**ΘΕΜΑ 2Ο**

Βιομάζα με σύσταση:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C | 47,9 | % |
| H | 6,2 | % |
| O | 42,9 | % |
| τέφρα | 3 | % |
| υγρασία | 10 | % |
|  |  |  |

τροφοδοτείται στη μονάδα συμπαραγωγής ονομαστικής ισχύος 20 MWe, του Σχήματος. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μονάδας του Σχήματος είναι:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Έκταση αεριοποίησης | 100 | % |
| CH4 στο παραγόμενο αέριο | 3 | % κ.ο. |
| Ο2 αεριοποίησης | 35 | % TOC[[1]](#footnote-1) |
| Πίεση αεριοστροβίλου | 2 | Μpa |
| Πίεση αεριοποιητή | 2,1 | Μpa |
| Θερμοκρασία ατμοστροβίλων | 450 | oC |
| Πίεση ατμοστροβίλου υψηλής πίεσης | 8,4 | Mpa |
| Πίεση ατμοστροβίλου χαμηλής πίεσης | 1,8 | Mpa |
| Θερμοκρασία συμπυκνωτή | 41 | oC |
| Πίεση συμπυκνωτή | 8 | kPa |
| Σχετική υγρασία αέρα  | 60 | % |
| Θερμοκρασία περιβάλλοντος | 298 | K |
| Πίεση Περιβάλλοντος | 101,3 | kPa |
| Πτώση πίεσης ρεύματος αερίων στους εναλλάκτες  | 0 | kPa |
| Πτώση πίεσης ρεύματος ατμού στους εξατμιστές | 10 | kPa |
| Πτώση πίεσης ρεύματος νερού στον προθερμαντή  | 300 | kPa |
| Πτώση πίεσης ρεύματος νερού στον αναθερμαντή  | 200 | kPa |
| Πτώση πίεσης νερού ψύξης στον συμπυκνωτή | 300 | kPa |
| Πτώση πίεσης ρεύματος ατμού στον υπέρθερμαντη  | 10 | kPa |
| Θερμοκρασία αέρα στην είσοδο του αεριοποιητή | 350 | oC |
| Θερμοκρασία παραγόμενου αερίου μετά τον αναθερμαντή | 600 | oC |
| Θερμοκρασία παραγόμενου αερίου μετά τον εξατμιστή | 400 | oC |
| Θερμοκρασία εξόδου του αερίου από τον αεριοστρόβιλο | 470 | oC |
| Πτώση πίεσης του δικτύου τηλεθέρμανσης | 900 | kPa |
| Χαμηλότερη θερμοκρασία νερού του δικτύου τηλεθέρμανσης | 50 | οC |
| Υψηλότερη θερμοκρασία νερού του δικτύου τηλεθέρμανσης | 80 | οC |
| Θερμοκρασία απερίων στην καμινάδα | 117 | οC |
| Υψηλότερη θερμοκρασία νερού στον πύργο ψύξης | 40 | οC |
| Χαμηλότερη θερμοκρασία νερού στον πύργο ψύξης | 25 | οC |
| Ισεντροπική απόδοση ατμοστροβίλου υψηλής πίεσης | 84 | % |
| Ισεντροπική απόδοση ατμοστροβίλου χαμηλής πίεσης | 82 | % |
| Ισεντροπική απόδοση προωθητή (συμπιεστής) | 75 | % |
| Ισεντροπική απόδοση αντλιών | 75 | % |
| Ισεντροπική απόδοση αεριοστρόβιλου | 88 | % |
| Ισεντροπική απόδοση συμπιεστή αεριοστροβίλου | 85 | % |
| Απόδοση γεννητριών  | 98 | % |

Ως μέσο αεριοποίησης χρησιμοποιείται το 1/10 του συμπιεσμένου ατμοσφαιρικού αέρα από τον συμπιεστή του αεριοστρόβιλου. Για την επιπλέον συμπίεση του αέρα που τροφοδοτείται στον αεριοποιητή χρησιμοποιείται ένας επιπλέον συμπιεστής (προωθητής – booster).

Να υπολογιστεί η ετήσια τροφοδοσία βιομάζας, στη μονάδα του σχήματος καθώς και η ηλεκτρική απόδοση της και η απόδοση συμπαραγωγής, με βάση την ΚΘΔ της τροφοδοτούμενης βιομάζας.

