

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ενός υπαρκτού συστήματος πρόωσης με ατμό πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού Αερίου. Στηρίχτηκε δηλαδή σε πραγματικά στοιχεία ενός εμπορικού πλοίου.

Ευχαριστώ λοιπόν το προσωπικό της ναυτιλιακής εταιρίας 'MARAN GAS' και ιδιαίτερα τους κυρίους Στέφανο Μαυράκη και Σπύρο Γκέρτσο για τη αμέριστη βοήθεια και τα στοιχεία που μου παρείχαν. Χωρίς αυτά δε θα ήταν δυνατή η εκπόνηση της παρούσας μελέτης.

Νοιώθω επίσης την ανάγκη να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Χρίστο Φραγκόπουλο για τη συνεχή καθοδήγηση και το χρόνο που μου αφιέρωσε κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του μοντέλου. Οι οδηγίες του και οι συμβουλές στάθηκαν πολύτιμες για την εκπόνηση της εργασίας μου.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Περιγραφή της εγκατάστασης	13
2.1 Λέβητες (Boilers)	13
2.2 Στροβιλογεννήτρια (Turbo generator)	14
2.3 Ατμοστρόβιλοι (Turbines).....	14
2.4 Κύριο Ψυγείο (Main Condenser).....	14
2.5 Αποστακτήρες (Fresh Water Evaporators).....	15
2.6 Ψυγείο Διαρρών Λαβυρίνθων (Gland Condenser)	16
2.7 Προθερμαντήρας Χαμηλής Πίεσης (Low Pressure Heater)	16
2.8 Δεξαμενή Υγρών Αποστραγγίσεων (Drain Tank).....	16
2.9 Απαερωτής (Dearator).....	16
2.10 Τροφοδοτική αντλία νερού και στρόβιλος (Feed water pump and turbine)	17
2.11 Καταναλωτές	17
2.12 Ατμογεννήτρια Χαμηλής Πίεσης (Low Pressure Steam Generator).....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Επεξεργασία των δεδομένων διαγραμμάτων ροής	19
3.1 Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Φυσικού Αερίου.....	19
3.1.1 Δεδομένα	19
3.1.2 Υπολογισμοί.....	21
3.1.3 Αποτελέσματα	35
3.2 Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Πετρελαίου	37
3.2.1 Δεδομένα	37
3.2.2 Υπολογισμοί.....	39
3.2.3 Αποτελέσματα	40
3.3 Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Φυσικού Αερίου και Πετρελαίου	45

3.3.1 Δεδομένα.....	45
3.3.2 Υπολογισμοί	47
3.3.3 Αποτελέσματα.....	50
3.4 Κατάσταση Λειτουργίας στο 50% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Πετρελαίου	55
3.4.1 Δεδομένα.....	55
3.4.2. Υπολογισμοί	57
3.4.3. Αποτελέσματα.....	57
3.5 Συμπληρωματικοί Υπολογισμοί.....	63
3.5.1 Άδηλες απώλειες.....	63
3.5.1.1 Προθερμαντήρας Χαμηλής Πίεσης	63
3.5.1.2 Απαερωτής	63
3.5.2 Ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης.....	64
3.5.3 Στρόβιλος γεννήτριας (Turbo Generator)	69
3.5.4 Αποστακτήρας (FW Evaporator)	72
3.5.5 Εκτίμηση της παροχής ατμού προς καταναλωτές	72
3.5.6 Στρόβιλος τροφοδοτικής αντλίας (TFP)	76
3.5.7 Μηχανικός βαθμός απόδοσης στροβίλου υψηλής πίεσης.....	79
3.5.8 Θερμοκρασία στα σημεία σ_{11} , σ_{14} και σ_{19}	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Υπολογισμός λειτουργικών χαρακτηριστικών του συστήματος για δεδομένη κατάσταση φόρτισης.....	83
4.1 Περιγραφή Πορείας Υπολογισμών	83
4.2 Παράδειγμα Υπολογισμού με Βάση την Πορεία της Ενότητας 4.1	93
4.2.1 Δεδομένα.....	93
4.2.2 Σταθερά στοιχεία για όλες τις καταστάσεις.....	93
4.2.3 Πορεία υπολογισμών καταστάσεις λειτουργία στο πλήρες φορτίο	95
4.2.4 Προκαταρκτικοί υπολογισμοί	95
4.2.5 Αρχικές εκτιμήσεις και επιλογές	97

4.2.6	Πρώτος κύκλος δοκιμών.....	100
4.3	Περιγραφή του Προγράμματος σε Υπολογιστή	113
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Αποτελέσματα υπολογισμών και συμπεράσματα.....		121
5.1	Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Φυσικού αερίου.....	121
5.1.1	Δεδομένα	121
5.1.2	Αποτελέσματα	122
5.2	Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Πετρελαίου.....	133
5.2.1	Δεδομένα	133
5.2.2	Αποτελέσματα	133
5.3	Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Φυσικού Αερίου και Πετρελαίου	143
5.3.1	Δεδομένα	143
5.3.2	Αποτελέσματα	143
5.4	Κατάσταση Λειτουργίας στο 90% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Φυσικού Αερίου.....	151
5.4.1	Δεδομένα	151
5.4.2	Αποτελέσματα	151
5.5	Κατάσταση Λειτουργίας στο 90% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Πετρελαίου	161
5.5.1	Δεδομένα	161
5.5.2	Αποτελέσματα	161
5.6	Κατάσταση Λειτουργίας στο 90% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Φυσικού Αερίου και Πετρελαίου	169
5.6.1	Δεδομένα	169
5.6.2	Αποτελέσματα	169
5.7	Κατάσταση Λειτουργίας στο 80% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Πετρελαίου	177
5.7.1	Δεδομένα	177

5.7.2 Αποτελέσματα.....	177
5.8 Κατάσταση Λειτουργίας στο 50% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Πετρελαίου	185
5.8.1 Δεδομένα.....	185
5.8.2 Αποτελέσματα.....	185
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Γενικά συμπεράσματα και προτάσεις για τη βελτίωση και τη συνέχιση της μελέτης.....	195
6.1 Συμπεράσματα και Παραδοχές – Άρση των παραδοχών που θεωρήθηκαν κατά τη διάρκεια των υπολογισμών.....	195
6.1.1 Αλλαγή στη διάταξη του διαγράμματος ροής	195
6.1.2 Προσδιορισμός της παροχής μάζας των καυσίμων.....	195
6.1.3 Προσδιορισμός της παροχής μάζας αέρα καύσης.....	197
6.1.4 Προσδιορισμός ενθαλπιών κατά μήκος της γραμμής αποτόνωσης.....	197
6.1.5 Μηχανικοί βαθμοί απόδοσης των στρόβιλων πρόωσης.....	198
6.1.6 Πίεση εισαγωγής του ατμού στο στρόβιλο Υψηλής Πίεσης, P_1	199
6.1.7 Θερμικές και άδηλες απώλειες.....	199
6.1.8 Προσέγγιση ιδιοτήτων σημείων.....	200
6.1.9 Στρόβιλος γεννήτριας.....	200
6.1.10 Στρόβιλος της τροφοδοτικής αντλίας	201
6.1.11 Εκτίμηση της παροχής ατμού προς καταναλωτές	202
6.1.12 Εκτίμηση παροχής ατμού προς λοιπούς καταναλωτές (εσωτερικούς και εξωτερικούς) ..	203
6.1.13 Αποστακτήρας.....	203
6.1.14 Αντλίες.....	204
6.1.15 Προσέγγιση θερμοκρασιών σημείων με τη χρήση εμπειρικών εξισώσεων.....	204
6.1.16 Βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης	205
6.2 Προτάσεις για συνέχιση, βελτίωση και για μελλοντικές χρήσεις του προγράμματος μοντελοποίησης	207
6.2.1 Λειτουργία χωρίς απομαστεύσεις	207
6.2.2 Κύριο Ψυγείο.....	207

6.2.3 Προτάσεις για συνέχιση και περαιτέρω εκμετάλλευση του προγράμματος.....	207
Παράρτημα 1	209
1.A Σχηματική Απεικόνιση Αποστακτήρων	209
1.B Διαγράμματα Ροής	211
Παράρτημα 2	213
Παράρτημα 3	217
3.A Υπορουτίνες για την εύρεση της ενθαλπίας	217
3.B Υπορουτίνες για την εύρεση της εντροπίας.....	218
3.Γ Υπορουτίνες για την εύρεση της θερμοκρασίας	218
3.Δ Υπορουτίνες για την εύρεση του ειδικού όγκου.....	219
Παράρτημα 4	221
4.A Αρχεία Δεδομένων	221
4.A.1 Κύριο πρόγραμμα.....	221
4.A.2 Σταθερά στοιχεία σε όλες τις καταστάσεις.....	221
4.4.A.3 Εκτίμηση των στοιχείων που αλλάζουν στις διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης	
4.A.4 Προκαταρκτικοί υπολογισμοί	225
4.A.5 Αρχικές εκτιμήσεις και επιλογές	226
4.A.6 Κύκλος δοκιμών.....	227
4.B Αρχεία Αποτελεσμάτων.....	229
Παράρτημα 5	235
5.A. Δένδρο του Προγράμματος	236
5.B. Κώδικας σε FORTRAN.....	237
5.B.1. Κύριο πρόγραμμα.....	237
5.B.2. Σταθερά στοιχεία σε όλες τις καταστάσεις.....	242
5.B.3. Εκτίμηση των στοιχείων που αλλάζουν στις διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης.....	245
5.B.4. Προκαταρκτικοί υπολογισμοί	253
5.B.5 Αρχικές εκτιμήσεις και επιλογές	255

5.B.6 Κύκλος δοκιμών	259
Βιβλιογραφία	275

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

Η χρήση του ατμού για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών χρονολογεί την εμφάνιση της από το 120 π.Χ. με τη σφαίρα του Ήρωνα.

Στους αιώνες που ακολούθησαν, παράλληλα με τις άλλες χρήσεις, έχει καθιερωθεί η εκμετάλλευση του ατμού για την παραγωγή ενέργειας πρόωσης σε πλοία με την ανάπτυξη ειδικών συστημάτων (δικτύων) πρόωσης με ατμό. Κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών είναι η χρήση του ατμοστρόβιλου για την πρόωση. Ο Ατμοστρόβιλος αποτελεί μία ειδική διάταξη με πτερύγια τα οποία περιστρέφονται με τη βοήθεια ατμού που παράγεται στον εγκατεστημένο λέβητα.

Το πρώτο ατμοκίνητο σκάφος για εμπορική χρήση ναυπηγήθηκε στη Νέα Υόρκη το 1807, όμως στη συνέχεια η ανάπτυξη των παλινδρομικών Μηχανών Εσωτερικής Καύσης (Μηχανές Diesel) αλλά και των Αεριοστρόβιλων είχε ως αποτέλεσμα την αρχική πτώση της παραγωγής και στη συνέχεια τον περιορισμό της χρήσης των συστημάτων πρόωσης με ατμό σε ειδικούς τύπους πλοίων. Ένα παράδειγμα είναι τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου Φυσικού Αερίου – Υ.Φ.Α. (Liquefied Natural Gas carriers). Η κατασκευή των πλοίων αυτών έχει γνωρίσει μεγάλη άνθιση τα τελευταία χρόνια για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος, καθώς το φυσικό αέριο ως καύσιμο είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον από το πετρέλαιο. Επιπλέον, σε αρκετές χώρες με αποθέματα φυσικού αερίου υπάρχουν δυσκολίες στην κατασκευή σωλήνων μεταφοράς, καθιστώντας απαραίτητη τη χρήση πλοίων τύπου Υ.Φ.Α.

Οι λόγοι που οι ατμοστρόβιλοι δεν έχουν αντικατασταθεί ακόμα από κινητήρες Diesel στα πλοία αυτά είναι οι ακόλουθοι:

Οι ατμοστρόβιλοι δεν έχουν όρια μεγέθους και μπορούν να κατασκευαστούν για την παραγωγή οποιασδήποτε ισχύος πρόωσης μπορεί να ζητήσει ένα πλοίο. Μεγάλες πιέσεις και θερμοκρασίες αντιμετωπίζονται με ασφάλεια και περιορίζονται μόνο από τα όρια που θέτει ο λέβητας.

Η περιστροφική κίνηση είναι πιο απλή από την παλινδρομική και οι αζυγοστάθμιστες δυνάμεις που προκαλούν ταλαντώσεις και αποτελούν πρόβλημα στις περισσότερες παλινδρομικές μηχανές, μπορούν να ελαχιστοποιηθούν από τον ατμοστρόβιλο.

Επιπροσθέτως, ο ατμοστρόβιλος μπορεί να λειτουργήσει με αρκετά χαμηλή πίεση στην εξαγωγή και χαρακτηρίζεται από μικρό βάρος, όγκο και χαμηλές ανάγκες συντήρησης.

Ένας ακόμα λόγος που αφορά ειδικά τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου Φυσικού Αερίου είναι ότι σε αυτά υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα καυσίμου Φυσικού Αερίου κατάλληλου για τέτοιες εγκαταστάσεις. Μόλις πρόσφατα εμφανίστηκε η δυνατότητα καύσης Φυσικού Αερίου από παλινδρομικές Μηχανές Εσωτερικής Καύσης οι οποίες παράλληλα να παράγουν ικανοποιητική ισχύ πρόωσης που να επιτρέπει τη χρήση τους για πρόωση πλοίων. Παρ' όλα αυτά, η ύπαρξη νεότευκτων πλοίων με ορίζοντα δεκαετιών που να χρησιμοποιούν συστήματα ατμού για πρόωση αλλά και η συσσωρευμένη εμπειρία που έχουν αποκτήσει οι ναυτιλιακές εταιρίες πάνω σε τέτοια συστήματα και που τους επιτρέπει να τα διαχειρίζονται αλλά και να τα βελτιώνουν με μεγαλύτερη άνεση, μας δίνει την πεποίθηση ότι η πρόωση με ατμό δε θα εγκαταλειφθεί σύντομα από τα πλοία τύπου Υ.Φ.Α.

Για τους παραπάνω λόγους κρίθηκε ότι η μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος πρόωσης με ατμό πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου Φυσικού Αερίου θα ήταν σημαντική και θα άξιζε προσοχής. Αυτό είναι και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Θεωρήθηκε ότι για τη διευκόλυνση της μελέτης αυτής είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης του συστήματος σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Η διαδικασία αυτή απαιτεί πληροφορία από υπαρκτές εγκαταστάσεις προκειμένου να λάβει μορφή που πλησιάζει την πραγματικότητα. Η ευκαιρία δόθηκε μέσω επικοινωνίας με εταιρία η οποία διαχειρίζεται τέτοιους είδους πλοία και είχε τη δυνατότητα να μας προμηθεύσει τα απαραίτητα στοιχεία. Το πλοίο που αποτέλεσε τη βάση του μοντέλου, είναι νεότευκτο και αντιπροσωπεύει τη σύγχρονη πραγματικότητα στα πλοία μεταφοράς Φυσικού Αερίου.

Ένα αρκετά σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών που κάνει την όλη μελέτη τους ενδιαφέρουσα, είναι ότι τα συστήματα πρόωσης με ατμό αποτελούν σύνθετα θερμικά συστήματα υψηλών απαιτήσεων. Περιλαμβάνουν αρκετά στοιχεία με υψηλό βαθμό αλληλεξαρτήσεως και πολλούς βαθμούς ελευθερίας. Όλα τα στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος συνδέονται μεταξύ τους με δίκτυα μεταφοράς μάζας, ενέργειας και σημάτων ελέγχου χειρισμών, τα οποία εξασφαλίζουν την αρμονική λειτουργία του συστήματος.

Ένα ακόμα ιδιαίτερο στοιχείο της παρούσας εργασίας είναι ότι, λόγω έλλειψης απαιτητών στοιχείων για την εγκατάσταση, χρησιμοποιήθηκαν θεωρητικές αρχές της θερμοδυναμικής για την προσομοίωση της πραγματικής λειτουργίας του συστήματος και θα ήταν ενδιαφέρον να δούμε το αποτέλεσμα της χρήσης τους για τη μοντελοποίηση πραγματικών συνθηκών.

Θεωρήθηκε σκόπιμη και ενδιαφέρουσα η προσομοίωση του όλου συστήματος. Καθώς αυτή είναι η πρώτη εργασία στο αντικείμενο, αναγκαστικά η προσομοίωση των επιμέρους στοιχείων (μηχανημάτων και συσκευών) είναι σχετικά απλή. Μία επέκταση που θα μπορούσε να γίνει για την ανάπτυξη ενός πιο αναλυτικού μοντέλου, θα ήταν ακριβώς αυτό, δηλαδή η λεπτομερής μοντελοποίηση του κάθε στοιχείου – μηχανήματος της εγκατάστασης ξεχωριστά. Όπως θα αναφερθεί και σε επόμενα κεφάλαια, χρήσιμες και αξιόλογες εφαρμογές του εκτός από απλή μελέτη συμπεριφοράς, θα ήταν η βελτιστοποίηση του συστήματος και η διαγνωστική.

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να περιγράψουμε συνοπτικά τα μέρη που απαρτίζουν την παρούσα διπλωματική εργασία:

Η παρούσα διατριβή αποτελείται από έξι κεφάλαια. Το παρόν είναι το πρώτο από αυτά και αποτελεί την εισαγωγή της. Το δεύτερο περιέχει μία σύντομη αλλά περιεκτική περιγραφή της προς μελέτη εγκατάστασης και των μηχανημάτων που την απαρτίζουν, ενώ το τρίτο περιλαμβάνει την επεξεργασία των δεδομένων διαγραμμάτων ροής (βλ. και Παράρτημα 1, 1.B), η οποία είναι απαραίτητη για την αποκόμιση και τον υπολογισμό στοιχείων απαραίτητων για την προσομοίωση της εγκατάστασης αλλά και την κατανόηση της λειτουργίας της. Εν συνεχεία στο Κεφάλαιο 4, γίνεται η καταγραφή της πορείας των υπολογισμών που ακολουθείται από το πρόγραμμα προσομοίωσης αλλά και η αναλυτική περιγραφή του. Στο επόμενο κεφάλαιο (πέμπτο), σημειώνονται τα αποτελέσματα που

παρήχθησαν από την εκτέλεση του προγράμματος για τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας που περιγράφονται από τα δεδομένα διαγράμματα ροής. Τα εν λόγω διαγράμματα θεωρούμε ότι αποτελούν μία αντιπροσωπευτική εικόνα του τρόπου λειτουργίας του συστήματος πρόωσης με ατμό και παρά τις όποιες αδυναμίες τους (βλ. Παράγραφο 3.5.2.2) χρησιμοποιούνται για σύγκριση με τα αποτελέσματα του προγράμματος. Επιπλέον, κάποια στοιχεία τους βρίσκουν εφαρμογή ως δεδομένα της διαδικασίας μοντελοποίησης. Το τελευταίο και αρκετά σημαντικό κεφάλαιο (έκτο) αποτελεί την καταγραφή των συμπερασμάτων αλλά και των προτάσεων για περαιτέρω εξέλιξη και χρήσεις του προγράμματος. Ορισμένες από αυτές έχουν αναφερθεί προηγουμένως.

Τα λοιπά απαραίτητα στοιχεία, όπως σχέδια και χαρακτηριστικά μηχανημάτων, διαγράμματα ροής, κώδικες των υπορουτινών του προγράμματος και αρχεία δεδομένων – αποτελεσμάτων και περιγραφή βιβλιοθηκών που χρησιμοποιούνται από αυτό, περιλαμβάνονται στα παραρτήματα στο τέλος της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Περιγραφή της εγκατάστασης

Ασχολούμαστε με την περιγραφή του συστήματος πρόωσης με ατμό. Εδώ γίνεται μια σύντομη περιγραφή του κυκλώματος ατμού το οποίο αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία.

2.1 Λέβητες (Boilers)

Η εγκατάσταση έχει δύο όμοιους λέβητες που εξυπηρετούν τις ανάγκες σε υπέρθερμο και αφυπέρθερμο ατμό. Οι λέβητες καίνε καύσιμο πετρέλαιο και φυσικό αέριο εξαναγκασμένης και φυσικής εξάτμισης. Υπάρχει η δυνατότητα της ταυτόχρονης καύσης ή της αποκλειστικής καύσης του ενός ή του άλλου είδους καυσίμου.

Γενικά, υπάρχει η τάση να χρησιμοποιείται ως καύσιμο όλη η ποσότητα του φυσικού αερίου που εξατμίζεται φυσικά από τις δεξαμενές και ανάλογα με τις ανάγκες, να συμπληρώνεται με φυσικό αέριο εξαναγκασμένης εξάτμισης ή και πετρέλαιο. Αυτό εξαρτάται από τις απαιτήσεις του πελάτη που θα παραλάβει το φορτίο με το φυσικό αέριο και από το αν θέλει να θυσιάσει φορτίο για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών του πλοίου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κατασκευαστής θέτει σαν κάτω όριο ασφαλείας στην πίεση του σωλήνα παροχής φυσικού αερίου τα 100 mbar. Κάτω από αυτό το όριο σβήνει ο καυστήρας. Καθώς αυτή η περίπτωση συναντιέται κυρίως στα χαμηλά φορτία, συνηθίζεται όταν η παραγωγή ενέργειας από το λέβητα είναι μικρή, να καίγεται αποκλειστικά πετρέλαιο στο λέβητα.

Κάθε λέβητας έχει τρεις καυστήρες και κάθε καυστήρας ένα διασκορπιστή καυσίμου πετρελαίου. Οι διασκορπιστές καταναλώνουν ατμό του οποίου η παροχή εξαρτάται από την παροχή του καυσίμου πετρελαίου (βλ. Διαγράμματα 3.5.5.1.1 και 3.5.5.1.2). Σε περίπτωση καύσης αποκλειστικά φυσικού αερίου, οι διασκορπιστές καταναλώνουν μόνον όσο ατμό χρειάζεται για να ψύχονται (περίπου 300 kg/h).

Για τον καθαρισμό των αυτών από τη ρύπανση που οφείλεται στα καυσαέρια του διατίθενται εκκαπνιστές. Κατά τη διάρκεια του εκκαπνισμού έχουμε κατανάλωση ατμού, 110 kg/min/ ζευγάρι εκκαπνιστών. Ο καθαρισμός διαρκεί περίπου 15 λεπτά και συνηθίζεται να γίνεται μία, δύο ή και τρεις φορές τη μέρα σε ειδικές περιπτώσεις.

Υπάρχουν δύο εκκαπνιστές για τον Υπερθερμαντήρα, δύο για τη δέσμη αυτών του λέβητα και τέσσερις για τον Οικονομητήρα.

Η προθέρμανση του αέρα καύσης γίνεται στους δύο Προθερμαντήρες Αέρα με Ατμό (Steam Air Heaters), οι οποίοι καταναλώνουν ατμό απομάστευσης.

Ο αφυπέρθερμος ατμός που παράγεται, ικανοποιεί τις ανάγκες των εκκαπνιστών, των διασκορπιστών καυσίμου αλλά και του εκχυτήρα αέρα του αποστακτήρα γλυκού νερού. Ο υπέρθερμος ατμός ικανοποιεί τις ανάγκες σε ατμό των στροβίλων πρόωσης, της στροβιλογεννήτριας και του στροβίλου της κύριας αντλίας του τροφοδοτικού νερού.

2.2 Στροβιλογεννήτρια (Turbo generator)

Η στροβιλογεννήτρια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και κινείται με τη χρήση υπέρθερμου ατμού. Το συμπύκνωμα από το στρόβιλο οδηγείται στο κύριο ψυγείο.

2.3 Ατμοστρόβιλοι (Turbines)

Στην εγκατάσταση υπάρχουν δύο ατμοστρόβιλοι, ένας χαμηλής και ένας υψηλής πίεσης που εξυπηρετούν τις ανάγκες σε πρόωση. Πρόκειται για στρόβιλους δράσης. Ο στρόβιλος υψηλής πίεσης έχει δέκα βαθμίδες ενώ ο στρόβιλος χαμηλής οχτώ. Η ρύθμιση για μερικό φορτίο γίνεται με συνδυασμό στραγγαλιστικής βαλβίδας και ακροφυσίων.

Όπως βλέπουμε στα διαγράμματα ροής, η πίεση εισαγωγής του ατμού στο στρόβιλο υψηλής πίεσης είναι σταθερή για όλα τα φορτία και ίση με 59,8 bar. Ο στρόβιλος χαμηλής πίεσης εξάγει συμπύκνωμα σε κατάσταση που αντιστοιχεί στη διφασική περιοχή του διαγράμματος Mollier και έχει πίεση ίση με την πίεση του ψυγείου. Ισχύει ότι όσο πιο χαμηλή είναι η πίεση εξαγωγής, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο βαθμός απόδοσης του στρόβιλου.

