 0,0779 | 6,0 | 131,1 | 40,0 | 52,42 | 201,7 | 682 | 137,6 | 123,9 |
| 6 | 0,0837 | 7,2 | 226,5 | 40,0 | 90,59 | 348,6 | 733 | 255,7 | 230,1 |
| 7 | 0,0858 | 8,4 | 359,6 | 40,0 | 143,85 | 553,6 | 751 | 415,9 | 374,3 |
| 8 | 0,0844 | 9,6 | 536,8 | 40,0 | 214,72 | 826,4 | 739 | 610,7 | 549,6 |
| 9 | 0,0801 | 10,8 | 764,3 | 40,0 | 305,73 | 1176,6 | 701 | 825,3 | 742,8 |
| 10 | 0,0736 | 12,0 | 1048,5 | 40,0 | 423,36 | 1629,3 | 645 | 1050,1 | 945,1 |
| 11 | 0,0656 | 13,2 | 1395,5 | 30,3 | 423,36 | 1629,3 | 575 | 936,3 | 842,7 |
| 12 | 0,0569 | 14,4 | 1811,7 | 23,4 | 423,36 | 1629,3 | 498 | 811,6 | 730,4 |
| 13 | 0,0480 | 15,6 | 2303,5 | 18,4 | 423,36 | 1629,3 | 420 | 684,7 | 616,3 |
| 14 | 0,0394 | 16,7 | 2877,0 | 14,7 | 423,36 | 1629,3 | 345 | 562,9 | 506,6 |
| 15 | 0,0316 | 17,9 | 3538,5 | 12,0 | 423,36 | 1629,3 | 277 | 451,3 | 406,2 |
| 16 | 0,0247 | 19,1 | 4294,5 | 9,9 | 423,36 | 1629,3 | 217 | 353,1 | 317,8 |
| 17 | 0,0189 | 20,3 | 5151,1 | 8,2 | 423,36 | 1629,3 | 166 | 269,7 | 242,7 |
| 18 | 0,0141 | 21,5 | 6114,6 | 6,9 | 423,36 | 1629,3 | 124 | 201,2 | 181,1 |
| 19 | 0,0103 | 22,7 | 7191,4 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 90 | 0,0 | 0,0 |
| 20 | 0,0073 | 23,9 | 8387,7 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 64 | 0,0 | 0,0 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 6865,1 |

κΑΓ = 740 + 870000/(621+ 1629,3^2,05) = 740,23 €/kW κ = 740,23\*3,971\*1629,3^(-0,14) = 1043,72 €/kW

K = 1043,72\*1629,3= 1.700.516 €/ΑΓ Κσταθμού = 50\*1.700.516 = 85.025.820 €

Ηλεκτροπαραγωγή σε 5 έτη: 6865,1\* 50 \* 5 = 1.716.276 MWh

Τιμή διάθεσης για αποπληρωμή σε 5 έτη: 85.025.820 /1.716.276 = 49,54 €/MWh