Η ΛΥΣΗ ΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΤΕΙ ΣΕ ΕΝΑ ΦΥΛΛΟ ΕΞΕΛ, ΠΟΥ ΝΑ ΠΕΡΙΕΧΕΙ ΤΟΥΣ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΟΥΝ.

Η ενθαλπία (και η εντροπία όπου ζητείται) των αερίων ρευμάτων υπολογίζεται ως η διαφορά της ενθαλπίας του αερίου από την ενθαλπία του αερίου στις συνθήκες περιβάλλοντος.

Αντίθετα, για τα ρεύματα νερού και ατμού η εντροπία και η ενθαλπία λαμβάνονται απευθείας από τους πίνακες ατμού.

Για το συμπιεσμένο νερό να χρησιμοποιηθεί η παραδοχή ότι οι ιδιότητες του είναι αυτές του κορεσμένου νερού στην ίδια θερμοκρασία.



|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| biomass |  |  | dry ash free (daf) biomass | % κ.β. | gr/kg | mol/kg |
| C |  | % | C |  |  |  |
| H |  | % | H |  |  |  |
| O |  | % | O |  |  |  |
| ash |  | % |
| moisture |  | % |
| organic matter |  | % |

|  |
| --- |
| GASIFICATION |
| HHV daf biomass |  | kJ/kg daf biomass |
| HHV biomass |  | kJ/kg biomass |
| H2O in biomass |  | mol/kg biomass |
| H2O in air |  | mol/kg biomass |
| H2O prouced in case of combustion |  | mol/kg biomass |
| total H2O |  | mol/kg biomass |
| LHV biomass |  | kJ/kg biomass |
| daf biomass heat of formation |  | kJ/kg daf biomass |
| TOC O2 |  | mol O2/kg biomass |
| gasification oxygen, GO |  | mol O2/kg biomass |
| gasification steam,  |  | mol Η2Ο/kg biomass |
| nitrogen |  | mol Ν2/kg biomass |
| at the inlet of the gasifier |
| C |  | mol/kg |
| O |  | mol/kg |
| H |  | mol/kg |
| produced gas |
| Η2 |  | mol/kg |
| CO |  | mol/kg |
| CO2 |  | mol/kg |
| CH4 |  | mol/kg |
| N2 |  | mol/kg |
| total |  | mol/kg |
| produced gas volumetric flow |  | m3/kg |
| produced gas LHV |  | kJ/kgbiomass |
|  |  | kJ/sec |
| produced gas specific LHV |  | KJ/m3 |
|  |
| gasification heat of reaction |  | kJ/kgbiomass |
| latent heat of biomass humidity |  | kj/kgbiomass |
| sensible heat of gasifiacation air |  | kj/kgbiomass |
| sensible heat of produced gas |  | kj/kgbiomass |
| temperature of produced gas, T1 |  | oC |

Η θερμοκρασία του παραγόμενου αερίου βρίσκεται με αναζήτηση στόχου (κόκκινα κελιά – στην περίπτωση αυτή ειδικά θα χρειαστεί και ένα βοηθητικό κελί που θα υπολογίζει την αισθητή θερμότητα του παραγόμενου αερίου σε σχέση με τη θερμοκρασία του).