Κατά μήκος της γραμμής αποτόνωσης έχουμε τρεις απομαστεύσεις ατμού. Μία στο στρόβιλο υψηλής πίεσης που εξυπηρετεί τις ανάγκες παραγωγής αφυπέθερμου ατμού από τον παραγωγό ατμού χαμηλής πίεσης (Low pressure Steam Generator), μία μεταξύ των στρόβιλων που εξυπηρετεί τον προθερμαντήρα αέρα (Steam Air Heater), τον Απαερωτή (Dearator), και τον Αποστακτήρα (Fresh Water Evaporator). Η τρίτη απομάστευση γίνεται κατά μήκος της γραμμής αποτόνωσης του στρόβιλου χαμηλής πίεσης και εξυπηρετεί τις ανάγκες του προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης (Low Pressure Heater).

2.4 Κύριο Ψυγείο (Main Condenser)

Το κύριο ψυγείο συμπυκνώνει με τη βοήθεια θαλασσινού νερού τα ρεύματα που έρχονται από την εξαγωγή του στρόβιλου χαμηλής πίεσης, από την εξαγωγή του στρόβιλου της γεννήτριας καθώς και το ρεύμα των διαρροών του προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης. Λειτουργεί με κενό, η ονομαστική τιμή του οποίου είναι 722 mmHg και αντιστοιχεί σε θερμοκρασία θαλασσινού νερού ίση με 33,1 °C. Το κενό αυτό μεγαλώνει με τη μείωση της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού καθώς και με τη μείωση της ενέργειας πρόωσης.

Σε περίπτωση που το κύριο ψυγείο πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας, χρησιμοποιείται αναπληρωματικό ψυγείο που λειτουργεί σε ατμοσφαιρική πίεση (Atmospheric Condenser). Το αναπληρωματικό ψυγείο επίσης χρησιμοποιείται όταν το ψυγείο διαρροών λαβυρίνθων τίθεται εκτός λειτουργίας.

2.5 Αποστακτήρες (Fresh Water Evaporators)

Υπάρχουν δύο είδη αποστακτήρων που χρησιμοποιούνται εναλλάξ:

Αποστακτήρας εμβαπτισμένων αυλών (submerged type)

Ο αποστακτήρας εμβαπτισμένων αυλών (submerged type) έχει δύο βαθμίδες και αποστάζει θαλασσινό προς παραγωγή γλυκού νερού.

Σύμφωνα και με το [2], στην πρώτη βαθμίδα (1st stage στο Σχήμα 1.A.1 του Παραρτήματος 1) εξατμίζεται το θαλασσινό νερό στον πρώτο εξατμιστή (1st heater) με τη βοήθεια του ρεύματος απομάστευσης e_2 μεταξύ των στροβίλων. Όπως βλέπουμε από το εγχειρίδιο, στο θάλαμο της πρώτης βαθμίδας η θερμοκρασία είναι περίπου ίση με 66,5 °C και επικρατεί κενό πίεσης της τάξεως των 559,5 mmHg.

Εν συνεχεία, ο ατμός περνά σε δεύτερη βαθμίδα (2nd stage) όπου σε πρώτη φάση ο ατμός ψύχεται στο συμπυκνωτή (condenser) με θαλασσινό νερό και συμπυκνώνεται. Μέρος αυτού του θαλασσινού νερού που έχει προθερμανθεί διοχετεύεται στο δεύτερο εξατμιστή (2nd heater) ενώ το υπόλοιπο απορρίπτεται στη θάλασσα (brine). Όπως βλέπουμε από το εγχειρίδιο, στο εσωτερικό του θαλάμου της πρώτης βαθμίδας η θερμοκρασία είναι περίπου ίση με 54 °C και επικρατεί κενό πίεσης της τάξεως των 647,5 mmHg.

Το συμπύκνωμα του ατμού απομακρύνεται από το συμπυκνωτή με την αντλία συμπυκνώματος (distillate pump), ενώ η αλατότητά του παρακολουθείται συνεχώς από ειδική συσκευή.

Οι χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης κάνουν απαραίτητη την ανάπτυξη μερικού κενού στο εσωτερικό του αποστακτήρα, το οποίο επιτυγχάνεται με τη χρήση εκχυτήρα αέρα με ατμό (air ejector).

Αποστακτήρας ακαριαίας εξάτμισης (flash type)

Ο διβάθμιος αποστακτήρας ακαριαίας εξάτμισης (flash type) λειτουργεί ως εξής:

Σύμφωνα και με το [2], προθερμασμένο θαλασσινό νερό (feed water heater) ψεκάζεται στο θάλαμο εξάτμισης (1st stage στο Σχήμα 1.A.2 του Παραρτήματος 1), όπου επικρατεί πίεση χαμηλότερη από την πίεση κορεσμού του εισερχομένου θαλασσινού νερού δηλαδή στην περίπτωση μας κενό 461 mmHg. Η απότομη πτώση της πίεσης έχει ως αποτέλεσμα μέρος του νερού να εξατμίζεται ακαριαία, μειώνοντας τη θερμοκρασία του υπολοίπου στη θερμοκρασία κορεσμού, η οποία αντιστοιχεί στην πίεση του θαλάμου.

Το νερό που απομένει διοχετεύεται στο θάλαμο της επόμενης βαθμίδας (2st stage) όπου επικρατεί πίεση χαμηλότερη από εκείνη του θαλάμου εξάτμισης, δηλαδή κενό 640 mmHg και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Ο ατμός διαχωρίζεται από τα σταγονίδια νερού περνώντας μέσα από το μεταλλικό πλέγμα, και συμπυκνώνεται ψυχόμενος με το προς προς εξάτμιση θαλασσινό νερό, το οποίο με τον τρόπο αυτό προθερμαίνεται (distillate cooler).

Όπως και προηγουμένως, οι χαμηλές πιέσεις στους θαλάμους αναπτύσσονται με τη βοήθεια εκχυτήρα ατμού (2 stages air ejector). Οι χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας,

δηλαδή 75,8°C στον πρώτο θάλαμο και 55,5°C συντελούν στη μη επικάλυψη αλάτων, γι' αυτό και δεν απαιτείται χημική επεξεργασία του τροφοδοτικού νερού.

Τα παραπάνω στοιχεία για την πίεση και τη θερμοκρασία των θαλάμων των μονάδων τα έχουμε εξάγει από το εγχειρίδιο.Τυπικές μορφές αυτών των εγκαταστάσεων φαίνονται στο Παράρτημα 1, 1.Α .

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες σε γλυκό νερό χρειάζεται να παράγονται 60 τόνοι νερού την ημέρα. Αυτό μεταφράζεται σε αντίστοιχη κατανάλωση ατμού από τον αποστακτήρα.

Όταν το πλοίο βρίσκεται σε λιμάνι με ρυπασμένο θαλασσινό νερό, διακόπτεται η λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης.

Στους υπολογισμούς μας αργότερα θα κατασκευάσουμε το μοντέλο μόνο της πρώτης, δηλαδή του αποστακτήρα εμβαπτισμένων αυλών, γιατί είναι και αυτή που αποτυπώνεται στα διαγράμματα ροής.

2.6 Ψυγείο Διαρροών Λαβυρίνθων (Gland Condenser)

Πρόκειται για το ψυγείο όπου ψύχονται, με τη βοήθεια του συμπυκνώματος που έρχεται από το κύριο ψυγείο, όλα τα ρεύματα διαρροών της εγκατάστασης τα οποία προέρχονται από τους στροβίλους πρόωσης, το στρόβιλο της τροφοδοτικής αντλίας και τον απαερωτή.

2.7 Προθερμαντήρας Χαμηλής Πίεσης (Low Pressure Heater)

Πρόκειται για εναλλάκτη με αυλούς, ο οποίος προθερμαίνει το συμπύκνωμα του κύριου ψυγείου με τη χρήση ενέργειας που παίρνει από την απομάστευση του στροβίλου χαμηλής πίεσης. Το συμπύκνωμα αυτό οδηγείται στον απαερωτή, ενώ το συμπύκνωμα του ρεύματος απομάστευσης στη δεξαμενή υγρών αποστραγγίσεων. Ο προθερμαντήρας έχει απώλειες ακτινοβολίας και άλλες απώλειες (άδηλες απώλειες).

2.8 Δεξαμενή Υγρών Αποστραγγίσεων (Drain Tank)

Στην εν λόγω δεξαμενή συγκεντρώνονται τα συμπυκνώματα που έρχονται από τον προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης, το ψυγείο διαρροών λαβυρίνθων, τον αποστακτήρα και τον εκχυτήρα του. Εκεί γίνεται και αναπλήρωση των απωλειών ατμού λόγω κατανάλωσης στους εκκαπνιστές, στους διασκορπιστές καυσίμου και λοιπών απωλειών. Μετά την ανάμιξη τους, όλα αυτά τα ρεύματα συγκεντρώνονται σε ένα συμπύκνωμα που αναμιγνύεται αδιαβατικά με αυτό του κύριου ψυγείου για να οδηγηθεί στον απαερωτή.

2.9 Απαερωτής (Dearator)

Το συμπύκνωμα περνά από τον απαερωτή προκειμένου να απαλλαχθεί από τον αέρα που περιέχει. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ατμού που έρχεται από την έξοδο του στροβίλου της τροφοδοτικής αντλίας νερού καθώς και από τη δεύτερη απομάστευση. Ο απαερωτής έχει απώλειες ακτινοβολίας, διαρροών και άλλες απώλειες.

2.10 Τροφοδοτική αντλία νερού και στρόβιλος (Feed water pump and turbine)

Η τροφοδοτική αντλία νερού φέρνει το συμπύκνωμα στην κατάλληλη πίεση προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία του λέβητα. Κινείται με τη βοήθεια ειδικού στρόβιλου ο οποίος χρησιμοποιεί υπέρθερμο ατμό από το λέβητα.

2.11 Καταναλωτές

Υπάρχουν δώδεκα καταναλωτές που εξυπηρετούνται από τον παραγωγό ατμού χαμηλής πίεσης (Low Pressure Steam Generator), οι οποίοι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Καταναλωτές που εξυπηρετούν τη λειτουργία του συστήματος:

Πρόκειται για τον θερμαντήρα του πετρελαίου (FO heater), τους εξατμιστές του υγροποιημένου φυσικού αερίου από τις δεξαμενές (forcing vaporizer και lng vaporizer) και τους προθερμαντήρες αερίου πριν την εισαγωγή του στους καυστήρες (gas heaters).

- Εξωτερικοί καταναλωτές:

Πρόκειται για τον θερμαντήρα γλυκού νερού, που χρησιμοποιείται στις ενδιαιτήσεις (calorifier), τους θερμαντήρες των δεξαμενών καυσίμου πετρελαίου (FO tank heating), το διαχωριστή νερού σεντινών (bilge water separator), τον θερμαντήρα λιπαντικού ελαίου (lub oil heater), τον θερμαντήρα (accommodation) που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χώρων ενδιαίτησης. Τέλος υπάρχουν εγκαταστημένοι και δύο θερμαντήρες νερού γλυκόλης (glycol water heaters). Το σύστημα γλυκόλης (glycol water heater) χρησιμοποιείται για να κρατήσει σταθερή τη θερμοκρασία στα κενά μεταξύ των δεξαμενών (cofferdams), ούτως ώστε να μην πέσει η θερμοκρασία του ατσαλιού κάτω από 5°C.

2.12 Ατμογεννήτρια Χαμηλής Πίεσης (Low Pressure Steam Generator)

Η εγκατάσταση αυτή χρησιμοποιεί τον ατμό της απομάστευσης του Στρόβιλου Υψηλής Πίεσης για να μετατρέψει το συμπύκνωμα που έρχεται από τους διάφορους καταναλωτές σε ατμό τροφοδοσίας τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Επεξεργασία των δεδομένων διαγραμμάτων ροής

Στο παρόν κεφάλαιο δίνονται οι προκαταρκτικοί υπολογισμοί που βασίστηκαν στα διαγράμματα ροής του εγχειριδίου (manual) και περιλαμβάνουν υπολογισμούς και επεξεργασία δεδομένων. Η όλη διαδικασία έγινε για ένα σύνολο αντιπροσωπευτικών καταστάσεων λειτουργίας και συνεισέφερε στην κατανόηση της λειτουργίας της εγκατάστασης αλλά και στη μεταγενέστερη ανάπτυξη της πορείας υπολογισμών. Ακολουθεί καταγραφή της διαδικασίας για την κατάσταση πλήρους φορτίου με καύση φυσικού αερίου, ενώ για τις υπόλοιπες καταστάσεις έχουμε καταγραφή μόνο των αριθμητικών αποτελεσμάτων.

3.1 Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Φυσικού Αερίου

3.1.1 Δεδομένα

Από το διάγραμμα ροής που έχουμε στη διάθεσή μας (βλ. Παράρτημα 1, 1.B.1), μεταφέρονται στον Πίνακα 3.1.1.1 τα δεδομένα για την παροχή μάζας και τις ιδιότητες του ρευστού στα διάφορα σημεία (ροές). Αναφέρονται όσα σημεία συμμετέχουν στους υπολογισμούς της Παραγράφου 3.1.2.

Πίνακας 3.1.1.1 Δεδομένα από το διάγραμμα ροής για λειτουργία στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου.

Σημείο	Παροχή μάζας \dot{m} [kg/s]	Πίεση P [bar]	Θερμοκρασία T [°C]	Ενθαλπία h [kJ/kg]	Εντροπία s [kJ/kgK]
Υπέρθερμος ατμός					
B	15,26	61,3	515	3457,1	
0	27,153	59,8	510	3446,9	6,91
1	27,153	53,82		3446,9	
2	25,943	6,51	234,4	2922,7	
3	23,41	6,51	234,4	2922,7	7,08
4	21,2267	0,05325			
c	21,227	0,05325			
5	2,0883	59,8	510	3446,9	6,91
6	1,2833	59,8	510	3446,9	
Αφυπέρθερμος ατμός					
d ₁	2,072	0,05325			
d ₆	0,0139				
d ₇	1,2358		138,9		

d ₈	0,403	6,51	234,4	2918,7	
d ₁₁	2,1689				
d ₁₂	1,2789	3,563			
d ₁₆	0,1957	61,3	287	2828,6	
d ₃₈	1,210556	8,83	175	2773,5	
d ₃₉	1,1711	19,1	359,3	3160,1	
d ₄₂	1,236	6,51	234,4	2918,7	
Κορεσμένο και υπόψυκτο νερό					
σ ₁	23,313				
σ ₂	23,313		32,5	136,071	
σ ₃	23,313	3,43	42,8	179,5	
σ ₄	0,1086	1	90	377	
σ ₈	0,403	1,013	90	376,81	
σ ₁₀	23,313	3,43	45,5	190,8	
σ ₁₁	3,369	1,013	53,5	224	
σ ₁₂	23,313	3,43	45,5	190,8	
σ ₁₄	23,313	3,43	103,2	432,8	
σ ₁₅	27,603		97,4		
σ ₁₆	30,91	3,43	138,15	581,3	
σ ₁₈	30,91	75,5			
σ ₁₉	15,456	75,5	140,4	595,6	
σ ₂₀	0,0678		170	711,756	
σ ₂₃	0,00278		170	711,756	
σ ₂₆	0,182		170	711,756	
σ ₃₇	1,211		80	334,944	
σ ₃₈	4,272	52,9		223,4	
σ ₄₁	1,711		140	586,152	
Απομαστεύσεις					
e ₁	1,1711	19,1	359,3	3160,1	
e ₂	2,529	6,51	234,4	2918,7	
e ₃	2,1475	1,5	120,9	2713,2	
Διαρροές στροβίλων					
g _{1.HP}	0,03944				
g _{1.LP}	0,039722				
g ₁	0,079167				
g ₂	0,0139				
g ₃	0,0111				
g ₄	4,44 · 10 ⁻³				
g ₅	0,1086				
Αέρας					
a _i		1,013	38		
a _o		1,013	120		

3.1.2 Υπολογισμοί

Λέβητας

Υπολογίζουμε το βαθμό απόδοσης με βάση τα δεδομένα από το διάγραμμα ροής. Άλλα στοιχεία (καμπύλες από εγχειρίδια κλπ) δε χρησιμοποιήθηκαν. Σημείωση: Υπάρχουν δύο λέβητες ιδίων χαρακτηριστικών στην εγκατάσταση και ανάλογα θα προσαρμόσουμε τους υπολογισμούς μας.

Οι παροχές μάζας - εφόσον έχουμε δύο λέβητες και στο διάγραμμα ροής παρουσιάζονται στοιχεία και για τους δύο – έχουν ως εξής:

$$2 m_B = 109872 \text{ kg/h} \Rightarrow m_B = 54936 \text{ kg/h}$$

$$2 m_{\sigma 19} = 111281 \text{ kg/h} \Rightarrow m_{\sigma 19} = 55640,5 \text{ kg/h}$$

$$2 m_{d16} = 1409 \text{ kg/h} \Rightarrow m_{d16} = 704,5 \text{ kg/h}$$

Αέρας

Στο εγχειρίδιο υπάρχει πίνακας που δίνει την παροχή αέρα για καύση πετρελαίου ή φυσικού αερίου σε διάφορες καταστάσεις. Κάνουμε αναγωγή με βάση τα στοιχεία από το εγχειρίδιο (βλ. Παράρτημα 2, Πίνακας 2.2) για να βρούμε την κατανάλωση αέρα.

Από τον πίνακα βλέπουμε ότι για λειτουργία με κατανάλωση καυσίμου φυσικού αερίου στην κατάσταση NORMAL δηλαδή παραγωγή πλήρους φορτίου πρόωσης, ισχύουν τα εξής:

$$\text{BOGconsumption} = 2970 \text{ kg/h} = 0,825 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{A1'} = 56954 \text{ kg/h} \Rightarrow \dot{m}_{A1'} = 15,82 \text{ kg/s}$$

Θεωρούμε σταθερό λόγο αέρα καύσης λ_a , επομένως με βάση τα παραπάνω και για την κατανάλωση καυσίμου που αποτυπώνεται στο διάγραμμα ροής, $\dot{m}_{\text{BOG}} = 0,91917 \text{ kg/s}$ θα έχουμε παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα ίση με, $\dot{m}_{A1} = 17,626 \text{ kg/s}$.

Για το καύσιμο γνωρίζουμε από τα στοιχεία του εγχειριδίου και τα διαγράμματα ροής ότι η κατώτερη θερμογόνοος ικανότητα ισούται με $H_{u,\text{GAS}} = 13270 \text{ kcal/kg}$, δηλαδή ότι $H_{u,\text{GAS}} = 55558,836 \text{ kJ/kg}$

Έχουμε για τον αέρα $c_{pa} = 1,005 \text{ kJ/kgK}$ καθώς γνωρίζουμε από το εγχειρίδιο για τον Προθερμαντήρα Αέρα με Ατμό (Steam Air Heater, SAH) ότι:

$$\text{AIR} = 38^\circ\text{C}/120^\circ\text{C}$$

$$\text{Steam} = 210^\circ\text{C}/138,9^\circ\text{C}$$

Ο ισολογισμός ενέργειας στον λέβητα γράφεται :

$$[\dot{m}_f \cdot H_u + \dot{m}_a \cdot c_{pa} \cdot (T_{a0} - T_o)] \cdot \eta_\Lambda = \dot{m}_B \cdot h_B + \dot{m}_{d16} \cdot h_{d16} - \dot{m}_{\sigma 19} \cdot h_{\sigma 19} \quad (3.1.2.1)$$

όπου T_o η θερμοκρασία αναφοράς για τον υπολογισμό των ενθαλιπών. Έχουμε ότι

$$T_o = 0^\circ\text{C}.$$

Προκύπτει ότι $\eta_B = 82,913\%$ ενώ στο διάγραμμα ροής σημειώνεται η τιμή, $\eta_\Lambda = 83,9\%$.

Προθερμαντήρας Αέρα με Ατμό (Steam Air Heater-SAH)

Με την παραδοχή μηδενικών απωλειών θερμότητας, κάνουμε ισολογισμό στον SAH για να βρούμε την ενθαλπία στο σημείο d7.

Ορίζουμε τα σημεία a_i (σημείο εισαγωγής του αέρα) και a_o (σημείο εξαγωγής του αέρα) στα οποία έχουμε τις εξής θερμοκρασίες: $T_{ai}= 38 \text{ }^\circ\text{C}$ και $T_{ao}= 120 \text{ }^\circ\text{C}$. Για τις μάζες στα σημεία d_{42} και d_7 , εφόσον έχουμε έναν προθερμαντήρα για κάθε λέβητα, θα ισχύουν τα εξής:

$m_{d42}/2= 2224,5 \text{ kg/h}$ και $m_{d7}/2= 2224,5$ Τελικά:

$$\dot{m}_a \cdot c_{pa} \cdot (T_{ao} - T_{ai}) = \dot{m}_{d42}(h_{d42} - h_{d7}) \quad (3.1.2.2)$$

Προκύπτει ότι $h_{d7}=533,2196 \text{ kJ/kg}$.

Από το εγχειρίδιο όμως βλέπουμε ότι τα χαρακτηριστικά του ρεύματος $d7$ έχουν ως εξής:

d7		
P	3,56325	bar
T	138,9	C
h	584,5	kJ/kg
s	1,73	kJ/kgK

Αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούμε για τους περαιτέρω υπολογισμούς μας εδώ και αργότερα ως πρώτη προσέγγιση στην ανάπτυξη του προγράμματος. Έχει παρατηρηθεί ότι οδηγούν σε σωστότερα αποτελέσματα.

Προθερμαντήρας Χαμηλής Πίεσης (Low Pressure Heater)

Με την παραδοχή μηδενικών απωλειών θερμότητας κάνουμε ισολογισμό στον Προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης για να βρούμε την ενθαλπία στο σημείο $d6$:

$$\dot{m}_{e2} \cdot h_{e2} + \dot{m}_{d7} \cdot h_{d7} + \dot{m}_{\sigma 10} \cdot h_{\sigma 10} = \dot{m}_{\sigma 14} \cdot h_{\sigma 14} + \dot{m}_{\sigma 11} \cdot h_{\sigma 11} + \dot{m}_{d6} \cdot h_{d6} \quad (3.1.2.3)$$

Προκύπτει ότι $h_{d6}= 6416,628 \text{ kJ/kg}$

Η ενθαλπία που προέκυψε είναι πολύ υψηλή και δεν είναι σωστή. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο προθερμαντήρας χαμηλής πίεσης έχει άδηλες απώλειες (απώλειες ακτινοβολίας και λοιπές). Ως εκ τούτου υπολογίζουμε το ποσό των άδηλων απωλειών θεωρώντας μια λογική ενθαλπία για το ρεύμα d_6 . Στη συνέχεια εκφράζουμε τις άδηλες απώλειες ως ποσοστό της ενέργειας που παρέχεται στον εναλλάκτη, δηλαδή του ρεύματος e_3 .

Θεωρούμε ότι η ενθαλπία του ρεύματος d_6 ισούται με την ενθαλπία κορεσμένου ατμού θερμοκρασίας T_{e3} . Επιπλέον η παροχή μάζας θεωρείται σταθερή και ίση με 50 kg/h . Συνεπώς,

$$\dot{m}_{e3} \cdot h_{e3} + \dot{m}_{d7} \cdot h_{d7} + \dot{m}_{\sigma 10} \cdot h_{\sigma 10} = \dot{m}_{\sigma 14} \cdot h_{\sigma 14} + \dot{m}_{\sigma 11} \cdot h_{\sigma 11} + \dot{m}_{d6} \cdot h_{d6} + \dot{Q}_{LP} \quad (3.1.2.4)$$

$$\text{Τελικά, } \dot{Q}_{LP} = 51,5193 \text{ kW και } \pi_{LP} = \dot{Q}_{LP} / \dot{m}_{e3} \cdot h_{e3} = 0,0088421$$

Ψυγείο Διαρρών Λαβυρίνθων (Gland Condenser)

Κάνουμε ισολογισμό στο Ψυγείο Διαρρών Λαβυρίνθων για να βρούμε την ενθαλπία στο σημείο εισαγωγής των διαρρών g_5 .

$$h_{g5} = \frac{\dot{m}_{\sigma3} \cdot (h_{\sigma12} - h_{\sigma3}) + \dot{m}_{g5} \cdot h_{\sigma4}}{\dot{m}_{g5}} = 2802,483 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (3.1.2.5)$$

Στρόβιλοι

Προκαταρκτικοί υπολογισμοί

Από εγχειρίδιο γνωρίζουμε ότι η ισχύς που παράγουν και οι δύο στρόβιλοι μαζί ισούται με $\dot{W}_T = 36800 \text{ PS} = 27066 \text{ kW}$ καθώς και την κατανομή της ισχύος μεταξύ των στρόβιλων. Η ισχύς που παράγει ο στρόβιλος υψηλής πίεσης είναι ίση με $\dot{W}_{T1} = 18134 \text{ PS} = 13337 \text{ kW}$ ενώ ο χαμηλής πίεσης,

$$\dot{W}_{T2} = 18666 \text{ PS} = 13729 \text{ kW}$$

Από το σημείο 0 μέχρι το σημείο 1 θεωρούμε πτώση πίεσης κατά $0,1P_0$ (βλ. και [2]), επομένως:

$$P_1 = 0,9 \cdot P_0 = 0,9 \cdot 59,8 = 53,82 \text{ bar}$$

Από την άλλη $h_1 = h_0 = 3446,9 \text{ kJ/kg}$ ενώ $\dot{m}_1 = \dot{m}_0 = 27,153 \text{ kg/s}$.

Η συνολική παροχή διαρροών λαβυρίνθων ισούται με $\dot{m}_g = 285 \text{ kg/h}$ και για το στρόβιλο υψηλής πίεσης έχουμε $\dot{m}_{g1} = 142 \text{ kg/h}$ ενώ για το στρόβιλο χαμηλής πίεσης έχουμε $\dot{m}_{g2} = 143 \text{ kg/h}$.

Συνεπώς οι διάφορες παροχές μάζας έχουν ως εξής:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 - \dot{m}_{e1} = 25,982 \text{ kg/s} \quad (3.1.2.6)$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 - \dot{m}_{e2} - \dot{m}_{g1} = 23,414 \text{ kg/s} \quad (3.1.2.7)$$

$$\dot{m}_{4\equiv i} = \dot{m}_3 - \dot{m}_{e3} = 21,267 \text{ kg/s} \quad (3.1.2.8)$$

$$\dot{m}_c = \dot{m}_4 - \dot{m}_{g2} = 21,227 \text{ kg/s} \quad (3.1.2.9)$$

Προσδιορισμός της ενθαλπίας εξόδου του στρόβιλου χαμηλής πίεσης

Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στρόβιλου δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{SL2} = \frac{\Delta h_{SL}}{\Delta h_{AE}} = \frac{h_3 - h_i}{h_3 - h_{p4}} \quad (3.1.2.10)$$

Τα σημεία 3 και e_2 είναι γνωστά και ορίζουν τη γραμμή αποτόνωσης, καθώς και την τιμή η_{SL}' μεταξύ αυτών. Μπορεί να υπολογιστεί και σε πρώτη προσέγγιση να θεωρηθεί ότι $\eta_{SL} = \eta_{SL}'$.

Έχουμε ότι:

$$\eta_{SL2}' = \frac{h_3 - h_{e2}}{h_3 - h_{e2}'} \quad (3.1.2.11)$$

Γνωρίζουμε ότι $h_{e2}' = h(s_3, P_{e2})$. Συνεπώς από διάγραμμα Mollier προκύπτει ότι $h_{e2}' = 2637,5 \text{ kJ/kg}$.

Συνεπώς $\eta_{SL2}' = 0,7346$

$$\text{Επιπλέον γνωρίζουμε ότι } \Delta h_{AE} = h_3 - h_{p4} \quad (3.1.2.12)$$

$$\text{ενώ } h_{p4} = h(s_3, P_4). \quad (3.1.2.13)$$

Για πίεση P_4 έχω για κορεσμένο νερό $s_f = 0,49 \text{ kJ/kgK}$ ενώ για κορεσμένο ατμό, $s_g = 8,37 \text{ kJ/kgK}$.

Άρα η ξηρότητα ισούται με

$$x = \frac{s_3 - s_f}{s_g - s_f} = 0,8363 \quad (3.1.2.14)$$

$$\text{Επομένως, } h_p = h_f + x \cdot (h_g - h_f) \quad (3.1.2.15)$$

Όπου $h_g = 2562,8 \text{ kJ/kg}$ και $h_f = 142,5 \text{ kJ/kg}$

Προκύπτει ότι $h_p = 2166,583 \text{ kJ/kg}$.

Εφόσον

$$\text{Από (3.1.2.10)} \Rightarrow h_i = h_3 - \eta_{SL} \cdot (h_3 - h_p) \quad (3.1.2.16)$$

Άρα $h_i = 2367,278 \text{ kJ/kg}$

Από τα κατασκευαστικά σχέδια του στροβίλου χαμηλής πίεσης έχουμε προσδιορίσει ότι $A_a = 2,159 \text{ m}^2$. Επομένως,

$$\frac{\dot{m}_c}{P_c \cdot A_a} = 886,78 \frac{\text{kg/h}}{\text{mmHg} \cdot \text{m}^2} \quad (3.1.2.17)$$

Από [1], Σχήμα 7 προκύπτει ότι $\Delta h_{EL} = 26,8 \text{ kJ/kg}$

$$\text{Επομένως } h_4 = h_w = h_i + \Delta h_{EL} = 2394,078 \text{ kJ/kg}. \quad (3.1.2.18)$$

Υπολογισμός ισχύων

Οι ισχύες των στροφείων των δυο στροβίλων ισούνται με:

$$\dot{W}_{w1} = \dot{m}_1(h_1 - h_{e1}) + \dot{m}_2(h_{e1} - h_2) = 13955,76 \text{ kW} \quad (3.1.2.19)$$

$$\dot{W}_{w2} = \dot{m}_3(h_3 - h_{e3}) + \dot{m}_4(h_{e3} - h_w) = 13508,12 \text{ kW} \quad (3.1.2.20)$$

$$\text{Επομένως } \dot{W}_w = \dot{W}_{w1} + \dot{W}_{w2} = 27463,88 \text{ kW} \quad (3.1.2.21)$$

Για το στρόβιλο υψηλής πίεσης έχουμε ότι,

$$\eta_{M1} = \frac{\dot{W}_{T1}}{\dot{W}_{w1}} = 0,9557 \quad (3.1.2.22)$$

Από [1] με βάση την πίεση στο κύριο ψυγείο προσδιορίζουμε το συντελεστή απωλειών ανεμισμού του τροχού ανάποδα $r_{RL} = 0,6\%$.

Επομένως,

$$\eta_{ML} = \frac{(1 + r_{RL})\dot{W}_T}{\dot{W}_w} = 1,061631 \quad (3.1.2.23)$$

Αυτή η τιμή είναι λάθος. Συνεπώς ξανακάνουμε τους υπολογισμούς θεωρώντας δεδομένο η_{ML} :

Θεωρούμε ότι $\eta_{ML} = 0,982$

Συνεπώς προκύπτει ότι,

$$\dot{W}_w = \frac{(1 + r_{RL})\dot{W}_T}{\eta_{ML}} = 27727,49 \text{ kW} \quad (3.1.2.24)$$

$$\text{Άρα } \dot{W}_{w2} = \dot{W}_w - \dot{W}_{w1} \quad (3.1.2.25)$$

Συνεπώς $\dot{W}_{w2} = 13771,74 \text{ kW}$ και $h_w = 2296,281 \text{ kJ/kg}$.

Επομένως $h_4 = 2296,281 \text{ kJ/kg}$. Προκύπτει ότι για την τιμή αυτή της ενθαλπίας η ξηρότητα στο σημείο Ι θα είναι ίση με $x_4 = 0,8899$ και άρα τη δεχόμαστε.

Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στρόβιλου χαμηλής πίεσης προκύπτει αυτή τη φορά ίσος με $\eta_{sL} = 0,86391$. Παρατηρούμε δηλαδή ότι είναι μεγαλύτερος από αυτόν που είχαμε υποθέσει αρχικά και που αποτελεί τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης των πρώτων βαθμίδων –μέχρι την απομάστευση- του στρόβιλου.

Μικρός βαθμός απόδοσης στις πρώτες βαθμίδες σημαίνει ότι ο ατμός εκεί έχει υψηλότερα χαρακτηριστικά τα οποία εκμεταλλεύονται οι επόμενες βαθμίδες. Οι τελευταίες βαθμίδες, ωστόσο, πρέπει να έχουν καλύτερο βαθμό απόδοσης γιατί δεν υπάρχουν άλλες βαθμίδες να εκμεταλλευτούν την υψηλή αυτή ενθαλπία.

Προκύπτει επίσης ότι,

$$\Delta h_{RL} = \frac{r_{RL}\dot{W}_T}{\dot{m}_4} = 7,636 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (3.1.2.26)$$

Και συνεπώς η ενθαλπία εισαγωγής στο κύριο ψυγείο θα ισούται με,

$$h_c = h_w + \Delta h_{RL} = 2303,918 \text{ kJ/kg} \quad (3.1.2.27)$$

Ενθαλπίες διαρροών λαβυρίθων

Για το στρόβιλο υψηλής πίεσης θα έχουμε ότι:

$$\Delta h_{sL} = h_1 - h_2 = 524,2 \text{ kJ/kg} \quad (3.1.2.28)$$

$$\text{και ότι } \Delta h_w = \Delta h_{sL} \quad (3.1.2.29)$$

$$\text{Συνεπώς } h_{g1.HP} = h_1 - 0,4 \Delta h_w = 3237,219 \text{ kJ/kg} \quad (3.1.2.30)$$

Ενώ για το στρόβιλο χαμηλής πίεσης:

$$\text{Έχουμε ότι } \Delta h_{sL} = h_3 - h_4 = 555,4223 \text{ kJ/kg} \quad (3.1.2.31)$$

Επιπλέον έχουμε υπολογίσει ότι $\Delta h_{eL} = 26,8 \text{ kJ/kg}$.

Συνεπώς $\Delta h_w = 528,6223 \text{ kJ/kg}$ και $h_{g1.LP} = 2711,251 \text{ kJ/kg}$.

Τελικά $h_{g1} = 2973,312 \text{ kJ/kg}$

Ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης στα επιμέρους τμήματα των στρόβιλων πρόωσης

Οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης θα μας φανούν χρήσιμοι σε επόμενους υπολογισμούς.

Στρόβιλος Υψηλής Πίεσης

Από το σημείο 1 έως την πρώτη απομάστευση e_1 ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης θα ισούται με:

$$\eta_{sL1.1} = \frac{h_1 - h_{e1}}{h_1 - h_{pe1}} \quad (3.1.2.32)$$

όπου,

$$h_{pe1} = h(s_1, P_{e1}) = 3132,251 \text{ kJ/kg} \quad (3.1.2.33)$$

Συνεπώς, $\eta_{SL1.1} = 0,911523$.

Από το σημείο e1 έως την έξοδο του στροβίλου υψηλής πίεσης (σημείο 2) ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης θα ισούται με:

$$\eta_{SL1.2} = \frac{h_{e1} - h_2}{h_{e1} - h_{p2(2)}} \quad (3.1.2.34)$$

όπου,

$$h_{p2(2)} = h(s_{e1}, P_2) = 2890,363 \text{ kJ/kg} \quad (3.1.2.35)$$

Συνεπώς, $\eta_{SL1.2} = 0,8801409$.

Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου υψηλής πίεσης θα είναι ίσος με,

$$\eta_{SL1} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{p2}} \quad (3.1.2.36)$$

όπου, $h_{p2} = h(s_1, P_2) = 2864,588 \text{ kJ/kg}$ και συνεπώς $\eta_{SL1} = 0,90022$.

Στρόβιλος Χαμηλής Πίεσης

Από την είσοδο του στροβίλου χαμηλής πίεσης έως την απομάστευση e3, ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης θα ισούται με:

$$\eta_{SL2.1} = \frac{h_3 - h_{e3}}{h_3 - h_{pe3}} \quad (3.1.2.37)$$

όπου,

$$h_{pe3} = h(s_3, P_{e3}) = 2639,455 \text{ kJ/kg}$$

Συνεπώς, $\eta_{SL2.1} = 0,7396$.

Από το σημείο e3 έως την έξοδο του στροβίλου χαμηλής πίεσης (σημείο 4) ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης θα ισούται με:

$$\eta_{SL2.2} = \frac{h_{e3} - h_i}{h_3 - h_{p4(2)}} \quad (3.1.2.38)$$

όπου,

$$h_{p4(2)} = h(s_{e3}, P_4) = 2226,298 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (3.1.2.39)$$

Συνεπώς, $\eta_{SL2.2} = 0,85627$.

Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου χαμηλής πίεσης θα είναι ίσος με,

$$\eta_{SL2} = \frac{h_3 - h_i}{h_3 - h_{p4}} \quad (3.1.2.40)$$

$$\text{όπου, } h_{p4} = h(s_3, P_4) = 2166,169 \text{ kJ/kg} \quad (3.1.2.41)$$

και συνεπώς $\eta_{SL2} = 0,82801$.

Σύστημα Ατμογεννήτριας Χαμηλής Πίεσης και Ψυγείου Συμπυκνώματος

Το Ψυγείο Συμπυκνώματος προθερμαίνει το νερό που εξατμίζεται στην Ατμογεννήτρια, ψύχοντας το συμπύκνωμα του ατμού που έρχεται από αυτή.

Ισχύουν τα ακόλουθα:

Το σημείο d₃₉ έχει τις ίδιες ιδιότητες με το d₁₈, άρα και με το e₁.

Θεωρώ ότι στο σημεία σ_{37} έχουμε νερό πίεσης $P_{\sigma_{37}}=8,825$ bar και θερμοκρασίας $T_{\sigma_{37}}=80^{\circ}\text{C}$ ενώ στο σημείο και σ_{41} έχουμε νερό πίεσης $P_{\sigma_{41}}=19,1$ bar και θερμοκρασίας $T_{\sigma_{41}}=140^{\circ}\text{C}$, επομένως:

$$h_{\sigma_{37}}=336,1395 \text{ kJ/kg} \text{ ενώ } h_{\sigma_{41}}=590,2061 \text{ kJ/kg.}$$

Θα εξετάσουμε αν κλείνει ο ισολογισμός ενέργειας.

Η ενέργεια που δίνει ο ατμός ισούται με :

$$\dot{Q}_{st} = \dot{m}_{d39} \cdot (h_{d39} - h_{\sigma_{41}}) = 3009,631 \text{ kW} \quad (3.1.2.42)$$

Η ενέργεια που παίρνει το συμπύκνωμα είναι ίση με:

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_{\sigma_{37}} \cdot (h_{d38} - h_{\sigma_{37}}) = 2950,56 \text{ kW} \quad (3.1.2.43)$$

Τελικά οι θερμικές απώλειες θα είναι ίσες με:

$$\Delta\dot{Q} = \dot{Q}_{st} - \dot{Q}_w = 59,07105 \text{ kW} \quad (3.1.2.44)$$

Τις θερμικές αυτές απώλειες τις εκφράζουμε ως ποσοστό της ενέργειας που παίρνει το συμπύκνωμα, δηλαδή έχουμε:

$$\pi_{LPSG} = \Delta\dot{Q}/\dot{Q}_w = 0,0200203 \quad (3.1.2.45)$$

Ζεύγος τροφοδοτικής αντλίας- Στροβίλου

Υπολογισμός της ισχύος που καταναλώνει η αντλία

Οι υπολογισμοί έγιναν σύμφωνα με το παράδειγμα του βιβλίου [2] σελ.90.

Η αντλία λειτουργεί με πίεση κατάθλιψης $P_{\sigma_{18}}=77 \text{ kg/cm}^2\text{A}=75,5$ bar. Στην αναρρόφηση η πίεση είναι ίση με $P_{\sigma_{16}}=3,5 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (κορεσμένο νερό) και $h_{\sigma_{16}}=581,3 \text{ kJ/kg}$.

Η ονομαστική παροχή του τροφοδοτικού νερού υπολογίζεται ως εξής:

$$\dot{m}_{\tau\text{ov}} = f_{LB} \cdot \varphi_P \cdot \dot{m}_{\text{αναρ}} \quad (3.1.2.46)$$

Όπου $f_{LB} = 1,15$

$\varphi_P = 1,05$ (ρυθμιζόμενη ταχύτητα περιστροφής)

$\dot{m}_{\text{αναρ}} = 111281 \text{ kg/h}$

Άρα

$$\dot{m}_{\tau\text{ov}} = 37,3255 \text{ kg/s} \text{ και αφού δεν έχουμε ανακυκλοφορία } \dot{m}_{P\text{ov}} = \dot{m}_{\tau\text{ov}}. \quad (3.1.2.47)$$

Ο ειδικός όγκος νερού για πίεση $P_{\text{καταθλ}} = 75,5$ bar και $T_{\text{αναρ}}=138,15^{\circ}\text{C}$ (θερμοκρασία κορεσμού για $P=3,43$ bar) είναι ίσος με $v_f=0,001073612 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Άρα η ονομαστική παροχή όγκου ισούται με:

$$\dot{V}_{P\text{ov}} = v_f \cdot \dot{m}_{P\text{ov}} = 144,2632 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.1.2.48)$$

Επιπλέον για το ύψος της βαθμίδας (έχουμε διβάθμια αντλία) έχουμε:

$$H_{\text{ολ}} = \frac{\Delta P \cdot v_f}{g} = 788,738 \text{ mH}_2\text{O} \quad (3.1.2.49)$$

$$\text{και } H = \frac{H_{\text{ολ}}}{2} = 394,369 \text{ mmH}_2\text{O} \quad (3.1.2.50)$$

Από το διάγραμμα της αντλίας (εγχειρίδιο) προκύπτει ότι για $\dot{V}_{P\text{ov}} = 144,2632 \text{ m}^3/\text{h}$ ο ονομαστικός αριθμός στροφών είναι ίσος με $N_{\text{ov}}=7100 \text{ rpm}$. Έτσι ο ειδικός αριθμός στροφών προκύπτει ίσος με:

$$N_s = \frac{N_{\text{ov}} \cdot \sqrt{\dot{V}_{P\text{ov}}}}{H^{3/4}} = 963,626 \text{ RPM} \quad (3.1.2.51)$$

Συνεπώς από το Σχ.26 του [1] προκύπτει $\eta_{P\text{ov}}=0,71$.

Η πραγματική παροχή τροφοδοτικού νερού είναι ίση με $\dot{m}_p = 111281 \text{ kg/h}$, δηλαδή ίση με το,

$$\frac{111281}{134371,81} = 82,916\% \text{ της ονομαστικής, οπότε από το Σχ. 26 του [1] προκύπτει,}$$

$$f_{LP} = 99\%$$

$$\text{και } \eta_P = f_{LP} \cdot \eta_{Pov} = 0,7029. \quad (3.1.2.52)$$

Επομένως θα έχουμε:

$$\dot{V}_P = v_f \cdot \dot{m}_p = 119,473 \text{ m}^3/\text{h}$$

Η ονομαστική ισχύς που καταναλώνει η αντλία θα ισούται με:

$$\dot{W}_{Pov} = \frac{\dot{V}_{Pov} \cdot \Delta P}{\eta_{Pov}} = 406,7703 \text{ kW} = 553,0537 \text{ PS} \quad (3.1.2.53)$$

ενώ η πραγματική ισχύς σε πλήρες φορτίο με καύση Φυσικού Αερίου θα ισούται με:

$$\dot{W}_P = \frac{\dot{V}_P \cdot \Delta P}{\eta_P} = 340,272 \text{ kW} = 462,6411 \text{ PS} \quad (3.1.2.54)$$

Σημείωση

Για $\dot{V}_P = 119,473 \text{ m}^3/\text{h}$ προκύπτει από το διάγραμμα της αντλίας Steam Flow $\approx 4620 \text{ kg/h}$. Συμπεραίνουμε ότι τα στοιχεία των καμπυλών του εγχειριδίου για την αντλία συμπίπτουν με αυτά του διαγράμματος ροής.

Υπολογισμός της ισχύος που δίνει ο στρόβιλος

Από το διάγραμμα της αντλίας για $\dot{V}_P = 119,473 \text{ m}^3/\text{h}$ προκύπτει $h_{d12} = 739,57 \text{ kcal/kg} = 3096,43168 \text{ kJ/kg}$.

Ενθαλπία διαρρέοντος ατμού

$$\Delta h_{AE} = h_6 - h_p \quad (3.1.2.55)$$

$$h_p = h(s_6, P_{d12}) \quad (3.1.2.56)$$

Έχουμε ότι $s_6 = 6,91 \text{ kJ/kgK}$ και $P_{d12} = 3,56 \text{ bar}$. Συνεπώς από διάγραμμα Mollier $h_p = 2724,5 \text{ kJ/kg}$ και $\Delta h_{AE} = 722,4 \text{ kJ/kg}$.

$$\Delta h_{SL} = h_6 - h_{d12} = 350,4683 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Συνεπώς } \eta_{SL} = \frac{\Delta h_{SL}}{\Delta h_{AE}} = 0,48514 \text{ είναι ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης} \quad (3.1.2.57)$$

Εφόσον δεν υπάρχει ψυγείο κενού στην έξοδο του στροβίλου, ισχύει η Εξ. (3.1.2.29), δηλαδή, $\Delta h_w = \Delta h_{SL}$

$$\text{Έχουμε ότι } h_{g3} = h_6 - 0,4 \cdot \Delta h_w = 3306,71 \text{ kJ/kg} \quad (3.1.2.58)$$

Άρα η ισχύς του στροβίλου ισούται με,

$$\dot{W}_{wp} = \dot{m}_6 \cdot h_6 - \dot{m}_{gp} \cdot h_{gp} - \dot{m}_{d12} \cdot h_{d12} = 448,833 \text{ kJ/kg} \quad (3.1.2.59)$$

- Έστω ότι ο βαθμός απόδοσης του στροβίλου δίνεται από τον τύπο:

$$\eta_{MP} = \frac{1}{r_{ML} + r_{RL} + 1} \quad (3.1.2.60)$$

όπου $r_{ML} = 0,035$ και $r_{RL} = 0$

Τότε $\eta_{MP} = 0,966$ και $\dot{W}_{TP} = 433,655 \text{ kW}$.

- Έστω ότι ο βαθμός απόδοσης του στροβίλου είναι ίσος με $\eta_{MP} = 0,95$.

Τότε $\dot{W}_{TP} = 426,39 \text{ kW}$. Αυτή την τιμή παίρνουμε ως αποδεκτή.

Παρατηρούμε ότι η ισχύς που δίνει ο στρόβιλος στη συγκεκριμένη κατάσταση λειτουργίας φτάνει για να ικανοποιήσει και την ονομαστική και την πραγματική ισχύ της αντλίας. Με βάση αυτές τις τιμές μπορούμε επίσης να υπολογίσουμε την ισχύ του ζεύγους αντλία- στρόβιλος.

Απαερωτής

Κάνουμε ισολογισμό στον Απαερωτή για να βρούμε την ενθαλπία διαρροών, g_2 .

Έχουμε ότι:

$$h_{g2} = \frac{\dot{m}_{d11} \cdot h_{d11} + \dot{m}_{\sigma15} \cdot h_{\sigma15} + \dot{m}_{\sigma41} \cdot h_{\sigma41} - \dot{m}_{\sigma16} \cdot h_{\sigma16}}{\dot{m}_{g2}} =$$

$$= 7187,887 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (3.1.2.61)$$

Το αποτέλεσμα αυτό είναι μη αποδεκτό. Η ενθαλπία που προέκυψε είναι πολύ υψηλή και δεν είναι σωστή. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο απαερωτής έχει άδηλες απώλειες (απώλειες ακτινοβολίας και λοιπές). Ως εκ τούτου υπολογίζουμε το ποσό των άδηλων απωλειών θεωρώντας μια λογική ενθαλπία για το ρεύμα διαρροών g_2 . Στη συνέχεια εκφράζουμε τις άδηλες απώλειες ως ποσοστό της ενέργειας που παρέχεται στον εναλλάκτη, δηλαδή του ρεύματος d_{11} .

Θεωρούμε ότι η ενθαλπία διαρροών του απαερωτή, υποθέτουμε ότι είναι ίση με αυτή του ρεύματος d_{11} , και τελικά του e_2 . Επιπλέον η παροχή μάζας θεωρείται σταθερή και ίση με 50 kg/h. Συνεπώς,

$$h_{g2} \cdot \dot{m}_{g2} + \dot{m}_{\sigma16} \cdot h_{\sigma16} + \dot{Q}_D = \dot{m}_{d11} \cdot h_{d11} + \dot{m}_{\sigma15} \cdot h_{\sigma15} + \dot{m}_{\sigma41} \cdot h_{\sigma41} \quad (3.1.2.62)$$

Τελικά, $\dot{Q}_D = 124,342 \text{ kW}$ και $\pi_D = 0,019592$

Στρόβιλος Γεννήτριας

Ισολογισμός στο στρόβιλο που κινεί την ηλεκτρογεννήτρια.

Από το εγχειρίδιο της στροβιλογεννήτριας για ισχύ $P_G = 1840$ και για συνθήκες λειτουργίας 58 bar, 510 °C και κενό Κύριου Ψυγείου 710 mmHg, εξάγουμε ότι η ειδική κατανάλωση ατμού (Main Steam Consumption Rate) ισούται με $SR = 4,05 \text{ kg/kW}\cdot\text{h}$. Πολλαπλασιάζοντας το νούμερο την τιμή αυτή επί την ισχύ της γεννήτριας προκύπτει ότι $\dot{m}_{st} = 7452 \text{ kg/h}$.