|  |
| --- |
| GAS TURBINE |
| compressor's inlet |
| O2 in |  | mol/kg biomass |
| N2 in |  | mol/kg biomass |
| H2O in |  | mol/kg biomass |
| entropy in compressor | 0 | kJ/K/kg biomass |
| enthalpy in compressor | 0 | kJ//kg biomass |
|  |  |  |  |  | so, kJ/kmolK |
|  |  |  |  |  | O2 | N2 | H2O |
|  |  |  | 600 | Κ | 226,346 | 212,066 | 212,92 |
| Τs after compressor |  | oC |  | Κ |  |  |  |  | kJ/K/kg biomass |
|  |  |  | 650 | Κ | 228,932 | 214,489 | 215,856 |
|  |  |  |  |  | h, kJ/kmol |
|  |  |  |  |  | O2 | N2 | H2O |
|  |  |  | 600 | Κ | 17929,0 | 17563,0 | 20402,0 |
| hs after compressor |  | oC |  | Κ |  |  |  |  | kJ/kg biomass |
|  |  |  | 650 | Κ | 19544,0 | 19075,0 | 22230,0 |
| ws compressor |  | kJ/kg biomass |
| w compressor |  | kJ/kg biomass |
| h after compressor |  | kJ/kg biomass |
|  |  |  |  |  | h, kJ/kmol |
|  |  |  |  |  | O2 | N2 | H2O |
|  |  |  | 700 | Κ | 21184 | 20604 | 24088 |
| T after compressor |  | oC |  | Κ |  |  |  |  | kJ/kg biomass |
|  |  |  | 750 | Κ | 22844 | 22149 | 25977 |
| combustor |
| qin sensible of prod. Gas |  | kj/kgbiomass | combustor flue gasses |
| heat of combustion |  | kj/kgbiomass | Ο2 |  | mol/kg biomass |
| qin sensible of air |  | kj/kgbiomass | Ν2 |  | mol/kg biomass |
| qout (exit enthalpy) |  | kj/kgbiomass | CO2 |  | mol/kg biomass |
|  |  |  |  |  | h, kJ/kmol |
|  |  |  |  |  | O2 | N2 | H2O | CO2 |
|  |  |  | 1200 | Κ | 38447 | 36777 | 44380 | 53848 |
| T after combustor |  | oC |  | Κ |  |  |  |  |  | kJ/kg biomass |
|  |  |  | 1300 | Κ | 42033 | 40170 | 48807 | 59522 |
| h after turbine |  |  |  |  | h, kJ/kmol |
|  |  |  |  |  | O2 | N2 | H2O | CO2 |
|  |  |  | 740 | Κ | 22510 | 21839 | 25597 | 29124 |
|  |  | oC |  | Κ |  |  |  |  | 9320,932 | kJ/kg biomass |
|  |  |  | 750 | Κ | 22844 | 22149 | 25977 | 29629 |
| w turbine |  | kJ/kg biomass |

Τα πορτοκαλί κελιά υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των άνωθεν και κάτωθεν τιμών.

|  |  |
| --- | --- |
| HIGH PRESSURE STEAM TURBINE | LOW PRESSURESTEAM TURBINE |
| hin |  | kJ/kg water | hin |  | kJ/kg water |
| sin |  | kJ/K kg water | sin |  | kJ/K kg water |
| Pout |  | kPa | Pout |  | kPa |
| houts |  | kJ/kg water | s satwat@8 kPa |  | kJ/K kg water |
| ws |  | kJ/kg water | s satsteam@8 kPa |  | kJ/K kg water |
| w |  | kJ/kg water | xsat |  |  |
| hout |  | kJ/kg water | h satwat@8 kPa |  | kJ/ kg water |
| Tout |  | oC | h satsteam@8 kPa |  | kJ/ kg water |
|  |  |  | houts |  | kJ/ kg water |
|  |  |  | ws |  | kJ/ kg water |
|  |  |  | w |  | kJ/ kg water |
|  |  |  | hout |  | kJ/ kg water |
|  |  |  | x out |  |  |

|  |
| --- |
| REHEATER |
| hgas in |  | kJ/kg biomass |
| hgas out |  | kJ/kg biomass |
| hsteam in |  | kJ/kg water |
| hsteam out |  | kJ/kg water |
| water |  | kg water / kg biomass |

|  |
| --- |
| FEED PUMP |
| hin |  | kJ/kg biomass |
| vsatwat@41oC |  | m3/kg water |
| ws |  | kJ/kg biomass |
| w |  | kJ/kg biomass |
| hout |  | kJ/kg biomass |
| Pout |  | kPa |
|  |  | 5000 |  | 10000 | kPa |
| 60 | oC | 255,36 |  | 259,55 | kJ/kg |
|  |  |  |  |  | oC |
|  |  | 5000 |  | 10000 | kPa |
| 80 | oC | 338,96 |  | 342,94 | kJ/kg |
| Tout |  | oC |

Τα πορτοκαλί κελιά υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή.

|  |
| --- |
| DRUM |
| saturated mix | P |  | kPa |
|  | T |  | oC |
| h steam |  | kJ/kg steam |
| h water |  | kJ/kg water |

Πρόκειται για την κεντρική διάταξη ισορροπίας μεταξύ του κορεσμένου νερού και του κορεσμένου ατμού του κυκλώματος νερού των ατμοστροβίλων. Κάθε ρεύμα νερού/ατμού που καταλήγει ή ξεκινά από το drum είναι κορεσμένο στις συνθήκες του drum.