Όμως στην κατάσταση λειτουργίας που εξετάζουμε έχουμε συνθήκες λειτουργίας 59,8 bar, 510 °C και κενό Κύριου Ψυγείου 722 mmHg ενώ $\dot{m}_{st} = 7500 \text{ kg/h}$. Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών παροχών δεδομένων και των διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας δεν είναι και πολύ μεγάλη. Επομένως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε χωρίς να έχουμε μεγάλες αποκλίσεις και το δεύτερο διάγραμμα της ενθαλπίας εξαγωγής που αναφέρεται στις ίδιες συνθήκες (58 bar, 510 °C και κενό Κύριου Ψυγείου 710 mmHg).

Έτσι η ενθαλπία εξόδου προκύπτει ίση με 587,8 kcal/kg, δηλαδή $h_{d1} = 2459,3552 \text{ kJ/kg}$. Επίσης $x_{d1} = 0,957$.

Σύμφωνα με την Εξ. (3.1.2.10), ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{SL} = \frac{\Delta h_{SL}}{\Delta h_{AE}} = \frac{h_5 - h_{d1}}{\Delta h_{AE}} \quad (3.1.2.63)$$

Γνωρίζουμε ότι $\Delta h_{AE} = h_5 - h_p$ ενώ $h_p = h(s_5, P_{d1})$.

Το σημείο εισόδου του ατμού στο Κύριο Ψυγείο βρίσκεται μέσα στην περιοχή υγρού ατμού, άρα υπολογίζω την ενθαλπία του ως εξής:

Για πίεση P_{d1} έχω για κορεσμένο νερό $s_f = 0,49$ kJ/kgK, ενώ για κορεσμένο ατμό είναι $s_g = 8,37$ kJ/kgK.

Συνεπώς, σύμφωνα με την Εξ. (3.1.2.14) η ξηρότητα ισούται με,

$$x = \frac{s_5 - s_f}{s_g - s_f} = 0,8147 \quad (3.1.2.64)$$

$$\text{Επομένως} \quad h_p = h_f + x \cdot (h_g - h_f) \quad (3.1.2.65)$$

Όπου $h_g = 2562,8$ kJ/kg και $h_f = 142,5$ kJ/kg

Προκύπτει ότι $h_p = 2114,369$ kJ/kg.

Τελικά $\eta_{SL} = 0,741$.

Ενθαλπία διαρρέοντος ατμού

Για την εύρεση της ενθαλπίας διαρρέοντος ατμού ακολουθούμε τη διαδικασία που περιγράφεται [1], σελ 41.

Η ειδική θεωρητική κατανάλωση ατμού ισούται με:

$$TSR = \frac{\dot{m}_5 \cdot 3600}{h_5 - h_p} = 2,7016 \frac{\text{kg}}{\text{kJ}} \quad (3.1.2.66)$$

Από το Σχ.20 ο συντελεστής διόρθωσης λόγω αρχικής πίεσης για $P_5 = 59,8$ bar και $P_G = 1840$ kW προκύπτει ίσος με $f_p = 0,966$.

Από το Σχ.19 ο συντελεστής διόρθωσης για διαφορετικές πιέσεις ψυγείου για $P_5 = 59,8$ bar και $P_{d1} = 39,9$ mmHg προκύπτει ίσος με $f_b = 0,993474$.

Από το Σχ.19 ο βασικός βαθμός απόδοσης για πίεση $P_G = 1840$ kW προκύπτει ίσος με $\eta_b = 0,683$.

Από το Σχ.21 ο συντελεστής διόρθωσης λόγω αρχικής θερμοκρασίας για $P_5 = 59,8$ bar και

$T = 510$ °C προκύπτει ίσος με $f_t = 1,0275$.

Η ονομαστική ειδική κατανάλωση ατμού ισούται με:

$$SR = \frac{TSR}{\eta_b \cdot f_p \cdot f_t \cdot f_b} = 4,0113 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \quad (3.1.2.67)$$

Το ονομαστικό φορτίο της γεννήτριας είναι ίσο με 3500 kW, συνεπώς τα 1840 kW που αποδίδει στη συγκεκριμένη κατάσταση λειτουργίας αντιστοιχούν στο 52,571% του ονομαστικού φορτίου. Επομένως από το Σχ.21 προκύπτει ότι $f_L = 0,914$.

Συνεπώς η ειδική κατανάλωση λειτουργίας θα ισούται με

$$SL_R = \frac{SR}{f_L} = 4,389 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \quad (3.1.2.68)$$

Τελικά η ενθαλπία διαρρέοντος ατμού προκύπτει ίση με,

$$h_{g4} = h_o - 0,3 \cdot \left(\frac{3600}{SR_L} \right) = 3200,817 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}. \quad (3.1.2.69)$$

Μηχανικός Βαθμός απόδοσης στροβιλογεννήτριας.

Ισχύουν τα εξής:

$$\eta_G \cdot \eta_M = \frac{P_G}{\dot{m}_{d1} \cdot (h_5 - h_{d1})} \quad (3.1.2.70)$$

Από πίνακα ισχύος – βαθμού απόδοσης της γεννήτριας για την ισχύ των 1840 kW με γραμμική παρεμβολή προκύπτει ότι $\eta_G = 94,72\%$.

Επομένως από την Εξ. (3.1.2.70) προκύπτει ότι $\eta_M = 0,9979$.

Αποστακτήρας

Ειδική κατανάλωση ενέργειας

Στον αποστακτήρα γίνονται υπολογισμοί για κάθε κατάσταση παραγωγής μέγιστης ισχύος για την οποία υπάρχουν στοιχεία από διαγράμματα ροής ώστε να βρούμε την ειδική κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή γλυκού νερού q_w . Για την κατάσταση παραγωγής μέγιστης ισχύος με καύσιμο Φυσικό Αέριο ισχύουν τα εξής:

Στον αποστακτήρα έχουμε δυο προσδώσεις ενέργειας. Μία από τον εκχυτήρα αέρα (ejector) και μία από τον ατμό. Σημειώνεται ότι ο ατμός με τον οποίο λειτουργεί ο εκχυτήρας προσφέρει μία πρώτη προθέρμανση στο θαλασσινό νερό. Συνεπώς,

$$\dot{Q}_{\text{eject}} = \dot{m}_{\text{eject}} \cdot (h_{st} - h_w) \quad (3.1.2.71)$$

Είναι γνωστό ότι $\dot{m}_{\text{eject}} = 75 \text{ kg/h}$.

Θεωρείται ισενθαλπική πτώση πίεσης στην είσοδο του εκχυτήρα και συνεπώς, $h_{st} = h_{d16} = 2828,6 \text{ kJ/kg}$.

Επίσης όπως προκύπτει από το εγχειρίδιο, η ενθαλπία του νερού ισούται με την ενθαλπία του κορεσμένου νερού στους 100°C και $h_w = 419,1 \text{ kJ/kg}$.

Άρα $\dot{Q}_{\text{eject}} = 50,198 \text{ kW}$

Η ενέργεια που προέρχεται από τον ατμό υπολογίζεται ως εξής,

$$\dot{Q}_{st} = \dot{m}_{st} \cdot (h_{st} - h_w) \quad (3.1.2.72)$$

όπου,

$$\dot{m}_{st} = 1450 \text{ kg/h}$$

$$h_{st} = h_{d8} = h_{e2} = 2922,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_w = 90^\circ\text{C} \cdot 4,184 = 376,56 \text{ kJ/kg}$$

Συνεπώς $\dot{Q}_{st} = 1025,529 \text{ kW}$

Εφόσον παράγονται $\dot{m}_{\text{dist}} = 2500 \text{ kg/h}$ νερού προσδιορίζεται η ειδική κατανάλωση ενέργειας από τον αποστακτήρα,

$$q_w = \frac{\dot{Q}_{st} + \dot{Q}_{eject}}{\dot{m}_{dist}} = 1549,046 \text{ kJ/kg} \quad (3.1.2.73)$$

Κύριο Ψυγείο (Main Condenser)

Παρακάτω παραθέτουμε όσα στοιχεία γνωρίζουμε για το Κύριο Ψυγείο:

d₃

$$m_{d3} = 7460 \text{ kg/h} \Rightarrow m_{d3} = 2,0722 \text{ kg/s}$$

$$h_{d3} = h_{d1} = 2459,3552 \text{ kJ/kg}$$

4

$$m_4 = 76416 \text{ kg/h} \Rightarrow m_4 = 21,22667 \text{ kg/s}$$

$$h_4 = 2296,281 \text{ kJ/kg}$$

d₆

$$m_{d6} = 50 \text{ kg/h}$$

$$h_{d6} = 2707,2 \text{ kJ/kg}$$

σ₁

Θεωρούμε κορεσμένο νερό πίεσης $P_c = 0,05325 \text{ bar}$.

Άρα $h_{\sigma 1} = 142,5 \text{ kJ/kg}$

$$m_{\sigma 1} = 83926 \text{ kg/h} = 23,312 \text{ kg/s}$$

Για τα σημεία εισόδου και εξόδου του θαλασσινού νερού χρησιμοποιούμε τα σύμβολα w_i και w_o αντίστοιχα.

Από το εγχειρίδιο βλέπουμε ότι για παροχή 90745 kg/h ατμού έχουμε παροχή θαλασσινού νερού $\dot{V}_w = 14800 \text{ m}^3/\text{h}$. Στα 83926 kg/h θα έχουμε, $\dot{V}_w = 13687,71 \text{ m}^3/\text{h}$. Υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της παροχής.

Επίσης η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι ίση με $\rho_w = 1,025 \text{ kg/m}^3$. Επομένως η παροχή μάζας θαλασσινού νερού θα είναι ίση με $\dot{m}_w = 14029,9 \text{ kg/h} = 3,897 \text{ kg/s}$. Από το εγχειρίδιο βλέπουμε επίσης ότι $T_{wi} = 24^\circ\text{C}$.

Ο ισολογισμός ενέργειας στο Κύριο Ψυγείο θα έχει ως εξής:

$$\dot{m}_{d3} \cdot h_{d3} + \dot{m}_4 \cdot h_4 + \dot{m}_{d6} \cdot h_{d6} = \dot{m}_{\sigma 1} \cdot h_{\sigma 1} + \dot{m}_w \cdot \Delta h_w \quad (3.1.2.74)$$

Άγνωστη είναι η ενθαλπία εξόδου του θαλασσινού νερού h_{wo} .

Βαθμοί Απόδοσης του Συστήματος

Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος (Plant Efficiency) υπολογίζεται ως το άθροισμα του θερμικού, του μηχανικού και του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης.

Θερμικός Βαθμός Απόδοσης

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης (η_θ) του συστήματος ισούται με το πηλίκο του αθροίσματος των χρήσιμων θερμοτήτων που παράγει το σύστημα για εξωτερικές χρήσεις προς την ενέργεια που παρέχει το καύσιμο. Έτσι έχουμε:

$$\eta_\theta = \frac{\text{Αθροισμα Χρήσιμων Θερμοτήτων}}{\dot{m}_f \cdot H_o} \quad (3.1.2.75)$$

όπου $\dot{m}_f = 1,838 \text{ kg/s}$ και $H_o = 55558,836 \text{ kJ/kg}$.

Χρήσιμες θερμότητες που παράγει το σύστημα

- Σύστημα Ατμογεννήτριας Χαμηλής Πίεσης και Ψυγείου Συμπυκνώματος.
Στα προηγούμενα έχουμε υπολογίσαμε ότι $Q_{LPSG+ \text{ Drain Cooler}} = 62,372 \text{ kW}$.
- Αποστακτήρας (Fresh Water Evaporator)
Ο ισολογισμός ενέργειας στον Αποστακτήρα μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι:

$$Q_{FW, \text{evap}} = \dot{m}_{d8} \cdot h_{d8} + \dot{m}_{\sigma 9} \cdot h_{\sigma 9} - \dot{m}_{\sigma 8} \cdot h_{\sigma 8} - \dot{m}_{\sigma 3} \cdot h_{\sigma 3} + \dot{m}_{\sigma 2} \cdot h_{\sigma 2} \quad (3.1.2.76)$$

Όπου $h_{d8} = h_{e3}$ ενώ στα σημεία $\sigma 8$ και $\sigma 2$ έχουμε ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού.

Προκύπτει ότι $Q_{FW, \text{evap}} = 11,36537 \text{ kW}$.

- Θερμαντήρας παραγωγής ζεστού γλυκού νερού (Calorifier)
Ο ισολογισμός ενέργειας έχει ως εξής:

$$Q_{\text{calorifier}} = \dot{m}_{\text{calorifier}} \cdot (h_{d38} - h_{\sigma 20}) \quad (3.1.2.77)$$

Στο σημείο $\sigma 20$ θεωρώ συμπύκνωμα νερού θερμοκρασίας $170 \text{ }^\circ\text{C}$ και συνεπώς,

$$Q_{\text{calorifier}} = 139,74 \text{ kW}$$

- Διαχωριστήρας Νερού Σεντινών (Bilge Water Separator)
Ο ισολογισμός ενέργειας έχει ως εξής:

$$Q_{\text{bilge w.sep.}} = \dot{m}_{\text{bilge w.sep.}} \cdot (h_{d38} - h_{\sigma 23}) \quad (3.1.2.78)$$

Στο σημείο $\sigma 20$ θεωρώ συμπύκνωμα νερού θερμοκρασίας $170 \text{ }^\circ\text{C}$ και συνεπώς,

$$Q_{\text{bilge w.sep.}} = 5,727 \text{ kW}$$

- Θερμαντήρας για τις Ενδιαιτήσεις (Accommodation)
Ο ισολογισμός ενέργειας έχει ως εξής:

$$Q_{\text{accommodation}} = \dot{m}_{\text{accommodation}} \cdot (h_{d38} - h_{\sigma 25}) \quad (3.1.2.79)$$

Όμως $\dot{m}_{\text{accommodation}} = 0 \text{ kg/s}$ επομένως στη συγκεκριμένη κατάσταση ο θερμαντήρας αυτός έχει τεθεί εκτός λειτουργίας και άρα,

$$Q_{\text{accommodation}} = 0 \text{ kW}$$

- Θερμαντήρας Νερού Γλυκόλης (Glycol Water Heater)
Ο ισολογισμός ενέργειας έχει ως εξής:

$$Q_{\text{glycol w.heater}} = \dot{m}_{\text{glycol w.heater}} \cdot (h_{d38} - h_{\sigma 26}) \quad (3.1.2.80)$$

Στο σημείο $\sigma 26$ θεωρώ συμπύκνωμα νερού θερμοκρασίας $170 \text{ }^\circ\text{C}$ και συνεπώς,

$$Q_{\text{glycol w.heater}} = 375,123 \text{ kW}$$

Τελικά $\eta_\theta = 0,5819\%$

Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι ίσος με το πηλίκο της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη στροβιλογεννήτρια δια την ενέργεια που παρέχεται στο σύστημα από το καύσιμο, δηλαδή:

$$\eta_{SG} = \frac{P_G}{\dot{m}_f \cdot H_o} = \frac{1840 \text{ kW}}{\dot{m}_f \cdot H_o} = 1,802\% \quad (3.1.2.81)$$

Βαθμός Απόδοσης Μηχανικής Ισχύος

Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης του συστήματος δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{SP} = \frac{\text{Ενέργεια Πρόωσης (Propulsion Power)}}{\dot{m}_f \cdot H_o} \quad (3.1.2.82)$$

Η Ενέργεια Πρόωσης δίνεται ίση με P.P. = 27066,356 kW και συνεπώς $\eta_{M,\Sigma} = 26,5\%$.

Ηλεκτρομηχανικός Βαθμός Απόδοσης

$$\eta_{SPG} = \eta_{SP} + \eta_{SG} = 28,302\% \quad (3.1.2.83)$$

Βαθμός Απόδοσης του Συστήματος

$$\eta_{plant} = \eta_{SPG} + \eta_{\theta} = 28,88\% \quad (3.1.2.84)$$

Δίνεται ότι $\eta_{plant} = 31,1\%$. Ίσως ο τρόπος που υπολογίζει ο κατασκευαστής το βαθμό απόδοσης του συστήματος να είναι διαφορετικός από αυτόν που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα μελέτη.

Υπενθυμίζεται ότι πρόκειται για το μικτό βαθμό απόδοσης, εφόσον δεν έχουν αφαιρεθεί οι ισχύες των παρελκόμενων συστημάτων.

3.1.3 Αποτελέσματα

Στον Πίνακα 3.1.3.1 καταγράφονται όλα τα στοιχεία για την παροχή μάζας και τις ιδιότητες του ρευστού στα διάφορα σημεία του διαγράμματος ροής όπως αυτές δόθηκαν ως δεδομένες (βλ. Παράγραφο 3.1.1) ή υπολογίστηκαν (βλ. Παράγραφο 3.1.2).

Πίνακας 3.1.3.1 Αποτελέσματα, ιδιότητες των σημείων για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου.

Σημείο	Παροχή μάζας \dot{m} [kg/s]	Πίεση P [bar]	Θερμοκρασία T [°C]	Ενθαλπία h [kJ/kg]	Εντροπία s [kJ/kgK]
Υπέρθερμος ατμός					
B	15,26	61,3	515	3457,1	
0	27,153	59,8	510	3446,9	6,91
1	27,153	53,82		3446,9	
2	25,943	6,51	234,4	2922,7	
3	23,41	6,51	234,4	2922,7	7,08
4	21,2267	0,05325		2296,28	
c	21,227	0,05325		2303,92	
5	2,0883	59,8	510	3446,9	6,91
6	1,2833	59,8	510	3446,9	
Αφυπέρθερμος ατμός					
d ₁	2,072	0,05325			
d ₆	0,0139			2707,2	
d ₇	0,6179		138,9	584,5	
d ₈	0,403	6,51	234,4	2918,7	
d ₁₁	2,1689				
d ₁₂	1,2789	3,563		3096,432	
d ₁₆	0,1957	61,3	287	2828,6	
d ₃₈	1,210556	8,83	175	2773,5	
d ₃₉	1,1711	19,1	359,3	3160,1	
d ₄₂	1,236	6,51	234,4	2918,7	
Κορεσμένο και υπόψυκτο νερό					
σ ₁	23,313				
σ ₂	23,313		32,5	136,071	
σ ₃	23,313	3,43	42,8	179,5	
σ ₄	0,1086	1,013	90	377	
σ ₈	0,403	1,013	90	376,81	
σ ₁₀	23,313	3,43	45,5	190,8	
σ ₁₁	3,369	1,013	53,5	224	
σ ₁₂	23,313	3,43	45,5	190,8	
σ ₁₄	23,313	3,43	103,2	432,8	
σ ₁₅	27,603		97,4		
σ ₁₆	30,91	3,43	138,15	581,3	
σ ₁₈	30,91	75,5			
σ ₁₉	15,456	75,5	140,4	595,6	

σ_{20}	0,0678		170	711,756	
σ_{23}	0,00278		170	711,756	
σ_{26}	0,182		170	711,756	
σ_{37}	1,211		80	334,944	
σ_{38}	4,272	52,9		223,4	
σ_{41}	1,711		140	590,206	
Απομαστεύσεις					
e_1	1,1711	19,1	359,3	3160,1	
e_2	2,529	6,51	234,4	2918,7	
e_3	2,1475	1,5	120,9	2713,2	
Διαρροές στροβίλων					
$g_{1.HP}$	0,03944			3237,219	
$g_{1.LP}$	0,039722			2711,251	
g_1	0,079167			2973,312	
g_2	0,0139			2918,7	
g_3	0,0111			3306,71	
g_4	$4,44 \cdot 10^{-3}$			3200,817	
g_5	0,1086			2802,483	
Αέρας					
a_i	35,252	1,013	38		
a_o	35,252	1,013	120		

3.2 Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Πετρελαίου

3.2.1 Δεδομένα

Από το σχετικό διάγραμμα ροής του εγχειριδίου (βλ. Παράρτημα 1, 1.B.2) , μεταφέρονται στον Πίνακα 3.2.1.1 τα δεδομένα για την παροχή μάζας και τις ιδιότητες του ρευστού στα διάφορα σημεία (ροές).

Πίνακας 3.2.1.1 Δεδομένα από το διάγραμμα ροής για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Παροχή μάζας \dot{m} [kg/s]	Πίεση P [bar]	Θερμοκρασία T [°C]	Ενθαλπία h [kJ/kg]	Εντροπία s [kJ/kgK]
Υπέρθερμος ατμός					
B	14,84375	61,3	515	3457,1	
0	26,613	59,8	510	3446,9	6,91
1	26,613	53,82		3446,9	
2	26,12	6,51	234,4	2922,7	
3	23,606	6,51	234,4	2922,7	7,08
4	21,458	0,05325		2296,28	
c	21,418	0,05325		2303,92	
5	14,84375	59,8	510	3446,9	6,91
6	26,613	59,8	510	3446,9	
Αφυπέρθερμος ατμός					
d ₁	1,794	0,05325			
d ₆	0,0139			2707,2	
d ₇	1,1653		138,9	584,5	
d ₈	0,4028	6,51	234,4	2918,7	
d ₁₁	2,1719				
d ₁₂	1,265	3,563		3096,432	
d ₁₆	0,2403	61,3	287	2828,6	
d ₃₈	0,5094	8,83	175	2773,5	
d ₃₉	0,493	19,1	359,3	3160,1	
d ₄₂	1,165	6,51	234,4	2918,7	
Κορεσμένο και υπόψυκτο νερό					
σ ₁	23,23				
σ ₂	23,23		32,5	136,071	
σ ₃	23,23	3,43	42,9	180	
σ ₄	0,1086	1,013	90	377	
σ ₈		1,013	90	377	
σ ₁₀	23,23	3,43	45,6	191,2	
σ ₁₁	3,299	1,013	53,6	224,5	
σ ₁₂	23,226	3,43	45,6	191,2	
σ ₁₄	23,23	3,43	103,2	432,8	

σ_{15}	27,518		97,4		
σ_{16}	30,169	3,43	138,15	581,3	
σ_{18}	30,91	75,5			
σ_{19}	15,084	75,5	140,4	595,6	
σ_{20}	0,0678		170	711,756	
σ_{23}	0,00278		170	711,756	
σ_{37}	0,5094		80	334,944	
σ_{38}	4,2911		52,9	221,481	
σ_{41}	0,493		140	590,206	
Απομαστεύσεις					
e_1	0,493	19,1	359,3	3160,1	
e_2	2,475	6,51	234,4	2918,7	
e_3	2,1478	1,5	120,9	2713,2	
Διαρροές στροβίλων					
$g_{1.HP}$	0,03944				
$g_{1.LP}$	0,039722				
g_1	0,079167				
g_2	0,0139				
g_3	0,0111				
g_4	$4,44 \cdot 10^{-3}$				
g_5	0,1086				
Αέρας					
a_i		1,013	38		
a_o		1,013	120		

3.2.2 Υπολογισμοί

Ακολουθείται η ίδια πορεία με προηγουμένως. Παραθέτουμε απλά τους υπολογισμούς στο λέβητα καθώς έχουμε διαφορετικό καύσιμο.

Λέβητας

Υπολογίζουμε τον βαθμό απόδοσης με βάση τα δεδομένα από το διάγραμμα ροής. Άλλα στοιχεία (καμπύλες από εγχειρίδια κλπ) δεν χρησιμοποιήθηκαν. Σημείωση: Υπάρχουν δύο λέβητες ιδίων χαρακτηριστικών στην εγκατάσταση και ανάλογα θα προσαρμόσουμε τους υπολογισμούς μας.

Οι παροχές μάζας - εφόσον έχουμε δύο λέβητες και στο διάγραμμα ροής παρουσιάζονται στοιχεία και για τους δύο – έχουν ως εξής:

$$2 m_B = 106875 \text{ kg/h} \Rightarrow m_B = 53437,5 \text{ kg/h}$$

$$2 m_{\sigma 19} = 108607 \text{ kg/h} \Rightarrow m_{\sigma 19} = 54303,5 \text{ kg/h}$$

$$2 m_{d16} = 1730 \text{ kg/h} \Rightarrow m_{d16} = 865 \text{ kg/h}$$

Αέρας

Κάνουμε αναγωγή με βάση τα στοιχεία από το εγχειρίδιο (βλ. Παράρτημα 2, Πίνακας 2.2) για να βρούμε την κατανάλωση αέρα.

Από τον πίνακα βλέπουμε ότι για λειτουργία με κατανάλωση καυσίμου πετρελαίου στην κατάσταση NORMAL δηλαδή παραγωγή πλήρους φορτίου πρόωσης ανά λέβητα ισχύουν τα εξής:

$$FO \text{ Consumption} = 3620 \text{ kg/h} = 1,0055 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{A1}' = 55440 \text{ kg/h} = 15,4 \text{ kg/s}$$

Θεωρούμε σταθερό λόγο αέρα καύσης λ_a , επομένως με βάση τα παραπάνω και για την κατανάλωση καυσίμου που αποτυπώνεται στο διάγραμμα ροής, $\dot{m}_{FO} = 1,0963 \text{ kg/s}$ θα έχουμε παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα ίση με, $\dot{m}_{A1} = 16,79 \text{ kg/s}$.

Γνωρίζουμε ότι η κατώτερη θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου είναι ίση με, $H_{u,FO} = 10280 \text{ kcal/kg}$, δηλαδή ότι $H_{u,FO} = 43040,304 \text{ kJ/kg}$

Θεωρούμε για τον αέρα ότι $c_{pa} = 1,005 \text{ kJ/kgK}$ και γνωρίζουμε από το εγχειρίδιο για τον Προθερμαντήρα Αέρα με Ατμό (Steam Air Heater, SAH) ότι για τις θερμοκρασίες εισόδου/εξόδου του αέρα και του ατμού ισχύουν:

$$AIR = 38^\circ\text{C}/120^\circ\text{C}$$

$$Steam = 210^\circ\text{C}/138,9^\circ\text{C}$$

Από Εξ. (3.1.2.1) προκύπτει ότι $\eta_A = 87,399\%$ ενώ στο διάγραμμα ροής παρατηρούμε ότι, $\eta_B = 88,5\%$.

3.2.3 Αποτελέσματα

Προθερμαντήρας χαμηλής πίεσης

Από Εξ. (3.1.2.4) προκύπτει για τις άδηλες απώλειες του εναλλάκτη ότι,

$$\dot{Q}_{LP} = 118,677 \text{ kW.}$$

Συνεπώς το ποσοστό των άδηλων απωλειών θα είναι ίσο με,

$$\pi_{LP} = \dot{Q}_{LP} / \dot{m}_{e3} \cdot h_{e3} = 0,020366.$$

Στρόβιλοι

Βαθμοί απόδοσης

Από Εξ. (3.1.2.22) προκύπτει ότι $\eta_{M1} = 0,9641$.

Από Εξ. (3. 1.2.23) προκύπτει ότι $\eta_{ML} = 1,063045$. Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη της μονάδας συνεπώς θέτουμε $\eta_{ML} = 0,982$ και από Εξ(3. 1.2.24) και (3. 1.2.25) τελικά,

$$\dot{W}_W = 27727,49 \text{ kW και } \dot{W}_{W2} = 13894,06 \text{ kW.}$$

Ενθαλπία εξόδου από το Στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης και ενθαλπία εισόδου στο ψυγείο

Από Εξ. (3.1.2.20) εξάγεται ότι $h_4 = h_w = 2296,163 \text{ kJ/kg}$ και άρα $x_4 = 0,8898$.

Από Εξ. (3.2.1.27) προκύπτει ότι $h_c = 2402,246 \text{ kJ/kg}$.

Ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης

Από τις Εξ. (3.1.2.32) έως (3.1.2.41) προκύπτουν οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης στα επιμέρους τμήματα των στροβίλων πρόωσης ως εξής:

$$\eta_{SL1.1} = 0,911523$$

$$\eta_{SL1.2} = 0,8801409.$$

$$\eta_{SL1} = 0,90022$$

$$\eta_{SL2.1} = 0,7396$$

$$\eta_{SL2.2} = 0,8564$$

$$\eta_{SL2} = 0,8281$$

Σύστημα Ατμογεννήτριας Χαμηλής Πίεσης και Ψυγείου Συμπυκνώματος

Από Εξ. (3.1.2.44) προκύπτει για τις θερμικές απώλειες του εναλλάκτη ότι,

$$\Delta \dot{Q} = 24,69 \text{ kW.}$$

Συνεπώς το ποσοστό των θερμικών απωλειών θα ισούται με,

$$\pi_{LPSG} = \Delta \dot{Q} / \dot{Q}_W = 0,0198815$$

Ζεύγος τροφοδοτικής αντλίας- Στροβίλου

Αντλία

Από Εξ. (3.1.2.52) προκύπτει για το βαθμό απόδοσης της αντλίας ότι, $\eta_p = 0,7015$.

Από Εξ. (3.1.2.54) προκύπτει για την ισχύ που καταναλώνει η αντλία ότι,

$$\dot{W}_P = 332,771 \text{ kW.}$$

Στρόβιλος

Από Εξ. (3.1.2.57) υπολογίζεται ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στρόβιλου ίσος με $\eta_{sl}=0,4855$.

Η ισχύς που παρέχει ο στρόβιλος στη δεδομένη κατάσταση είναι ίση με, $\dot{W}_{TP} = 429,285 \text{ kW}$

Απαερωτής

Από Εξ. (3.1.2.62) προκύπτει για τις άδηλες απώλειες του εναλλάκτη ότι,

$$\dot{Q}_D = 131,735 \text{ kW.}$$

Συνεπώς το ποσοστό των άδηλων απωλειών θα είναι ίσο με,

$$\pi_D = \dot{Q}_D / \dot{m}_{d11} \cdot h_{d11} = 0,020728$$

Στρόβιλος γεννήτριας

Επιλύοντας την Εξ. (3.1.2.63) προκύπτει για τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης ότι $\eta_{sl}=0,7397$.

Από την Εξ. (3.2.1.70) ο μηχανικός βαθμός απόδοσης προκύπτει ίσος με $\eta_M=0,90465$.

Αποστακτήρας

Από τις Εξ. (3.1.2.71) έως (3.1.2.73) προκύπτει η ειδική κατανάλωση ενέργειας του αποστακτήρα ίση με $q_w=1549,172 \text{ kJ/kg}$.

Κύριο Ψυγείο

Η παροχή όγκου θαλασσινού νερού ισούται με $\dot{V}_w = 13637,137 \text{ m}^3/\text{h}$ ενώ η παροχή μάζας του, $\dot{m}_w = 13304,524 \text{ kg/h}$.

Βαθμοί απόδοσης του συστήματος

Θερμικός βαθμός απόδοσης

Από Εξ. (3.1.2.75) έως (3.1.2.80) προκύπτει ότι $\eta_\theta=0,1855\%$

Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης

Από Εξ. (3.1.2.81) προκύπτει $\eta_{SG}=1,695\%$

Βαθμός Απόδοσης Μηχανικής Ισχύος

Από Εξ. (3.1.2.82) προκύπτει ο βαθμός απόδοσης ίσος με $\eta_{SP}=28,679\%$

Ηλεκτρομηχανικός Βαθμός Απόδοσης

Από Εξ. (3.1.2.83) προκύπτει $\eta_{SPG} = 30,374\%$

Βαθμός Απόδοσης του Συστήματος

Από Εξ. (3.1.2.84) ο βαθμός απόδοσης του συστήματος προκύπτει ίσος με $\eta_{plant} = 30,56\%$

Στον Πίνακα 3.2.3 καταγράφονται όλα τα στοιχεία για την παροχή μάζας και τις ιδιότητες του ρευστού στα διάφορα σημεία του διαγράμματος ροής όπως αυτές δόθηκαν ως δεδομένες (βλ. 3.2.1) ή υπολογίστηκαν.

Πίνακας 3.2.3.1 Αποτελέσματα, ιδιότητες των σημείων για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Παροχή μάζας \dot{m} [kg/s]	Πίεση P [bar]	Θερμοκρασία T [°C]	Ενθαλπία h [kJ/kg]	Εντροπία s [kJ/kgK]
Υπέρθερμος ατμός					
B	14,84375	61,3	515	3457,1	
0	26,613	59,8	510	3446,9	6,91
1	26,613	53,82		3446,9	
2	26,12	6,51	234,4	2922,7	
3	23,606	6,51	234,4	2922,7	7,08
4	21,458	0,053			
c	21,418	0,053			
5	1,8056	59,8	510	3446,9	6,91
6	1,2694	59,8	510	3446,9	
Αφυπέρθερμος ατμός					
d ₁	1,794	0,05325			
d ₆	0,0139	0,0139		2707,2	
d ₇	1,1653	0,583	138,9	584,5	
d ₈	0,4028	0,4028	234,4	2918,7	
d ₁₁	2,1719	2,1719			
d ₁₂	1,265	1,265			
d ₁₆	0,2403	0,2403	287	2828,6	
d ₃₈	0,5094	8,83	175	2773,5	
d ₃₉	0,493	19,1	359,3	3160,1	
d ₄₂	1,165	6,51	234,4	2918,7	
Κορεσμένο και υπόψυκτο νερό					
σ ₁	23,23				
σ ₂	23,23		32,5	136,071	
σ ₃	23,23	3,43	42,9	180	
σ ₄	0,1086	1,013	90,0	377	
σ ₈		1,013	90,0	377	
σ ₁₀	23,23	3,43	45,6	191,2	
σ ₁₁	3,299	1,013	53,6	224,5	
σ ₁₂	23,226	3,43	45,6	191,2	
σ ₁₃					
σ ₁₄	23,23	3,43	103,2	432,8	
σ ₁₅	27,518		97,4		
σ ₁₆	30,169	3,43	138,15	581,3	
σ ₁₈	30,91	75,5			
σ ₁₉	15,084	75,5	140,4	595,6	
σ ₂₀	0,0678		170,0	711,756	
σ ₂₃	0,00278		170,0	711,756	
σ ₃₇	0,5094		80,0	334,944	
σ ₃₈	4,2911		52,9	221,481	
σ ₄₁	0,493		140,0	590,2061	

Απομαστεύσεις					
e ₁	0,493	19,1	359,3	3160,1	
e ₂	2,475	6,51	234,4	2918,7	
e ₃	2,1478	1,5	120,9	2713,2	
Διαρροές στροβίλων					
g _{1.HP}	0,03944			3237,219	
g _{1.LP}	0,039722			2683,045	
g ₁	0,079167			2959,16	
g ₂	0,0139			2918,7	
g ₃	0,0111			3204,152	
g ₄	4,44 · 10 ⁻³			3306,604	
g ₅	0,1086			2802,48	
Αέρας					
a _i	33,58	1,013	38		
a _o	33,58	1,013	120		

3.3 Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Φυσικού Αερίου και Πετρελαίου

3.3.1 Δεδομένα

Από το σχετικό διάγραμμα ροής του εγχειριδίου (βλ. Παράρτημα 1, 1.B.3) , μεταφέρονται στον Πίνακα 3.3.1 τα δεδομένα για την παροχή μάζας και τις ιδιότητες του ρευστού στα διάφορα σημεία (ροές).

Πίνακας 3.3.1 Δεδομένα από το διάγραμμα ροής για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Παροχή μάζας \dot{m} [kg/s]	Πίεση P [bar]	Θερμοκρασία T [°C]	Ενθαλπία h [kJ/kg]	Εντροπία s [kJ/kgK]
Υπέρθερμος ατμός					
B	15,093	61,3	515	3457,1	
0	26,822	59,8	510	3446,9	6,91
1	26,822	53,82		3446,9	
2	26,121	6,51	234,4	2922,7	
3	23,519	6,51	234,4	2922,7	7,08
4	21,359	0,05325			
c	21,319	0,05325			
5	2,0833	59,8	510	3446,9	6,91
6	1,281	59,8	510	3446,9	
Αφυπέρθερμος ατμός					
d ₁	2,0722	0,05325			
d ₆	0,0139			2707,2	
d ₇	1,2247		138,9	584,5	
d ₈	0,403			2918,7	
d ₁₁	2,21				
d ₁₂	1,276	3,563			
d ₁₆	0,275	61,3	288	2832,8	
d ₃₈	0,725	8,83	175	2773,5	
d ₃₉	0,7014	19,1	359,3	3160,1	
d ₄₂	1,225	6,51	234,4	2918,7	
Κορεσμένο και υπόψυκτο νερό					
σ ₁	23,406				
σ ₂	23,406		32,5	136,071	
σ ₃	23,41	3,43	42,8	179,5	
σ ₄	0,1086	1,013	90	377	
σ ₈	0,403		90	136,071	
σ ₁₀	23,41	3,43	45,5	190,8	
σ ₁₁	3,371	1,013	53,5	224	
σ ₁₂	23,41	3,43	45,5	190,8	
σ ₁₄	23,41	3,43	103,2	432,8	
σ ₁₅	27,84		96,3		

σ_{16}	30,737	3,43	138,2	581,3	
σ_{18}	30,737	75,5			
σ_{19}	15,368	75,5	140,4	595,6	
σ_{20}	0,0678		170	711,756	
σ_{23}	0,00278		170	711,756	
σ_{26}	0,1819		170	711,756	
σ_{37}	0,725		80	334,944	
σ_{38}	4,434		52,4	219,39	
σ_{39}					
σ_{40}					
σ_{41}	0,7014		140	590,2061	
Απομαστεύσεις					
e_1	0,493	19,1	359,3	3160,1	
e_2	2,475	6,51	234,4	2918,7	
e_3	2,1478	1,5	120,9	2713,2	
Διαρροές στροβίλων					
$g_{1.HP}$	0,03944				
$g_{1.LP}$	0,039722				
g_1	0,079167				
g_2	0,0139				
g_3	0,0111				
g_4	$4,44 \cdot 10^{-3}$				
g_5	0,1086				
Αέρας					
a_i		1,013	38		
a_o		1,013	120		

3.3.2 Υπολογισμοί

Στη συγκεκριμένη κατάσταση έχουμε καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου. Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής, η παροχή μάζας του κάθε καυσίμου ισούται με,

$$\dot{m}_{FO} = 4211 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{BOG} = 3228 \text{ kg/h}$$

Το ποσοστό με το οποίο συμμετέχει ενεργειακά το πετρέλαιο στην καύση είναι ίσο με:

$$\pi_{FO} = \frac{\dot{m}_{FO} \cdot H_{uFO}}{\dot{m}_{FO} \cdot H_{uFO} + \dot{m}_{BOG} \cdot H_{uBOG}} = 0,502633 \quad (3.3.2.1)$$

Αντίστοιχα για το φυσικό αέριο έχουμε $\pi_{GAS}=0,497367$.

Βασιζόμενοι στην παραδοχή ότι το κάθε καύσιμο απαιτεί κατανάλωση αέρα καύσης σαν να ήταν μόνο του στο θάλαμο και ότι η ατμοπαραγωγή που οφείλεται στο κάθε καύσιμο είναι ίση με αυτή που θα προέκυπτε αν το κάθε είδος καυσίμου χρησιμοποιούνταν μόνο του για τη διαδικασία της καύσης ακολουθούμε την εξής πορεία υπολογισμών:

Λέβητας

Υπολογίζουμε τον βαθμό απόδοσης με βάση τα δεδομένα από το διάγραμμα ροής. Άλλα στοιχεία (καμπύλες από εγχειρίδια κλπ) δεν χρησιμοποιήθηκαν. Σημείωση: Υπάρχουν δύο λέβητες ιδίων χαρακτηριστικών στην εγκατάσταση και ανάλογα θα προσαρμόσουμε τους υπολογισμούς μας.

Οι παροχές μάζας - εφόσον έχουμε δύο λέβητες και στο διάγραμμα ροής παρουσιάζονται στοιχεία και για τους δύο – έχουν ως εξής:

$$2 m_B = 106875 \text{ kg/h} \Rightarrow m_B = 53437,5 \text{ kg/h}$$

$$2 m_{\sigma 19} = 108607 \text{ kg/h} \Rightarrow m_{\sigma 19} = 54303,5 \text{ kg/h}$$

$$2 m_{d16} = 1730 \text{ kg/h} \Rightarrow m_{d16} = 865 \text{ kg/h}$$

Στοιχειομετρικός συντελεστής αέρα καύσης

Για κάθε ένα από τα δύο καύσιμα υπολογίσουμε το συντελεστή στοιχειομετρικής καύσης και στη συνέχεια την παροχή αέρα καύσης.

Καύσιμο Φυσικό Αέριο (BOG)

Η μοριακή σύνθεση του φυσικού αερίου θεωρείται ότι είναι η εξής:

Πίνακας 3.3.2.1 Μοριακή σύνθεση καυσίμου φυσικού αερίου

Μεθάνιο (CH ₄):	95%
Άζωτο (N ₂):	5%

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι μοριακές μάζες των στοιχείων που απαρτίζουν το φυσικό αέριο:

Πίνακας 3.3.2.2 Μοριακές μάζες σε kg/kmole των στοιχείων που απαρτίζουν το καύσιμο φυσικό αέριο

C:	12,0108	kg/kmole
O2:	31,9988	kg/kmole
H2:	2,0158	kg/kmole
CH4:	16,0424	kg/kmole
N2:	28,0134	kg/kmole

Θέλουμε να υπολογίσουμε την περιεκτικότητα του κάθε στοιχείου κατά μάζα. Η διαδικασία έχει ως εξής:

Το βάρος ενός kmole καυσίμου (μοριακό βάρος) ισούται με,

$$M_{\text{BOG}} = 0,95 \cdot M_{\text{CH}_4} + 0,05 \cdot M_{\text{N}_2} = 16,64095 \text{ kg/kmole} \quad (3.3.2.2)$$

Η περιεκτικότητα του κάθε στοιχείου κατά μάζα βρίσκεται ως εξής:

$$c = \frac{0,95 \cdot M_C}{M_{\text{BOG}}} = 0,68567 \text{ kgC/kgBOG} \quad (3.3.2.3)$$

$$h = \frac{0,95 \cdot 4 \cdot M_H}{M_{\text{BOG}}} = 0,23016 \text{ kg H/kg BOG} \quad (3.3.2.4)$$

$$n = \frac{0,05 \cdot M_{\text{N}_2}}{M_{\text{BOG}}} = 0,08417 \text{ kgN/kgBOG} \quad (3.3.2.5)$$

Τα γραμμομόρια κάθε συστατικού ανά μονάδα μάζας καυσίμου ισούνται με:

$$\tilde{c} = \frac{c}{M_C} = 0,057088 \text{ kmole C /kg BOG} \quad (3.3.2.6)$$

$$\tilde{h} = \frac{h}{M_{\text{H}_2}} = 0,114176 \text{ kmole H /kg BOG} \quad (3.3.2.7)$$

$$\tilde{n} = \frac{n}{M_{\text{N}_2}} = 0,003005 \text{ kmole N /kg BOG} \quad (3.3.2.8)$$

Τέλος προσδιορίζεται η στοιχειομετρική ποσότητα του οξυγόνου:

$$\tilde{\omega}_{\text{st}} = \tilde{c} + \frac{\tilde{h}}{2} = 0,1142 \text{ kmole O}_2/\text{kg BOG} \quad (3.3.2.9)$$

Σύμφωνα με την Εξ. (6.64) του [2], η μάζα του αέρα για στοιχειομετρική καύση θα είναι ίση με:

$$\alpha_{\text{st}} = \tilde{\omega}_{\text{st}}(M_{\text{O}_2} + v_{\text{N}_2}M_{\text{N}_2}) = 15,6858 \text{ kg αέρα/kg καυσίμου} \quad (3.3.2.10)$$

Δεχόμαστε κατ' όγκον σύσταση αέρα 21% O₂ και 79% N₂ συνεπώς, $v_{\text{N}_2} = 3,7619$

Καύσιμο Πετρέλαιο (FO)

Από το εγχειρίδιο παίρνουμε τις εξής περιεκτικότητες κατά μάζα των συστατικών του πετρελαίου:

Πίνακας 3.3.2.3 Περιεκτικότητες κατά μάζα των συστατικών του καυσίμου πετρελαίου

C	0,8514	kgC/kg FO
H2	0,1113	kgH/kg FO
S	0,0293	kgS/kg FO
O2	0,005	kgO/kg FO
N2	0,0025	kgN/kg FO
H2O	0,0005	kgH2O/kg FO

Οι μοριακές μάζες των στοιχείων συγκεντρώνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.3.2.4 Μοριακές μάζες των στοιχείων που απαρτίζουν το καύσιμο πετρέλαιο

C	12,0108	kg/kmole
H	1,0079	kg/kmole
S	32,0655	kg/kmole
O	15,9994	kg/kmole
N	14,0067	kg/kmole
N ₂	28,0134	kg/kmole
H ₂ O	18,0153	kg/kmole

Επειδή στο H₂O βρίσκεται προφανώς και οξυγόνο και υδρογόνο, προσδιορίζουμε την περιεκτικότητα (κατά βάρος) του κάθε συστατικού από αυτά μέσα στο H₂O ως εξής:

$$h_{\text{H}_2\text{O}} = (\% \text{wt})_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{M_{\text{H}_2}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = 0,000056 \text{ kg/kg} \quad (3.3.2.11)$$

$$o_{\text{H}_2\text{O}} = (\% \text{wt})_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{M_{\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = 0,00044405 \text{ kg/kg} \quad (3.3.2.12)$$

Συνεπώς η περιεκτικότητα του κάθε στοιχείου κατά μάζα θα ισούται με:

Πίνακας 3.3.2.4 Περιεκτικότητα του κάθε στοιχείου που απαρτίζει το καύσιμο πετρέλαιο κατά μάζα

c	0,8514	kgC/kg FO
h	0,111355947	kgH/kg FO
s	0,0293	kgS/kg FO
o	0,00544405	kgO/kg FO
n	0,0025	kgN/kg FO

Ακολουθώντας με παρόμοιο τρόπο όπως κάναμε και για το Φυσικό αέριο, προσδιορίζουμε τα γραμμομόρια κάθε συστατικού ανά μονάδα μάζας καυσίμου:

Πίνακας 3.3.2.5 Γραμμομόρια κάθε συστατικού ανά μονάδα μάζας καυσίμου για το καύσιμο πετρέλαιο

\tilde{c}	0,070886202	kmole C/ kg FO
\tilde{h}	0,055241565	kmole H/ kg FO
\tilde{s}	0,000913755	kmole S/ kg FO
\tilde{o}	0,000170133	kmole O/ kg FO
\tilde{n}	8,9243E-05	kmole N/ kg FO

Προσδιορίζεται η στοιχειομετρική ποσότητα του οξυγόνου:

Εφόσον το οξυγόνο συμμετέχει στην καύση με βάση την Εξ. (6.64), Σελ. 233, [2] θα έχουμε τα εξής:

$$\tilde{o} + \tilde{\omega}'_{\text{st}} = \tilde{c} + \frac{\tilde{h}}{2} + \tilde{s} \rightarrow \tilde{\omega}'_{\text{st}} = \tilde{c} + \frac{\tilde{h}}{2} + \tilde{s} - \tilde{o} \quad (3.3.2.13)$$

Επομένως $\tilde{\omega}'_{\text{st}} = 0,099251 \text{ kg αέρα/kg καυσίμου}$. Σύμφωνα με την Εξ. (6.64) του [2], η μάζα του αέρα για στοιχειομετρική καύση θα είναι ίση με:

$$\alpha_{st} = \tilde{\omega}_{st}'(M_{O_2} + v_{N_2} M_{N_2}) = 13,63529 \text{ kg αέρα/kg καυσίμου} \quad (3.3.2.14)$$

Γνωρίζουμε ότι $v_{N_2} = 3,7619$

Παροχή αέρα καύσης

Καύσιμο φυσικό αέριο:

Εφόσον ο λόγος αέρα καύσης ισούται με $\lambda=1,1$ θα έχουμε:

$$\alpha = \alpha_{st} \cdot \lambda_{\alpha} = 17,25438 \text{ kg αέρα/ kg BOG} \quad (3.3.2.15)$$

Η συνολική παροχή αέρα που οφείλεται στην καύση φυσικού αερίου θα ισούται λοιπόν με

$$\dot{m}_{Ag} = \dot{m}_{GAS} \cdot \alpha = 55697,139 \text{ kg/h.} \quad (3.3.2.16)$$

Καύσιμο πετρέλαιο:

Εφόσον ο λόγος αέρα καύσης ισούται με $\lambda=1,1$ θα έχουμε σύμφωνα με την

Εξ. (3.3.2.15):

$$\alpha = \alpha_{st} \cdot \lambda_{\alpha} = 14,9988 \text{ kg αέρα/ kg BOG} \quad (3.3.2.17)$$

Η παροχή αέρα θα που οφείλεται στην καύση πετρελαίου θα ισούται λοιπόν με,

$$\dot{m}_{Af} = \dot{m}_{FO} \cdot \alpha = 63159,95 \text{ kg/h} \quad (3.3.2.18)$$

Τελικά η συνολική παροχή αέρα καύσης θα είναι ίση με:

$$\dot{m}_A = \dot{m}_{Af} + \dot{m}_{Ag} = 118857,09 \text{ kg/h.} \quad (3.2.2.19)$$

3.3.3 Αποτελέσματα

Προθερμαντήρας χαμηλής πίεση

Από Εξ. (3.1.2.4) προκύπτει για τις άδηλες απώλειες του εναλλάκτη ότι,

$$\dot{Q}_{LP} = -150,7056 \text{ kW.}$$

Πρόκειται για αρνητικό νούμερο που πιθανότητα οφείλεται σε ανακρίβειες των δεδομένων και δεν θα χρησιμοποιηθεί στους περαιτέρω υπολογισμούς μας (βλ. Ενότητα 3.5).