|  |
| --- |
| SUPERHEATER |
| Pin |  | kPa |  |
| Tin |  | oC | saturated steam |
| hin steam |  | kJ/kg steam |
| hout steam |  | kJ/kg steam |
| hin steam |  | kJ/kg biomass |
| hout steam |  | kJ/kg biomass |
| hin flue gas |  | kJ/kg biomass |
| hout flue gas |  | kJ/kg biomass |

|  |
| --- |
| PREHEATER |
| hin flue gas |  | kJ/kg biomass |
| water in |  | kg/kg biomass |
| hin water |  | kg/kg biomass |
| hout water |  | kg/kg biomass |
| hout flue gas |  | kJ/kg biomass |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PUMP 3 |  | PUMP 2 |
| vin |  | m3/kg water |  | vin |  | m3/kg water |
| ws |  | kJ/kg water |  | ws |  | kJ/kg water |
| w |  | kJ/kg water |  | w |  | kJ/kg water |
| hout |  | kJ/kg water |  | hout |  | kJ/kg water |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| EVAPORATOR Ε1 |  | EVAPORATOR Ε2 |
| hin product gas |  | kJ/kg biomass |  | water |  | kg water / kg biomass |
| hout product gas |  | kJ/kg biomass |  | hin water |  | kJ/kg water |
| hin water |  | kJ/kg water |  | hout steam |  | kJ/kg steam |
| hout steam |  | kJ/kg steam |  | hin water |  | kg water / kg biomass |
| water |  | kg water / kg biomass |  | hout steam |  | kg water / kg biomass |
|  |  |  |  |  | hin flue gas |  | kJ/kg biomass |
|  |  |  |  |  | hout flue gas |  | kJ/kg biomass |

|  |
| --- |
| BOOSTER |
| h air in |  | kJ/kg biomass |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |  |  |  | so, kJ/kmolK |  |  |
|   |  |  |  |  | O2 | N2 | H2O |  |  |
|   |  |  | 550 | Κ | 223,576 | 209,461 | 209,795 |  |  |
| T air in |  | oC |  | Κ |  |  |  |  | kJ/K/kg biomass |
|   |  |  | 650 | Κ | 228,932 | 214,489 | 215,856 |  |  |
| s air in |  | kJ/K/kg biomass |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |  |  |  | so, kJ/kmolK |  |  |
|   |  |  |  |  | O2 | N2 | H2O |  |  |
|   |  |  | 550 | Κ | 223,576 | 209,461 | 209,795 |  |  |
| Ts air out |  | oC |  | Κ |  |  |  |  | kJ/K/kg biomass |
|   |  |  | 650 | Κ | 228,932 | 214,489 | 215,856 |  |  |
|   |  |  |  |  |  | h, kJ/kmol |  |  |
|   |  |  |  |  | O2 | N2 | H2O |  |  |
|   |  |  | 550 | Κ | 16338 | 16064 | 18601 |  |  |
|   |  |  |  | Κ | 18598 | 18187 | 21159 |  | kJ/kg biomass |
|   |  |  | 650 | Κ | 19544 | 19075 | 22230 |  |  |
| hs air out |  | kJ/kg biomass |  |  |  |  |  |  |
| ws |  | kJ/kg biomass |  |  |  |  |  |  |
| w |  | kJ/kg biomass |  |  |  |  |  |  |
| h air out |  | kJ/kg biomass |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |  |  |  | h, kJ/kmol |  |  |
|   |  |  |  |  | O2 | N2 | H2O |  |  |
|   |  |  | 550 | Κ | 16338 | 16064 | 18601 |  |  |
| T air out |  | oC |  | Κ |  |  |  |  | kJ/kg biomass |
|   |  |  | 650 | Κ | 19544 | 19075 | 22230 |  |  |
|   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| AIR COOLER |
| h air in |  | kJ/kg biomass |  |  |  |  |  |  |
| mwater in |  | kg/kg biomass |  |  |  |  |  |  |
| h water in |  | kJ/kg water |  |  |  |  |  |  |
|   |  |  |  |  |  | h, kJ/kmol |  |  |
|   |  |  |  |  | O2 | N2 | H2O |  |  |
|   |  |  | 550 | Κ | 16338 | 16064 | 18601 |  |  |
| T air out |  | oC |  | Κ |  |  |  |  | kJ/kg biomass |
|   |  |  | 650 | Κ | 19544 | 19075 | 22230 |  |  |
| h air out |  | kJ/kg biomass |  |  |  |  |  |  |
| h water out |  | kJ/kg biomass |  |  |  |  |  |  |
| h water out |  | kJ/ kg water |   |   |   |   |   |   |