Στρόβιλοι

Βαθμοί απόδοσης

Από Εξ. (3.1.2.22) προκύπτει ότι $\eta_{M1}=0,959$.

Από Εξ. (3. 1.2.23) προκύπτει ότι $\eta_{ML}=1,0624$. Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη της μονάδας συνεπώς θέτουμε $\eta_{ML}=0,982$ και από Εξ. (3. 1.2.24) και (3.1.2.25) εξάγουμε ότι,

$$\dot{W}_w = 27727,49 \text{ kW και } \dot{W}_{w2} = 13833,94 \text{ kW.}$$

Ενθαλπία εξόδου από το Στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης και ενθαλπία εισόδου στο ψυγείο

Από Εξ. (3.1.2.20) εξάγεται ότι $h_4=h_w=2296,21 \text{ kJ/kg}$ και άρα $x_4=0,8899$.

Από Εξ. (3.2.1.27) προκύπτει ότι $h_c=2303,813 \text{ kJ/kg}$.

Ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης

Από τις εξισώσεις (3.1.2.32) έως (3.1.2.41) προκύπτουν οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης στα επιμέρους τμήματα των στροβίλων πρόωσης ως εξής:

$$\eta_{sl1.1} = 0,911523$$

$$\eta_{sl1.2} = 0,8801409.$$

$$\eta_{sl1} = 0,90022$$

$$\eta_{sl2.1} = 0,7396$$

$$\eta_{sl2.2} = 0,85642$$

$$\eta_{sl2} = 0,828107$$

Σύστημα Ατμογεννήτριας Χαμηλής Πίεσης και Ψυγείου Συμπυκνώματος

Από Εξ. (3.1.2.44) προκύπτει για τις θερμικές απώλειες του εναλλάκτη ότι,

$$\Delta\dot{Q} = 35,409 \text{ kW.}$$

Συνεπώς το ποσοστό των θερμικών απωλειών θα ισούται με,

$$\pi_{LPSG} = \Delta\dot{Q}/\dot{Q}_w = 0,0200379$$

Ζεύγος τροφοδοτικής αντλίας- Στροβίλου

Αντλία

Από Εξ. (3.1.2.52) προκύπτει για το βαθμό απόδοσης της αντλίας ότι $\eta_p = 0,7562$.

Από Εξ. (3.1.2.54) προκύπτει για την ισχύ που καταναλώνει η αντλία ότι,

$$\dot{W}_p = 314,501 \text{ kW.}$$

Στρόβιλος

Από Εξ. (3.1.2.57) υπολογίζεται ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου ίσος με $\eta_{sl} = 0,4851$.

Η ισχύς που παρέχει ο στρόβιλος στη δεδομένη κατάσταση είναι ίση με,

$$\dot{W}_{TP} = 432,715 \text{ kW}$$

Απαερωτής

Από Εξ. (3.1.2.62) προκύπτει για τις άδηλες απώλειες του εναλλάκτη ότι,

$$\dot{Q}_D = 147,107 \text{ kW.}$$

Συνεπώς το ποσοστό των άδηλων απωλειών θα είναι ίσο με,

$$\pi_D = \dot{Q}_D / \dot{m}_{d11} \cdot h_{d11} = 0,022748$$

Στρόβιλος γεννήτριας

Επιλύοντας την Εξ. (3.1.2.63) προκύπτει για τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης ότι, $\eta_{sl} = 0,7397$.

Από την Εξ. (3.2.1.69) ο μηχανικός βαθμός απόδοσης προκύπτει ίσος με $\eta_M = 0,7834$.

Αποστακτήρας

Από τις Εξ. (3.1.2.71) έως (3.1.2.73) προκύπτει η ειδική κατανάλωση ενέργειας του αποστακτήρα ίση με $q_w=1549,172$ kJ/kg.

Κύριο Ψυγείο (Main Condenser)

Η παροχή όγκου θαλασσινού νερού ισούται με $\dot{V}_w = 13742,33$ m³/h ενώ η παροχή μάζας του, $\dot{m}_w = 13407,15$ kg/h .

Βαθμοί απόδοσης του συστήματος

Θερμικός βαθμός απόδοσης

Από Εξ. (3.1.2.75) έως (3.1.2.80) προκύπτει ότι $\eta_\theta=0,565\%$

Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης

Από Εξ. (3.1.2.81) προκύπτει $\eta_{SG}=1,838\%$

Βαθμός Απόδοσης Μηχανικής Ισχύος

Από Εξ. (3.1.2.82) προκύπτει ο βαθμός απόδοσης ίσος με $\eta_{SP}=27,04\%$

Ηλεκτρομηχανικός Βαθμός Απόδοσης

Από Εξ. (3.1.2.83) προκύπτει $\eta_{\eta\lambda-\mu\eta\chi} = 28,787\%$

Βαθμός Απόδοσης του Συστήματος

Από Εξ. (3.1.2.84) ο βαθμός απόδοσης του συστήματος προκύπτει ίσος με $\eta_{plant} = 29,44\%$.

Στον Πίνακα 3.3.3 καταγράφονται όλα τα στοιχεία για την παροχή μάζας και τις ιδιότητες του ρευστού στα διάφορα σημεία του διαγράμματος ροής όπως αυτές δόθηκαν ως δεδομένες (βλ. 3.3.1) ή υπολογίστηκαν.

Πίνακας 3.2.3 Αποτελέσματα, ιδιότητες των σημείων για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Παροχή μάζας \dot{m} [kg/s]	Πίεση P [bar]	Θερμοκρασία T [°C]	Ενθαλπία h [kJ/kg]	Εντροπία s [kJ/kgK]
Υπέρθερμος ατμός					
B	15,093	61,3	515	3457,1	
0	26,822	59,8	510	3446,9	6,91
1	26,822	53,82		3446,9	
2	26,121	6,51	234,4	2922,7	
3	23,519	6,51	234,4	2922,7	7,08
4	21,359	0,05325		2296,21	
c	21,319	0,05325		2303,813	
5	2,0833	59,8	510	3446,9	6,91
6	1,281	59,8	510	3446,9	
Αφυπέρθερμος ατμός					
d ₁	2,0722	0,05325			
d ₆	0,0139			2707,2	
d ₇	1,2247		138,9	584,5	
d ₈	0,403			2918,7	
d ₁₁	2,21				
d ₁₂	1,276	3,563			
d ₁₅					
d ₁₆	0,275	61,3	288	2832,8	
d ₃₈	0,725	8,83	175	2773,5	
d ₃₉	0,7014	19,1	359,3	3160,1	
d ₄₂	1,225	6,51	234,4	2918,7	
Κορεσμένο και υπόψυκτο νερό					
σ ₁	23,406				
σ ₂	23,406		32,5	136,071	
σ ₃	23,41	3,43	42,8	179,5	
σ ₄	0,1086	1,013	90	377	
σ ₈	0,403		90	136,071	
σ ₁₀	23,41	3,43	45,5	190,8	
σ ₁₁	3,371	1,013	53,5	224	
σ ₁₂	23,41	3,43	45,5	190,8	
σ ₁₄	23,41	3,43	103,2	432,8	
σ ₁₅	27,84		96,3		
σ ₁₆	30,737	3,43	138,2	581,3	
σ ₁₈	30,737	75,5			
σ ₁₉	15,368	75,5	140,4	595,6	
σ ₂₀	0,0678		170	711,756	
σ ₂₃	0,00278		170	711,756	
σ ₂₅					
σ ₂₆	0,1819		170	711,756	
σ ₃₇	0,725		80	334,944	

σ_{38}	4,434		52,4	219,39	
σ_{41}	0,7014		140	590,2061	
Απομαστεύσεις					
e_1	0,493	19,1	359,3	3160,1	
e_2	2,475	6,51	234,4	2918,7	
e_3	2,1478	1,5	120,9	2713,2	
Διαρροές στροβίλων					
$g_{1.HP}$	0,03944			3237,219	
$g_{1.LP}$	0,039722			2682,984	
g_1	0,079167			2959,13	
g_2	0,0139			2918,7	
g_3	0,0111			3306,604	
g_4	$4,44 \cdot 10^{-3}$			3200,817	
g_5	0,1086			2802,483	
Αέρας					
a_i	33,0164	1,013	38		
a_o	33,0164	1,013	120		

3.4 Κατάσταση Λειτουργίας στο 50% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Πετρελαίου

3.4.1 Δεδομένα

Από όλες τις καταστάσεις μερικού φορτίου που διαθέτουμε στα διαγράμματα ροής, μελετούμε αυτή του 50% MCR καθότι απέχοντας αρκετά από το πλήρες φορτίο, κρίνεται ως η πιο αντιπροσωπευτική.

Από το σχετικό διάγραμμα ροής του εγχειριδίου (βλ. Παράρτημα 1, 1.B.3), μεταφέρονται στον Πίνακα 3.3.1 τα δεδομένα για την παροχή μάζας και τις ιδιότητες του ρευστού στα διάφορα σημεία (ροές).

Πίνακας 3.4.1 Δεδομένα από το διάγραμμα ροής για κατάσταση λειτουργίας στο 50% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Παροχή μάζας \dot{m} [kg/s]	Πίεση P [bar]	Θερμοκρασία T [°C]	Ενθαλπία h [kJ/kg]	Εντροπία s [kJ/kgK]
Υπέρθερμος ατμός					
B	8,532	61,3	508	3440,5	
0	14,32	59,8	503	3430,3	6,91
1	14,32	53,82		3430,3	
2	13,893	3,34	224,5	2914,7	7,36
3	12,284	3,34	224,5	2914,7	
4	11,547	0,05325			
c	11,507	0,05325			6,89
5	1,7083	59,8	503	3430,3	6,89
6	1,035	59,8	503	3430,3	7,36
Αφυπέρθερμος ατμός					
d ₁	1,6972	0,05325			
d ₆	0,0139			2707,2	
d ₇	0,698		138,9	584,5	
d ₈	0,403			2914,7	
d ₁₁	1,498				
d ₁₂	1,0303	3,563			
d ₁₆	0,227	61,3	288	2832,8	
d ₃₈	0,4394	8,83	175	2773,5	
d ₃₉	0,4294	9,65	339	3135,5	
d ₄₂	0,698	3,55	210	2884	
σ ₁	13,219				
σ ₂	13,219		32,5	136,071	
σ ₃	13,219	3,43	50,7	212,5	
σ ₄	0,1086	1,013	90	377	
σ ₈	0,403		90	136,071	
σ ₁₀	13,219		55,5	232,37	
σ ₁₁	1,421	1,013	63,5	269,5	

σ_{12}	13,219		55,5	232,37	
σ_{14}	13,219		90,6	379,32	
σ_{15}	15,606		37,5	359,86	
σ_{16}	17,519	3,43	138,15	581,3	
σ_{18}	17,519	75,5			
σ_{19}	8,759	75,5	141,6	600,7	
σ_{20}	0,0678		170	711,756	
σ_{23}	0,00278		170	711,756	
σ_{37}	0,4394		80	334,944	
σ_{38}	2,387		60,2	252,045	
σ_{39}					
σ_{40}					
σ_{41}	0,4294		140	586,152	
Απομαστεύσεις					
e_1	0,4294	9,65	339	3135,5	
e_2	1,569	3,34	224,5	2914,7	
e_3	0,737	0,96	116	2709	
Διαρροές στροβίλων					
$g_{1.HP}$	0,03944				
$g_{1.LP}$	0,039722				
g_1	0,079167				
g_2	0,0139				
g_3	0,0111				
g_4	$4,44 \cdot 10^{-3}$				
g_5	0,1086				
Αέρας					
a_i		1,013	38		
a_o		1,013	120		

3.4.2. Υπολογισμοί

Ακολουθείται η ίδια πορεία με τις προηγούμενες Παραγράφους.

Λέβητας

Υπολογίζουμε τον βαθμό απόδοσης με βάση τα δεδομένα από το διάγραμμα ροής. Άλλα στοιχεία (καμπύλες από εγχειρίδια κλπ.) δεν χρησιμοποιήθηκαν. Σημείωση: Υπάρχουν δύο λέβητες ιδίων χαρακτηριστικών στην εγκατάσταση και ανάλογα θα προσαρμόσουμε τους υπολογισμούς μας.

Οι παροχές μάζας - εφόσον έχουμε δύο λέβητες και στο διάγραμμα ροής παρουσιάζονται στοιχεία και για τους δύο – έχουν ως εξής:

$$2 m_B = 106875 \text{ kg/h} \Rightarrow m_B = 53437,5 \text{ kg/h}$$

$$2 m_{\sigma 19} = 108607 \text{ kg/h} \Rightarrow m_{\sigma 19} = 54303,5 \text{ kg/h}$$

$$2 m_{d16} = 1730 \text{ kg/h} \Rightarrow m_{d16} = 865 \text{ kg/h}$$

Αέρας

Κάνουμε αναγωγή με βάση τα στοιχεία από το εγχειρίδιο (βλ. Παράρτημα 2, Πίνακας 2.2) , για να βρούμε την κατανάλωση αέρα καύσης

Από τον πίνακα βλέπουμε ότι για λειτουργία με κατανάλωση καυσίμου πετρελαίου στην κατάσταση 50% NORMAL ανά λέβητα έχουμε τα εξής:

Έχουμε κατανάλωση καυσίμου (πετρελαίου):

$$FO \text{ Consumption} = 1783 \text{ kg/h} = 0,3953 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{A1}' = 29592 \text{ kg/h} = 8,22 \text{ kg/s}$$

Θεωρούμε σταθερό λ_a επομένως με βάση τα παραπάνω για την κατανάλωση καυσίμου που αποτυπώνεται στο διάγραμμα ροής, $\dot{m}_{FO} = 0,4953 \text{ kg/s}$, θα έχουμε παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα ίση με, $\dot{m}_{A1} = 10,4882 \text{ kg/s}$.

Για το καύσιμο γνωρίζουμε ότι η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα ισούται με $H_{u,FO} = 10280 \text{ kcal/kg}$, δηλαδή ότι $H_{u,FO} = 43040,304 \text{ kJ/kg}$

Θεωρούμε για τον αέρα ότι $c_{pa} = 1,005 \text{ kJ/kgK}$ και γνωρίζουμε από το εγχειρίδιο για τον Προθερμαντήρα Αέρα με Ατμό (Steam Air Heater, SAH) ότι για τις θερμοκρασίες εισόδου/εξόδου του αέρα και του ατμού ισχύουν:

$$AIR = 38^{\circ}\text{C}/120^{\circ}\text{C}$$

$$Steam = 210^{\circ}\text{C}/138,9^{\circ}\text{C}$$

Από Εξ. (3.1.2.1) προκύπτει ότι $\eta_A = 86,91\%$ ενώ στο διάγραμμα ροής βλέπουμε ότι $\eta_B = 88,2\%$.

3.4.3. Αποτελέσματα

Προθερμαντήρας χαμηλής πίεσης

Από Εξ. (3.1.2.4) προκύπτει για τις άδηλες απώλειες του εναλλάκτη ότι,

$$\dot{Q}_{LP} = 41,921 \text{ kW}.$$

Συνεπώς το ποσοστό των άδηλων απωλειών θα είναι ίσο με,
 $\pi_{LP} = \dot{Q}_{LP} / \dot{m}_{e3} \cdot h_{e3} = 0,02991$.

Στρόβιλοι

Βαθμοί απόδοσης

Θεωρούμε ως τιμή του μηχανικού βαθμού απόδοσης του στροβίλου χαμηλής πίεσης τον $\eta_{M1} = 0,9599$ που αποτελεί το μέσο όρο των τιμών που προέκυψαν από τους υπολογισμούς των Παραγράφων 3.1 έως 3.3. Επομένως από Εξ. (3.1.2.19) και (3.1.2.22) προκύπτει ότι, $\dot{W}_{T1} = 6997,433 \text{ kW}$. Ενώ $\dot{W}_{T2} = \dot{W}_T - \dot{W}_{T1} = 6535,735 \text{ kW}$.

Από Εξ. (3.1.2.23) προκύπτει $\eta_{M1} = 0,986$.

Ενθαλπία εξόδου από το Στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης και ενθαλπία εισόδου στο ψυγείο

Από Εξ. (3.1.2.20) προκύπτει $h_4 = h_w = 2363,542 \text{ kJ/kg}$ και άρα $x_4 = 0,8718$.

Από Εξ. (3.2.1.27) προκύπτει ότι $h_c = 2370,574 \text{ kJ/kg}$.

Σύστημα Ατμογεννήτριας Χαμηλής Πίεσης και Ψυγείου Συμπυκνώματος

Από Εξ. (3.1.2.44) προκύπτει για τις θερμικές απώλειες του εναλλάκτη ότι,

$$\Delta \dot{Q} = 23,193 \text{ kW}$$

Συνεπώς το ποσοστό των θερμικών απωλειών θα ισούται με,

$$\pi_{LPSG} = \Delta \dot{Q} / \dot{Q}_w = 0,0216436$$

Ζεύγος τροφοδοτικής αντλίας- Στροβίλου (TFP)

Αντλία

Από Εξ. (3.1.2.52) προκύπτει για τον βαθμό απόδοσης της αντλίας ότι $\eta_p = 0,597$.

Από Εξ. (3.1.2.54) προκύπτει για την ισχύ που καταναλώνει η αντλία ότι,

$$\dot{W}_p = 227,064 \text{ kW}$$

Στρόβιλος

Από Εξ. (3.1.2.57) υπολογίζεται ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου ίσος με, $\eta_{SL} = 0,4378$.

Η ισχύς που παρέχει ο στρόβιλος στη δεδομένη κατάσταση είναι ίση με,

$$\dot{W}_{TP} = 307,097 \text{ kW}$$

Απαερωτής (Dearator)

Από Εξ. (3.1.2.62) προκύπτει για τις άδηλες απώλειες του εναλλάκτη ότι,

$$\dot{Q}_D = 76,5019 \text{ kW}$$

Συνεπώς το ποσοστό των άδηλων απωλειών θα είναι ίσο με,

$$\pi_D = \dot{Q}_D / \dot{m}_{d11} \cdot h_{d11} = 0,017252$$

Στρόβιλος γεννήτριας (Turbo Generator- TG)

Όσον αφορά τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης του στροβίλου της γεννήτριας κάνουμε την όξι και τόσο ακριβή παραδοχή ότι είναι ίσος με το μέσο όρο αυτών που υπολογίστηκαν για τις προηγούμενες καταστάσεις (Ενότητες 3.1 έως 3.3). Επομένως $\eta_{sl}=0,739$. Από την Εξ. (3.2.1.69) ο μηχανικός βαθμός απόδοσης προκύπτει ίσος με $\eta_M=0,9654$.

Αποστακτήρας

Από τις Εξ. (3.1.2.71) έως (3.1.2.73) προκύπτει η ειδική κατανάλωση ενέργειας του αποστακτήρα ίση με $q_w=1476,09$ kJ/kg.

Κύριο Ψυγείο (Main Condenser)

Η παροχή όγκου θαλασσινού νερού ισούται με $\dot{V}_w = 7761,17$ m³/h ενώ η παροχή μάζας του, $\dot{m}_w = 7571,87$ kg/h .

Βαθμοί απόδοσης του συστήματος

Θερμικός βαθμός απόδοσης

Από Εξ. (3.1.2.75) έως (3.1.2.80) προκύπτει ότι $\eta_\theta=0,3319\%$

Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης

Από Εξ. (3.1.2.81) προκύπτει $\eta_{SG}=2,757\%$

Βαθμός Απόδοσης Μηχανικής Ισχύος

Από Εξ. (3.1.2.82) προκύπτει ο βαθμός απόδοσης ίσος με $\eta_{SP}=24,787\%$

Ηλεκτρομηχανικός Βαθμός Απόδοσης

Από Εξ. (3.1.2.83) προκύπτει $\eta_{SPG} = 27,635\%$

Βαθμός Απόδοσης του Συστήματος

Από Εξ. (3.1.2.84) ο βαθμός απόδοσης του συστήματος προκύπτει ίσος με $\eta_{plant} = 27,967\%$.

Στον Πίνακα 3.3.3 καταγράφονται όλα τα στοιχεία για την παροχή μάζας και τις ιδιότητες του ρευστού στα διάφορα σημεία του διαγράμματος ροής όπως αυτές δόθηκαν ως δεδομένες (βλ. Πίνακα 3.3.1) ή υπολογίστηκαν.

Πίνακας 3.4.3 Αποτελέσματα, ιδιότητες των σημείων για κατάσταση λειτουργίας στο 50% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Παροχή μάζας \dot{m} [kg/s]	Πίεση P [bar]	Θερμοκρασία T [°C]	Ενθαλπία h [kJ/kg]	Εντροπία s [kJ/kgK]
Υπέρθερμος ατμός					
B	8,532	61,3	508	3440,5	
0	14,32	59,8	503	3430,3	6,91
1	14,32	53,82		3430,3	
2	13,893	3,34	224,5	2914,7	7,36
3	12,284	3,34	224,5	2914,7	
4	11,547	0,05325			
c	11,507	0,05325			6,89
5	1,7083	59,8	503	3430,3	6,89
6	1,035	59,8	503	3430,3	7,36
Αφυπέρθερμος ατμός					
d ₁	1,6972	0,05325			
d ₆	0,0139			2707,2	
d ₇	0,698		138,9	584,5	
d ₈	0,403			2914,7	
d ₁₁	1,498				
d ₁₂	1,0303	3,563			
d ₁₆	0,227	61,3	288	2832,8	
d ₃₈	0,4394	8,83	175	2773,5	
d ₃₉	0,4294	9,65	339	3135,5	
d ₄₂	0,698	3,55	210	2884	
σ ₁	13,219				
σ ₂	13,219		32,5	136,071	
σ ₃	13,219	3,43	50,7	212,5	
σ ₄	0,1086	1,013	90	377	
σ ₈	0,403		90	136,071	
σ ₁₀	13,219		55,5	232,37	
σ ₁₁	1,421	1,013	63,5	269,5	
σ ₁₂	13,219		55,5	232,37	
σ ₁₄	13,219		90,6	379,32	
σ ₁₅	15,606		37,5	359,86	
σ ₁₆	17,519	3,43	138,15	581,3	
σ ₁₈	17,519	75,5			
σ ₁₉	8,759	75,5	141,6	600,7	
σ ₂₀	0,0678		170	711,756	
σ ₂₃	0,00278		170	711,756	
σ ₃₇	0,4394		80	334,944	
σ ₃₈	2,387		60,2	252,045	
σ ₄₁	0,4294		140	586,152	
Απομαστεύσεις					
e ₁	0,4294	9,65	339	3135,5	

e_2	1,569	3,34	224,5	2914,7	
e_3	0,737	0,96	116	2709	
Διαρροές στροβίλων					
$g_{1.HP}$	0,03944			3224,06	
$g_{1.LP}$	0,039722			2666,751	
g_1	0,079167			2959,13	
g_2	0,0139			2918,7	
g_3	0,0111			3306,604	
g_4	$4,44 \cdot 10^{-3}$			3306,71	
g_5	0,1086			2794,979	
Αέρας					
a_i	20,976	1,013	38		
a_o	20,976	1,013	120		

3.5 Συμπληρωματικοί Υπολογισμοί

3.5.1 Άδηλες απώλειες

Γίνεται εκτίμηση των ποσοστών των άδηλων απωλειών των διάφορων μηχανημάτων. Τα ποσοστά αυτά θα χρησιμοποιηθούν αργότερα στην πορεία υπολογισμών.

3.5.1.1 Προθερμαντήρας Χαμηλής Πίεσης (LP Heater)

Για κάθε κατάσταση πλήρους φορτίου, για την οποία έχουμε στοιχεία στα διαγράμματα ροής, έχουμε υπολογίσει το ποσοστό των άδηλων απωλειών του προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης ως προς την ενέργεια που του παρέχεται από το ρεύμα απομάστευσης e_3 .

Ο λόγος που δεν χρησιμοποιούμε στοιχεία από καταστάσεις μερικού φορτίου είναι επειδή το ποσοστό των άδηλων απωλειών του προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης ελάχιστα αλλάζει από κατάσταση σε κατάσταση, ενώ είναι γεγονός ότι οι υπολογισμοί στο πλήρες φορτίο έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια. Υπάρχουν περισσότερα στοιχεία στο εγχειρίδιο για καταστάσεις πλήρους φορτίου από ότι για άλλες καταστάσεις (πχ. στοιχεία για την κατανομή της ισχύος μεταξύ των στροβίλων πρόωσης, ενθαλπίες σε ορισμένα σημεία και λοιπά).