Ο cooler ψύχει το 1/10 του αέρα από τον συμπιεστή του αεριοστροβίλου σε θερμοκρασία κοντά (λίγο χαμηλότερη) στη θερμοκρασία που αυτή η ποσότητα αέρα θα τροφοδοτηθεί στον αεριοποιητή. Στη συνέχεια ο booster αυξάνει την πίεση κατά 100 kPa, γεγονός που συνεπάγεται την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Οι δύο συσκευές θα πρέπει να λυθούν σε συνδυασμό η μία με την άλλη έτσι ώστε να καθοριστεί η συμβολή της κάθε μίας από αυτές στη μετάβαση του αέρα από τις γνωστές συνθήκες του ρεύματος 14 στις επίσης γνωστές συνθήκες του ρεύματος 16. Αυτό γίνεται με δοκιμή και σφάλμα, ως εξής:

1. Θεωρείται μία αρχική τιμή της T air out του cooler και για αυτήν υπολογίζεται (με γραμμική παρεμβολή) η h air aout.
2. Στη συνέχεια με αναζήτηση στόχου υπολογίζεται η m water in που επιτυγχάνει τη δεδομένη (από τις συνθήκες του drum – τα ρεύματα 26, 27 και 28 θεωρούνται ότι αφορούν σε κορεσμένο νερό στις συνθήκες του drum) h water out.
3. Για την παραπάνω T air out του cooler (η οποία είναι η T air in του booster) “λύνεται” o booster, αρχικά σαν ισεντροπικός και στη συνέχεια σαν πραγματικός (με βάση την ισεντροπική του απόδοση).
4. Η λύση του “πραγματικού” booster περιλαμβάνει μία αναζήτηση στόχου (για τις εντροπίες εισόδου και εξόδου του υποτιθέμενου ισεντροπικού booster) για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από τον ισεντροπικό booster, καθώς και μία δεύτερη αναζήτηση στόχου για το προσδιορισμό της θερμοκρασίας εξόδου από τον πραγματικό booster.
5. Αν η θερμοκρασία εξόδου από τον πραγματικό booster απέχει περισσότερο από 0,5 % από την επιθυμητή (την θερμοκρασία εισόδου του αέρα στο αεριοποιητή), η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή, όσες φορές απαιτηθεί ώστε επιτευχθεί σύγκλιση.

|  |  |
| --- | --- |
| COGENERATION HEAT EXCHANGER | COGENERATION PUMP 4  |
| hin flue gas |  | kJ/kg biomass | v water @ 65oC |  | m3/kg |
| hout flue gas |  | kJ/kg biomass | ws |  | kJ/kg water |
| hin water |  | kJ/kg water | w |  | kJ/kg water |
| hout water |  | kJ/kg water | W |  | kJ/kg biomass |
| m water |  | kg water / kg biomass | v water @ 65oC |  | m3/kg |

|  |  |
| --- | --- |
| COOLING TOWER | COOLING TOWER PUMP |
| h water in |  | kJ/kg biomass | v water @ 25oC |  | m3/kg |
| h water out |  | kJ/kg biomass | ws |  | kJ/kg water |
| h cooling water in |  | kJ/kg water | w |  | kJ/kg water |
| h cooling water out |  | kJ/kg water | W |  | kJ/kg biomass |
| m cooling water |  | kg water / kg biomass |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **WNET** |  | **kJ/kg biomass** |
| **n thermal** |  | **%** |
| **biomass supply** |  | **kg biomass / sec** |
|  |  | **tn biomass / year** |
| **Q cogen** |  | **kJ/kg biomass** |
|  |  | **MW** |
| **n cogen** |  | **%** |

1. TOC : Total Combustion Oxygen (οξυγόνο που απαιτείται στοιχειομετρικά για πλήρη καύση της τροφοδοτούμενης βιομάζας). [↑](#footnote-ref-1)