Υπολογίζουμε ένα μέσο όρο των ποσοστών π_{LP} πράγμα που θα μας φανεί χρήσιμο σαν δεδομένο στο πρόγραμμα προσομοίωσης. Συγκεντρωτικά έχουμε:

Πίνακας 3.5.1.1.1 Ποσοστό των άδηλων απωλειών του προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης ως προς την ενέργεια που του παρέχεται από το ρεύμα απομάστευσης e_3 για τις καταστάσεις λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης για τις οποίες έχουμε δεδομένα από τα διαγράμματα ροής.

Κατάσταση	π_{LP}
Πλήρες φορτίο με καύση φυσικού αερίου	0,02747
Πλήρες φορτίο με καύση πετρελαίου	0,02678
Πλήρες φορτίο με καύση πετρελαίου και φυσικού αερίου	-
Μέσος όρος	0,02713

3.5.1.2 Απαερωτής (Dearator)

Για κάθε κατάσταση λειτουργίας στο πλήρες φορτίο, για την οποία έχουμε στοιχεία στα διαγράμματα ροής, έχουμε υπολογίσει το ποσοστό των άδηλων απωλειών του απαερωτή ως προς την ενέργεια που του παρέχεται από το ρεύμα αφυπέρθερμου ατμού d_{11} .

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό αυτό αλλάζει αισθητά, ανάλογα με το ποια είναι η σύνθεση του καυσίμου που καίγεται στο λέβητα.

Πίνακας 3.5.1.2.1 Ποσοστό των άδηλων απωλειών του απαερωτή ως προς την ενέργεια που του παρέχεται από το ρεύμα d_{11} για τις καταστάσεις λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος για τις οποίες έχουμε δεδομένα από τα διαγράμματα ροής.

Ποσοστό FO	π_D
0,0	0,01959
1,0	0,02073
0,50263	0,02275

Το ποσοστό π_D θα εκτιμάται συνεπώς ανάλογα με το κλάσμα π_{FO} του καιόμενου πετρελαίου σε κάθε κατάσταση, δηλαδή με βάση την εξίσωση,

$$\pi_D = -0,01034 \cdot \pi_{FO}^2 + 0,01148 \cdot \pi_{FO} + 0,01959 \quad (3.5.1.2)$$

Χρησιμοποιούνται μόνο τα αποτελέσματα των υπολογισμών πάνω σε καταστάσεις πλήρους φορτίου, για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν και προηγουμένως (Παράγραφος 3.5.1.1).

3.5.1.3 Σύστημα Ατμογεννήτριας Χαμηλής Πίεσης και Ψυγείου Συμπυκνώματος (LPSG and Drain cooler)

Για κάθε κατάσταση πλήρους φορτίου, για την οποία έχουμε στοιχεία στα διαγράμματα ροής, έχουμε υπολογίσει το ποσοστό των θερμικών απωλειών ως προς την ενέργεια που ο εναλλάκτης παρέχει στο ρεύμα $\sigma_{37} - d_{38}$.

Υπολογίζουμε ένα μέσο όρο των ποσοστών αυτών. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον Πίνακα 3.5.1.3.1.

Πίνακας 3.5.1.3.1 Ποσοστό των θερμικών απωλειών ως προς την ενέργεια που ο εναλλάκτης παρέχει στο ρεύμα $\sigma_{37} - d_{38}$ για τις καταστάσεις λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης, για τις οποίες έχουμε δεδομένα από τα διαγράμματα ροής.

Κατάσταση	π_{LPSG}
Πλήρες φορτίο με καύση φυσικού αερίου	0,01988
Πλήρες φορτίο με καύση πετρελαίου	0,02002
Πλήρες φορτίο με καύση πετρελαίου και φυσικού αερίου	0,02004
Μέσος όρος	0,01998

3.5.2 Ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης

3.5.2.1 Υπολογισμός των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης για διάφορες καταστάσεις λειτουργίας

Ακολουθεί ο τρόπος υπολογισμού των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης που αναπτύχθηκε με τη χρήση στοιχείων από τα διαγράμματα ροής και από το εγχειρίδιο της

εγκατάστασης και που θα χρησιμοποιηθεί και αργότερα από το πρόγραμμα για υπολογισμού σε μερικό φορτίο.

Για κάθε κατάσταση μέγιστης ισχύος πρόωσης, για την οποία έχουμε στοιχεία στα διαγράμματα ροής, έχουμε υπολογίσει τους ισεντροπικούς βαθμούς απόδοσης των στροβίλων πρόωσης κατά τμήματα. Εδώ συγκεντρώνουμε τους μέσους όρους αυτών των βαθμών απόδοσης:

Πίνακας 3.5.2.1.1 Ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης κατά τμήματα των στροβίλων πρόωσης (1)

Στρόβιλος υψηλής πίεσης		Στρόβιλος χαμηλής πίεσης	
$\eta_{SL1.1}$	0,91152	$\eta_{SL2.1}$	0,73959
$\eta_{SL1.2}$	0,88014	$\eta_{SL2.2}$	0,87488
η_{SL1}	0,900218	η_{SL2}	0,83999

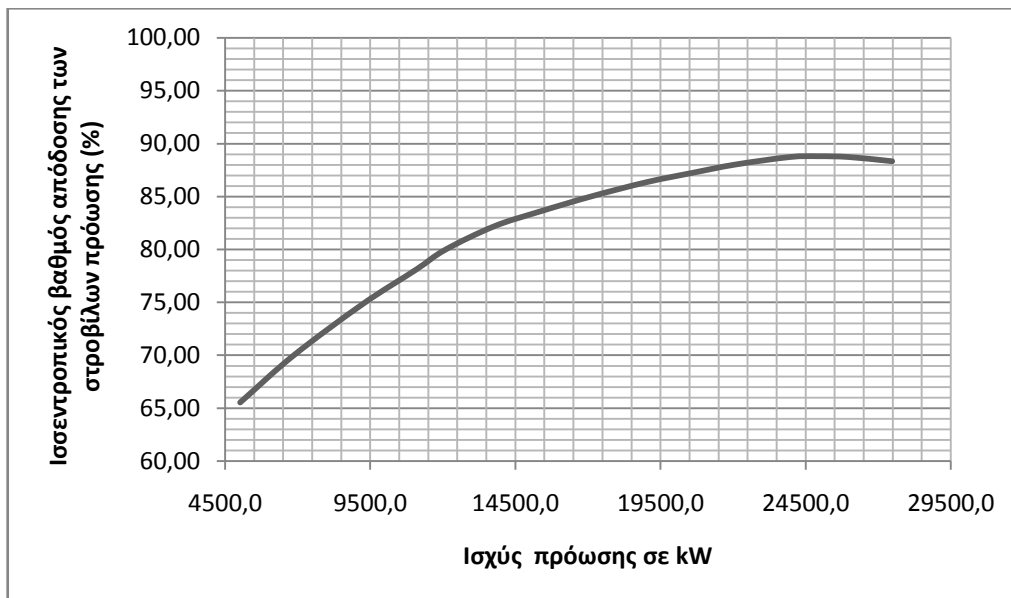
Μετά από δοκιμές στο πρόγραμμα, καταλήξαμε στους ακόλουθους βαθμούς απόδοσης, οι οποίοι δίνουν αποτελέσματα που είναι πιο κοντά στους υπολογισμούς μας και στα διαγράμματα ροής. Οι διαφορές οφείλονται κυρίως στον διαφορετικό τρόπο υπολογισμού των ιδιοτήτων του ατμού από το πρόγραμμα σε σχέση με αυτόν που χρησιμοποιήσαμε στους υπολογισμούς με το χέρι του Κεφαλαίου 3 (διάγραμμα Mollier).

Πίνακας 3.5.2.1.2 Ονομαστικοί ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης κατά τμήματα των στροβίλων πρόωσης (2)

Στρόβιλος υψηλής πίεσης		Στρόβιλος χαμηλής πίεσης	
$\eta_{SL1.1}$	0,91152	$\eta_{SL2.1}$	0,73959
$\eta_{SL1.2}$	0,88014	$\eta_{SL2.2}$	0,91131
η_{SL1}	0,90022	η_{SL2}	0,86344

Οι ισεντροπικοί αυτοί βαθμοί απόδοσης αποτελούν τους ονομαστικούς και ισχύουν μόνο για υπολογισμούς στο πλήρες φορτίο. Για να δουλέψουμε σε μερικό φορτίο κάνουμε τις ακόλουθες παραδοχές:

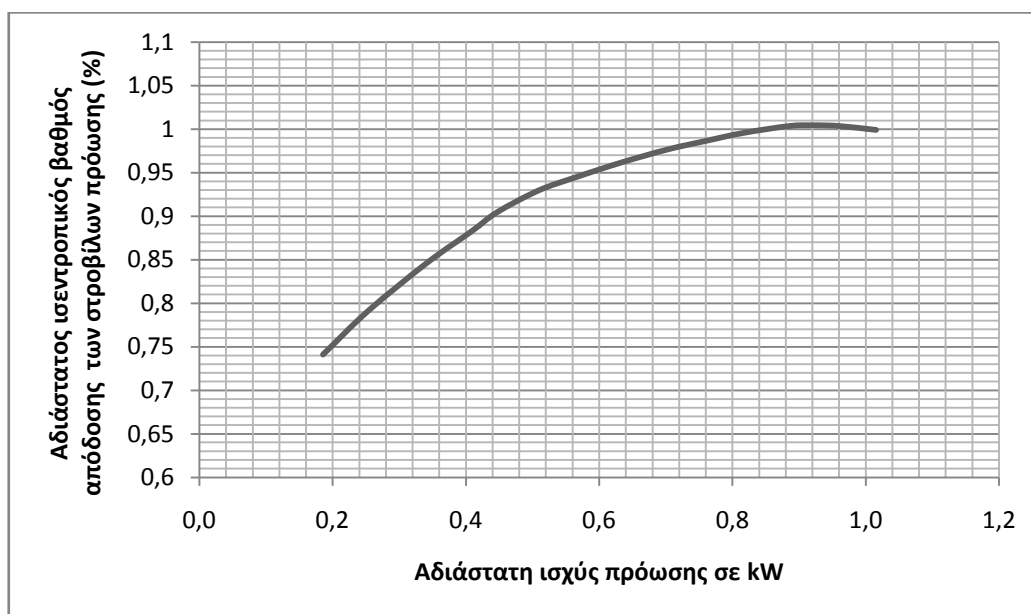
Από στοιχεία των μετρήσεων (φυλλάδιο του προγράμματος μετρήσεων 'kyta') εξάγουμε το Διάγραμμα 3.5.2.1.1 που συσχετίζει τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης των στροβίλων πρόωσης με την ισχύ που παράγεται στον άξονά τους έχει ως εξής:



Διάγραμμα 3.5.2.1.1 Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης των στροβίλων πρόωσης συναρτήσει της παραγόμενης ισχύος πρόωσης σε kW

Θεωρούμε την αδιάστατη ισχύ πρόωσης \dot{W}_T^* ως το πηλίκο της εκάστοτε ισχύος \dot{W}_T προς την ονομαστική $\dot{W}_{T_{ov}}=27066,3558$ kW. Το ίδιο κάνουμε και με τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης η_{SL} , όπου η_{SL}^* ο αδιάστατος και $\eta_{SL_{ov}}=88,4242\%$ ο ονομαστικός.

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζουμε ένα διάγραμμα που δίνει τον αδιάστατο ισεντροπικό βαθμό απόδοσης, η_{SL}^* των στροβίλων πρόωσης συναρτήσει της αδιάστατης ισχύος πρόωσης, \dot{W}_T^* :



Διάγραμμα 3.5.2.1.2 Αδιάστατος ισεντροπικός βαθμός απόδοσης των στροβίλων πρόωσης συναρτήσει της αδιάστατης παραγόμενης ισχύος πρόωσης σε kW

Με επεξεργασία των τιμών του διαγράμματος 3.5.2.1.2 από το πρόγραμμα Matlab, δημιουργήθηκε η κατωτέρω εξίσωση που το περιγράφει:

$$x = \frac{\dot{W}_T^* - 0,6267}{0,2657} \quad (3.5.2.1.1)$$

$$\eta_{SL}^* = p_1 \cdot x^5 + p_2 \cdot x^4 + p_3 \cdot x^3 + p_4 \cdot x^2 + p_5 \cdot x + p_6 \quad (3.5.2.1.2)$$

Κάνουμε την παραδοχή ότι σε οποιαδήποτε ισχύ πρόωσης για να βρούμε τον ισητροπικό βαθμό απόδοσης οποιουδήποτε τμήματος των στροβίλων πρόωσης, αρκεί να πολλαπλασιάσουμε τον αδιάστατο βαθμό απόδοσης που προκύπτει από την επίλυση της Εξ. (3.5.2.1.2) με τον αντίστοιχο ονομαστικό ισητροπικό βαθμό απόδοσης που προκύπτει από τον Πίνακα 3.5.2.1.2.

Είναι φανερό ότι αυτή η προσέγγιση είναι πολύ προσεγγιστική εκτίμηση του βαθμού απόδοσης και πρέπει να αναμένουμε σφάλματα. Παρόλα αυτά είναι ό,τι καλύτερο μπορούμε να κάνουμε τη δεδομένη στιγμή με τα στοιχεία που έχουμε στη διάθεσή μας.

3.5.2.2 Ισητροπικοί βαθμοί απόδοσης στις διάφορες καταστάσεις ισχύος των διαγραμμάτων ροής

Στο Διάγραμμα (3.5.2.1.1), παρατηρούμε ότι οι τιμές των ισητροπικών βαθμών απόδοσης είναι ανάλογες με την τιμή της ισχύος πρόωσης που παράγει το σύστημα, πράγμα που είναι λογικό και επόμενο να συμβαίνει.

Θα ελέγξουμε αν οι βαθμοί απόδοσης κατά τμήματα των στροβίλων πρόωσης που προκύπτουν με βάση υπολογισμούς στα διαγράμματα ροής ακολουθούν αντίστοιχη πορεία.

Λόγω έλλειψης στοιχείων για την ενθαλπία εξόδου του στροβίλου χαμηλής πίεσης θα υπολογιστούν μόνο οι $\eta_{SL1.1}$, $\eta_{SL1.2}$ και $\eta_{SL2.1}$. Θα χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις (3.1.2.32), (3.1.2.33) και (3.1.2.37) αντίστοιχα.

Σε πρώτη φάση, με βάση τα στοιχεία των διαγραμμάτων ροής (θερμοκρασία και πίεση) για διάφορα επίπεδα ισχύος που εκφράζονται ως ποσοστά % της μέγιστης, υπολογίστηκαν με τη βοήθεια υπορουτινών της βιβλιοθήκης ASME (βλ. Παράρτημα 3) και σημειώνονται εδώ οι ενθαλπίες των ροών κατά μήκος των στροβίλων πρόωσης (μέχρι και την h_{e3} εφόσον δεν υπάρχουν στοιχεία για την h_4):

Πίνακας 3.5.2.2.1 Ενθαλπίες κατά μήκος των στροβίλων πρόωσης για το 90% του MCR.

h_1	3446,9017
h_{e1}	3138,8000
h_{e2}	2910,2000
h_{e3}	2700,4856

Πίνακας 3.5.2.2.2 Ενθαλπίες κατά μήκος των στροβίλων πρόωσης για το 80% του MCR.

h_1	3446,9017
h_{e1}	3126,8985
h_{e2}	2897,6669
h_{e3}	2692,0013

Πίνακας 3.5.2.2.3 Ενθαλπίες κατά μήκος των στροβίλων πρόωσης για το 50% του MCR.

h_1	3446,9017
h_{e1}	3135,5445
h_{e2}	2914,6749
h_{e3}	2708,9405

Με βάση τους παραπάνω πίνακες αλλά και τα στοιχεία που έχουμε ήδη υπολογίσει για το 100% του πλήρους φορτίου πρόωσης, καταγράφουμε σε πίνακες τους ισεντροπικούς βαθμούς απόδοσης ανάλογα με την ισχύ.

Πίνακας 3.5.2.2.4 Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης μεταξύ της εισόδου του στροβίλου Υψηλής Πίεσης και της πρώτης Απομάστευσης e_1 .

% MCR	$\eta_{sl1.1}$
100%	0,91152
90%	0,87055
80%	0,83168
50%	0,63034

Πίνακας 3.5.2.2.5 Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης μεταξύ της Απομάστευσης e_1 και της εξόδου του στροβίλου Υψηλής Πίεσης 2 $\equiv e_2$.

% MCR	$\eta_{sl1.2}$
100%	0,88014
90%	0,85700
80%	0,87460
50%	0,84686

Πίνακας 3.5.2.2.6 Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης μεταξύ της εξόδου του στροβίλου Υψηλής Πίεσης 2 $\equiv e_2$ και της Απομάστευσης e_3 .

% MCR	$\eta_{sl1.2}$
100%	0,73959
90%	0,70927
80%	0,72363
50%	0,84171

Παρατηρούμε ότι κανονική πορεία, δηλαδή φθίνουσα με την πτώση της ισχύος πρόωσης, ακολουθείται μόνο από το βαθμό απόδοσης $\eta_{sl1.1}$ ενώ για τους υπόλοιπους δεν ισχύει το ίδιο. Αυτό αντίκειται στις αρχές λειτουργίας των στροβίλων πρόωσης και μας κάνει να αμφιβάλουμε για την ορθότητα των στοιχείων (τουλάχιστον των ενθαλπιών κατά μήκος των στροβίλων) που σημειώνονται στα διαγράμματα ροής (βλ. Παράρτημα 1, 1.B).

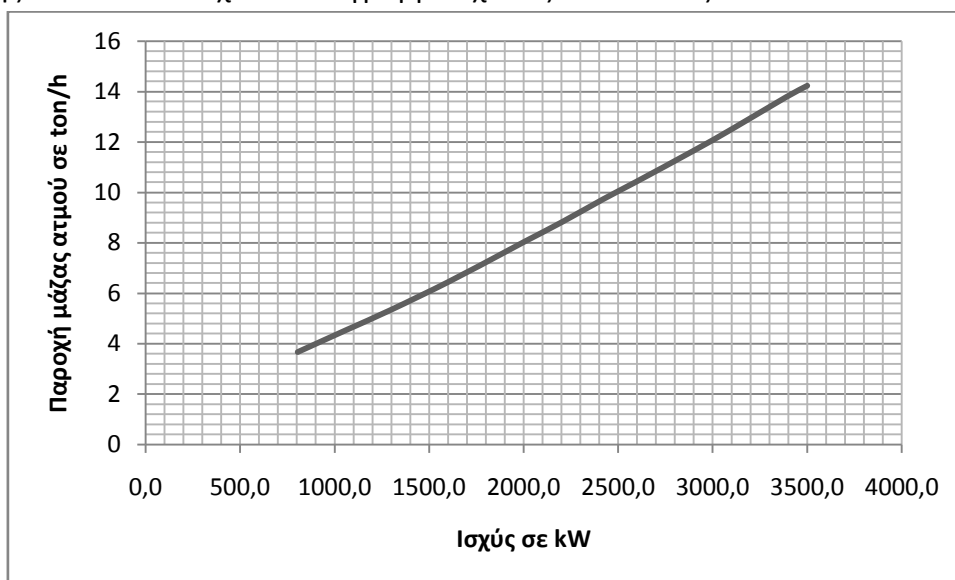
Παρόλα αυτά, δεν έχουμε παρατηρήσει κάποιο άλλο παράδοξο στις τιμές των δεδομένων διαγραμμάτων και για το λόγο αυτό τα θεωρούμε ως αξιόπιστη πηγή άντλησης στοιχείων για τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας της εγκατάστασης.

3.5.3 Στρόβιλος γεννήτριας (Turbo Generator)

Ακολουθούν υπολογισμοί που αφορούν στο στρόβιλο της ηλεκτρογεννήτριας και είναι χρήσιμοι για τη μετέπειτα πορεία υπολογισμών του κεφαλαίου 4. Τα παρακάτω στοιχεία είναι δεδομένα από το εγχειρίδιο:

Παροχή μάζας ατμού στο στρόβιλο συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος

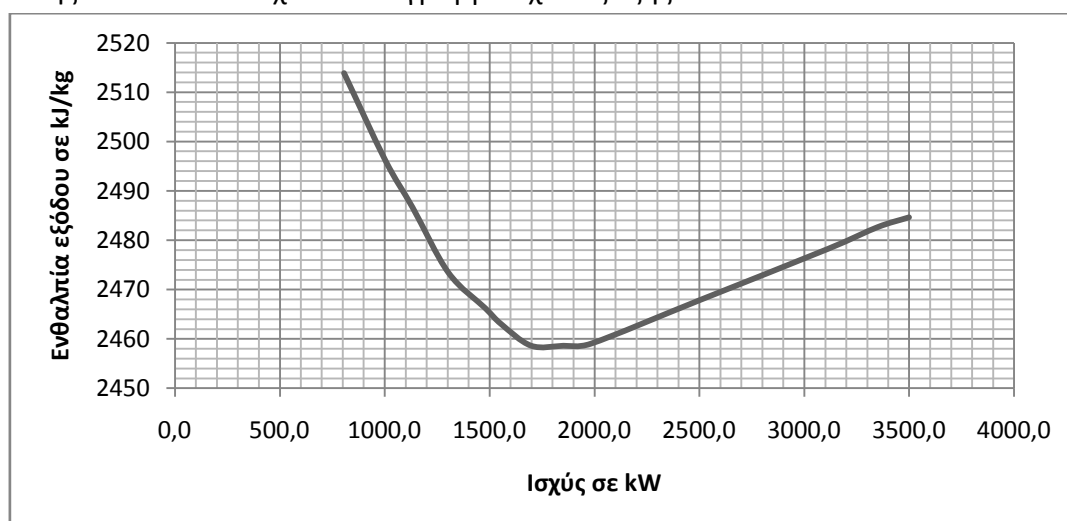
Πρόκειται για το διάγραμμα της παροχής μάζας ατμού \dot{m}_5 σε ton/h συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος \dot{W}_{TG} σε kW και αναφέρεται σε συνθήκες εισόδου θερμοκρασίας $T=510^{\circ}\text{C}$ και πίεσης $P=59$ bar. Το σχετικό διάγραμμα έχει ως ακολούθως:



Διάγραμμα 3.5.3.1 Παροχή μάζας ατμού σε ton/h στο στρόβιλο της γεννήτριας συναρτήσει της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος σε kW.

Ενθαλπία εξόδου ατμού από το στρόβιλο συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος

Πρόκειται για το διάγραμμα της ενθαλπίας εξόδου h_{d1} σε kJ/kg συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος \dot{W}_{TG} σε kW και αναφέρεται σε συνθήκες εισόδου θερμοκρασίας $T=510^{\circ}\text{C}$ και πίεσης $P=59$ bar. Το σχετικό διάγραμμα έχει ως εξής:



Διάγραμμα 3.5.3.2 Ενθαλπία εξόδου ατμού από το στρόβιλο της γεννήτριας σε kJ/kg συναρτήσει της παραγόμενης ισχύος σε kW.

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος \dot{W}_{TG} που παράγει η γεννήτρια σε kW δίνεται στον Πίνακα 3.5.3.1.

Πίνακας 3.5.3.1 Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης συναρτήσει της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος σε kW.

Output (kW)	η_G
3450	0,958
2587,5	0,955
1725	0,946
862,5	0,913

Όπως θα δούμε και στο Κεφάλαιο 4, ο πίνακας αυτός χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία υπολογισμών του προγράμματος. Προκειμένου το πρόγραμμα να μπορεί να χρησιμοποιήσει τον πίνακα αυτόν, χρειάστηκε να τον μετατρέψουμε σε εξίσωση. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το Matlab και με τη βοήθεια της εντολής cftool προσδιορίστηκε η εξίσωση που τα διέπει. Η εξίσωση αυτή είναι η ακόλουθη,

$$\eta_G = 0,006455 \cdot x^3 - 0,0125 \cdot x^2 + 0,01065 \cdot x + 0,9524 \quad (3.5.3.1)$$

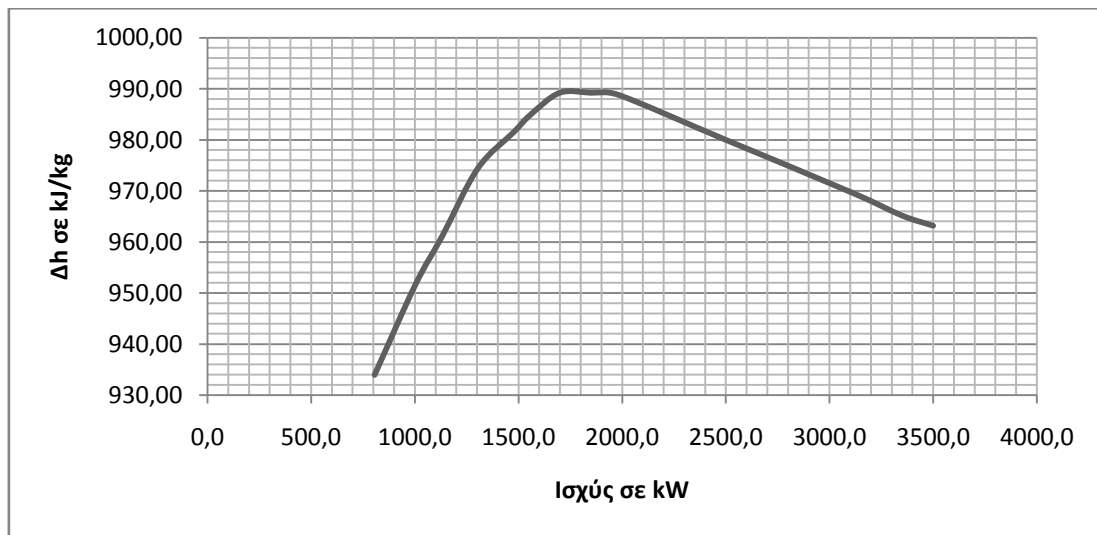
$$x = \frac{P_G - 2156}{1113} \quad (3.5.3.2)$$

όπου P_G είναι η ισχύς σε kW που παράγει η γεννήτρια.

Παρατηρούμε ότι τα δεδομένα Διαγράμματα 3.5.3.1 και 3.5.3.2 αναφέρονται σε συγκεκριμένες συνθήκες εισόδου. Στην παρούσα μελέτη, όμως, επιζητούμε τη δυνατότητα υπολογισμών των στοιχείων του στροβίλου της γεννήτριας ανεξάρτητα από τις συνθήκες εισόδου. Συνεπώς θα αναπτύξουμε κατάλληλα διαγράμματα και διαδικασία υπολογισμών. Η διαδικασία υπολογισμών περιγράφεται στην Ενότητα 4.1 ενώ ακολουθούν τα σχετικά διαγράμματα που έχουν ως εξής:

Διαφορά ενθαλπίας συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος

Αναπτύσσουμε το διάγραμμα της διαφοράς ενθαλπίας $\Delta h = h_5 - h_{d1}$ σε kJ/kg συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος. Για την ανάπτυξή του στηρίζομαστε στο αντίστοιχο Διάγραμμα 3.5.3.2 Το διάγραμμα έχει ως εξής:



Διάγραμμα 3.5.3.3 Διαφορά ενθαλπίας μεταξύ εισόδου και εξόδου του στροβίλου της γεννήτριας, $\Delta h = h_5 - h_{d1}$ σε kJ/kg συναρτήσει της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος.

Όπως προηγουμένως χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα Matlab για να παραχθεί η ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta h = -0,3878 \cdot x^8 - 1,904 \cdot x^7 + 0,766 \cdot x^6 - 10,29 \cdot x^5 + 2,423 \cdot x^4 + 24,67 \cdot x^3 - 27,53 \cdot x^2 - 6,523 \cdot x + 989,1 \quad (3.5.3.3)$$

$$x = \frac{P_G - 1944}{901,7} \quad (3.5.3.4)$$

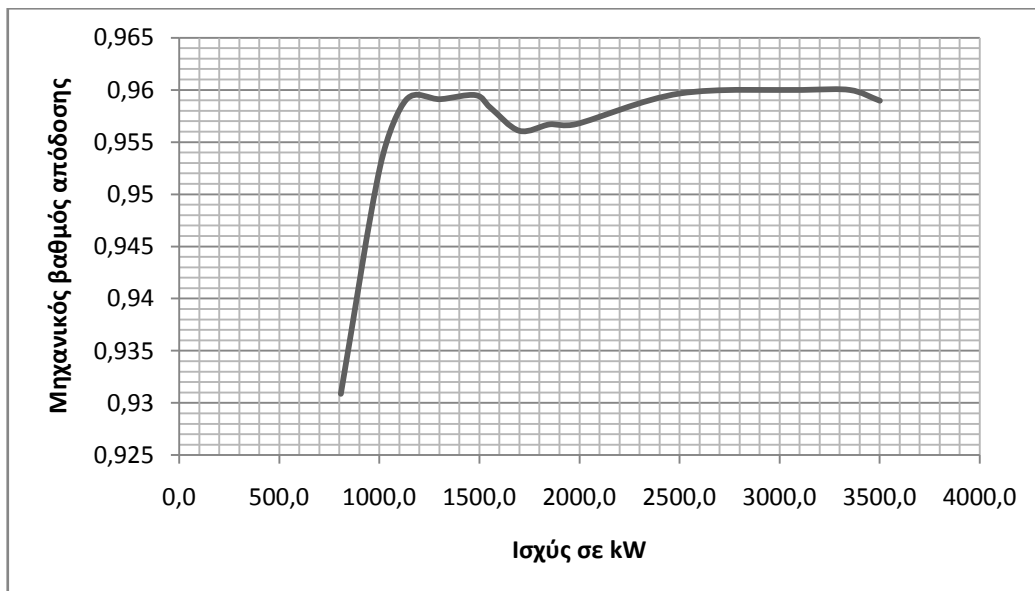
όπου P_G είναι η ισχύς σε kW που παράγει η γεννήτρια.

Μηχανικός βαθμός απόδοσης συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος

Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου της γεννήτριας υπολογίζεται από τον τύπο

$$\eta_M = \frac{P_G}{\eta_G \cdot \dot{m}_5 \cdot \Delta h} \quad (3.5.3.5)$$

Προκύπτει, επομένως το ακόλουθο διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.5.3.4 Μηχανικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου της γεννήτριας συναρτήσει της παραγόμενης ισχύος σε kW.

Η εξίσωση που περιγράφει το διάγραμμα αυτό έχει ως εξής,

$$\eta_M = 0,0006404 \cdot x^9 - 0,0009982 \cdot x^8 - 0,003276 \cdot x^7 + 0,001605 \cdot x^6 + 0,01559 \cdot x^5 - 0,01232 \cdot x^4 - 0,0139 \cdot x^3 + 0,01254 \cdot x^2 + 0,003234 \cdot x + 0,9566 \quad (3.5.3.6)$$

$$x = \frac{P_G - 1944}{901,7} \quad (3.5.3.7)$$

όπου P_G είναι η ισχύς σε kW που παράγει η γεννήτρια.

3.5.4 Αποστακτήρας (FW Evaporator)

Στους υπολογισμούς του Κεφαλαίου 3, έχει προσδιοριστεί για κάθε κατάσταση πλήρους φορτίου η ειδική κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή γλυκού νερού, q_w . Για τους περαιτέρω υπολογισμούς μας χρησιμοποιούμε το μέσο όρο των αποτελεσμάτων αυτών (βλ. Παραγράφους 3.1.2, 3.2.3 και 3.3.3). Κατά συνέπεια,

$$q_w = 1549,1302 \text{ kJ/kg}$$

Οι υπολογισμοί βασίζονται μόνο σε καταστάσεις πλήρους φορτίου για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν στην Παράγραφο 3.5.1.1. Επιπλέον, δεν είμαστε σίγουροι ότι οι τιμές των ιδιοτήτων των ροών κατά μήκος της γραμμής αποτόνωσης των στροβίλων πρόωσης που σημειώνονται στα διαγράμματα ροής είναι ακριβείς (βλ. Παράγραφο 3.5.2.2).

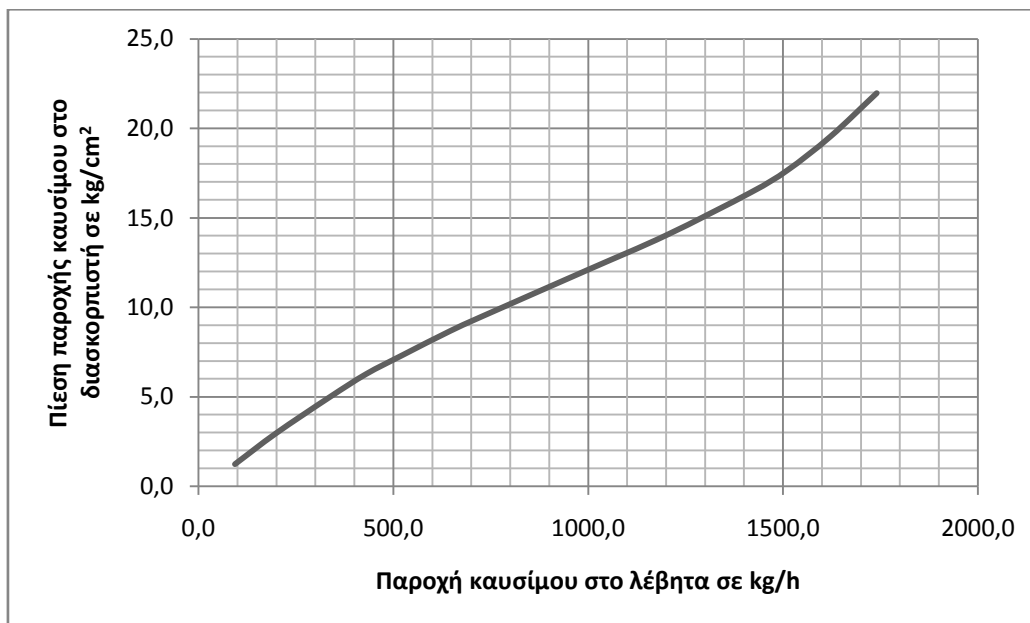
3.5.5 Εκτίμηση της παροχής ατμού προς καταναλωτές

Προσπαθούμε να προσδιορίσουμε τον τρόπο υπολογισμού (και τις παραδοχές) για τον υπολογισμό των ακόλουθων καταναλώσεων ατμού:

3.5.5.1 Διασκορπιστές καυσίμου (Burner's Atomizers)

Όπως αναφέρεται και στην Ενότητα 2.1, υπάρχει ένας διασκορπιστής ανά καυστήρα και εφόσον κάθε λέβητας διαθέτει τρεις καυστήρες, συνολικά στο πλοίο είναι εγκατεστημένοι έξι διασκορπιστές καυσίμου.

Όσον αφορά στη σχέση παροχής καυσίμου πετρελαίου και της πίεσης εισαγωγής καυσίμου στους διασκορπιστές καθώς και τη σχέση της πίεσης εισαγωγής με την παροχή ατμού σε κάθε διασκορπιστή, ισχύουν τα Διαγράμματα 3.5.5.1.1 και 3.5.5.1.2.



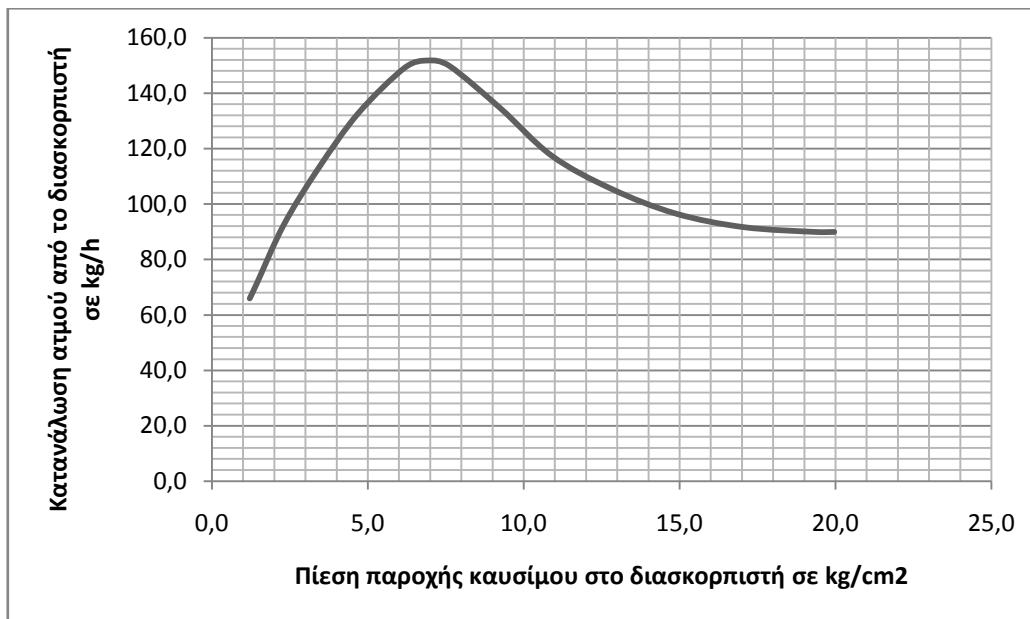
Διάγραμμα 3.5.5.1.1 Πίεση παροχής καυσίμου σε κάθε διασκορπιστή καυσίμου σε kg/cm² συναρτήσει της παροχής καυσίμου στο λέβητα ανά διασκορπιστή σε kg/h.

Γνωρίζουμε ότι τα εν λόγω διαγράμματα αναφέρονται σε έναν διασκορπιστή και όσον αφορά στην παροχή πετρελαίου του Διαγράμματος 3.5.5.1.1, πρόκειται για τη συνολική παροχή διηρημένη με τον αριθμό των διασκορπιστών.

Η εξίσωση που προσδιορίστηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab και που περιγράφει το ανωτέρω διάγραμμα έχει ως εξής:

$$P_{\text{sup}} = (4,379 \cdot 10^4) \cdot x^7 - (8,013 \cdot 10^4) \cdot x^6 - (5,788 \cdot 10^4) \cdot x^5 + (2,12 \cdot 10^4) \cdot x^4 - 4014 \cdot x^3 + 295,7 \cdot x^2 + 49,59 \cdot x - 0,1886 \quad (3.5.5.1.1)$$

Όπου $x = \dot{m}_{FO}/6$



Διάγραμμα 3.5.5.1.2 Κατανάλωση ατμού ανά διασκορπιστή σε kg/h συναρτήσει της πίεσης παροχής καυσίμου σε κάθε διασκορπιστή καυσίμου σε kg/cm².

Το διάγραμμα αυτό προσεγγίζεται καλύτερα με δύο εξισώσεις. Μία για πίεση παροχής καυσίμου μικρότερη από ή ίση με $P_{div} = 8,4 \text{ kg/cm}^2$ και μία για πίεση μεγαλύτερη από P_{div} . Η πρώτη εξίσωση έχει ως ακολούθως:

$$\dot{m}_{stperatom} = 1,638 \cdot x^5 - 2,673 \cdot x^4 - 6,081 \cdot x^3 - 7,398 \cdot x^2 + 35,65 \cdot x + 130,6 \quad (3.5.5.1.2)$$

όπου,

$$x = \frac{P_{sup} - 4,546}{2,414} \quad (3.5.5.1.3)$$

ενώ η δεύτερη,

$$\dot{m}_{stperatom} = 0,0002997 \cdot x^6 - 0,0002574 \cdot x^5 - 0,0005978 \cdot x^4 + (9,905 \cdot 10^{-5}) \cdot x^3 + 0,002449 \cdot x^2 - 0,003794 \cdot x + 0,0268 \quad (3.5.5.1.4)$$

$$x = \frac{P_{sup} - 14,88}{4,128} \quad (3.5.5.1.5)$$

Για τη λειτουργία με καύση αποκλειστικά φυσικού αερίου, έχουμε ελάχιστη κατανάλωση ατμού στους διασκορπιστές που τη βρίσκουμε από τα διαγράμματα ροής του εγχειριδίου και ισούται με: $\dot{m}_{st,atom} = 300 \text{ kg/h}$.

3.5.5.2 Εκκαπνιστές (Soot Blowers)

Γνωρίζουμε ότι κατά τη διάρκεια του εκκαπνισμού έχουμε κατανάλωση ατμού 110 kg/min/ ζευγάρι. Ο καθαρισμός διαρκεί 15 λεπτά. Συνεπώς αν κάνουμε εκκαπνισμό δύο φορές τη μέρα θα έχουμε μέση κατανάλωση ατμού,

$$\dot{m}_{st,soot} = 137,5 \text{ kg/h.}$$

Στα διαγράμματα ροής του εγχειριδίου, όμως, παρατηρούμε ότι για καύση 100% Φυσικού Αερίου έχουμε σταθερή παροχή $\dot{m}_{st,soot} = 63 \text{ kg/h}$, ενώ για καύσιμο πετρέλαιο ή και διπλό καύσιμο έχουμε, $\dot{m}_{st,soot} = 125 \text{ kg/h}$.

Χρησιμοποιούμε τα στοιχεία των διαγραμμάτων ροής του εγχειριδίου καθότι θεωρούνται πιο αντιπροσωπευτικά.

Τέλος στο εγχειρίδιο πάλι βλέπουμε ότι η πίεση στην είσοδο των εκκαπνιστών είναι ίση με $P_{soot} = 9,8 \text{ bar}$ για όλα τα είδη των εκκαπνιστών.

3.5.5.3 Απώλειες (Losses)

Θα προσπαθήσουμε να προσδιορίζουμε τις απώλειες με βάση δεδομένα από μετρήσεις (διαγράμματα ροής) αφού δεν έχουμε άλλα στοιχεία.

Παρακάτω ακολουθεί πίνακας που σχετίζει την ατμοπαραγωγή σε κάθε κατάσταση με τις απώλειες:

Πίνακας 3.5.5.3.1 Ποσοστό των απωλειών προς τη συνολική ατμοπαραγωγή του λέβητα σε κάθε κατάσταση λειτουργίας για την οποία έχουμε στοιχεία από τα διαγράμματα ροής.

Κατάσταση	Ατμοπαραγωγή [kg/h]	Απώλειες [kg/h]	Ποσοστό
100%GAS	111281	971	0,008726
100%FO	108607	954	0,008784
100% DUAL	110652	967	0,008739
Μέσος όρος			0,00875
90%FO	98530	891	0,009042
90%GAS	100787	905	0,008979
90% DUAL	100498	903	0,008985
Μέσος όρος			0,009002
80% FO	88686	829	0,009348
50% FO	63070	667	0,010576
30% FO	48979	579	0,011821

Είναι κατανοητό ότι για να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας αυτός στους υπολογισμούς του προγράμματος που θα αναπτυχθεί, πρέπει να αναπτύξουμε μια εξίσωση που να τον περιγράφει. Η εξίσωση θα αφορά στην εύρεση του ποσοστού των απωλειών δια την ατμοπαραγωγή συναρτήσει του ποσοστού της ισχύος πρόωσης (χρησιμοποιούνται οι μέσοι όροι όπως φαίνονται και ανωτέρω). Ακολουθούμε τη διαδικασία της Παραγράφου 3.5.3 και έχουμε,

$$\dot{m}_{d23} = 0,0001081 \cdot x^4 + 1,612 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 + 7,278 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,001148 \cdot x + 0,009731 \quad (3.5.3.1)$$

$$x = \frac{\dot{W}_T - 1,895 \cdot 10^4}{7891} \quad (3.5.3.2)$$

Όπου \dot{W}_T η ισχύς πρόωσης σε kW.

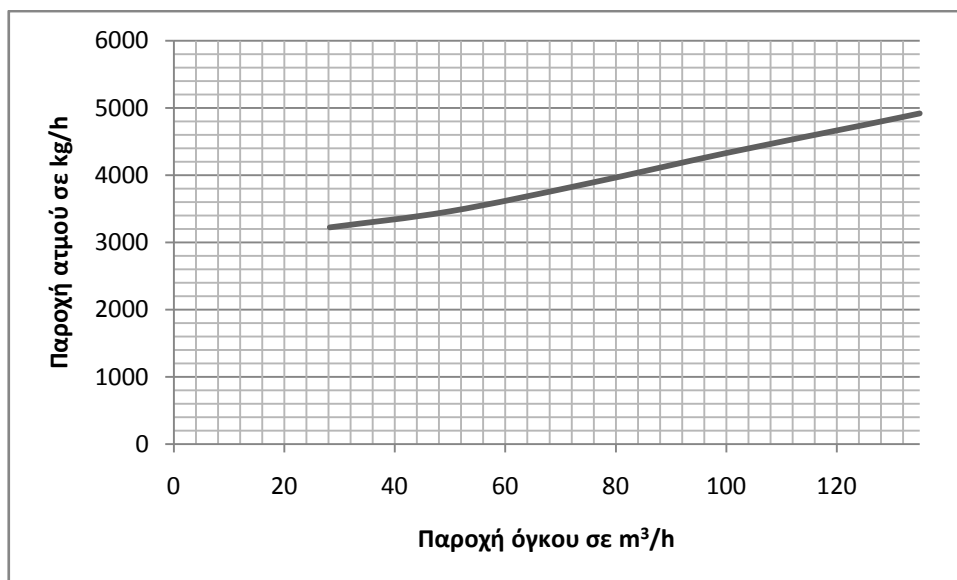
3.5.6 Στρόβιλος τροφοδοτικής αντλίας (TFP)

Εδώ θα γίνει καταγραφή των διαγραμμάτων και του τρόπου υπολογισμού των ιδιοτήτων εξόδου και εισόδου του στροβίλου της τροφοδοτικής αντλίας, κάτι που θα φανεί χρήσιμο στο Κεφάλαιο 4.

Χρήσιμα για τον υπολογισμό είναι τα διαγράμματα του εγχειριδίου, τα οποία όμως αναφέρονται σε συγκεκριμένη κατάσταση εισόδου (ροή 6) με $P=59,9$ bar και $T=510^\circ\text{C}$.

Προσδιορισμός παροχής μάζας στο στρόβιλο \dot{m}_6

Στο εγχειρίδιο υπάρχει διάγραμμα που δίνει την παροχή μάζας ατμού στο στρόβιλο συναρτήσει της παροχής όγκου νερού που περνάει από την αντλία, \dot{V}_P . Υπάρχουν δύο καταστάσεις στις οποίες αναφέρεται το διάγραμμα, ανάλογα με το αν η χειροκίνητη βαλβίδα υπερφόρτισης είναι ανοιχτή ή κλειστή. Η πρώτη αναφέρεται σε κανονική παροχή \dot{V}_P και κλειστή βαλβίδα:

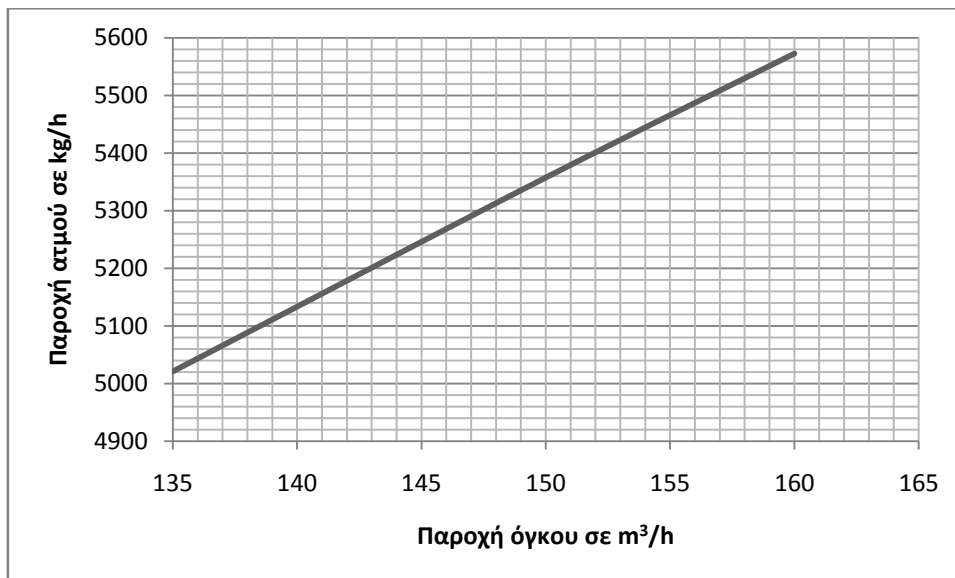


Διάγραμμα 3.5.6.1 Παροχή ατμού προς το στρόβιλο της τροφοδοτικής αντλίας σε kg/h συναρτήσει της παροχής όγκου νερού στην αντλία σε m³/h για λειτουργία με κλειστή βαλβίδα.

Με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab έχει προσδιοριστεί η ακόλουθη εξίσωση που περιγράφει το διάγραμμα:

$$\dot{m}_6 = (4,072 \cdot 10^5) \cdot \dot{V}_P^4 - (4,68 \cdot 10^4) \cdot \dot{V}_P^3 + 1929 \cdot \dot{V}_P^2 - 16,26 \cdot \dot{V}_P + 0,9254 \quad (3.5.6.1)$$

Η δεύτερη αναφέρεται σε μεγάλη παροχή όγκου νερού \dot{V}_P και ανοιχτή βαλβίδα:



Διάγραμμα 3.5.6.2 Παροχή ατμού προς το στρόβιλο της τροφοδοτικής αντλίας σε kg/h συναρτήσει της παροχής όγκου νερού στην αντλία σε m³/h για λειτουργία με ανοιχτή βαλβίδα.

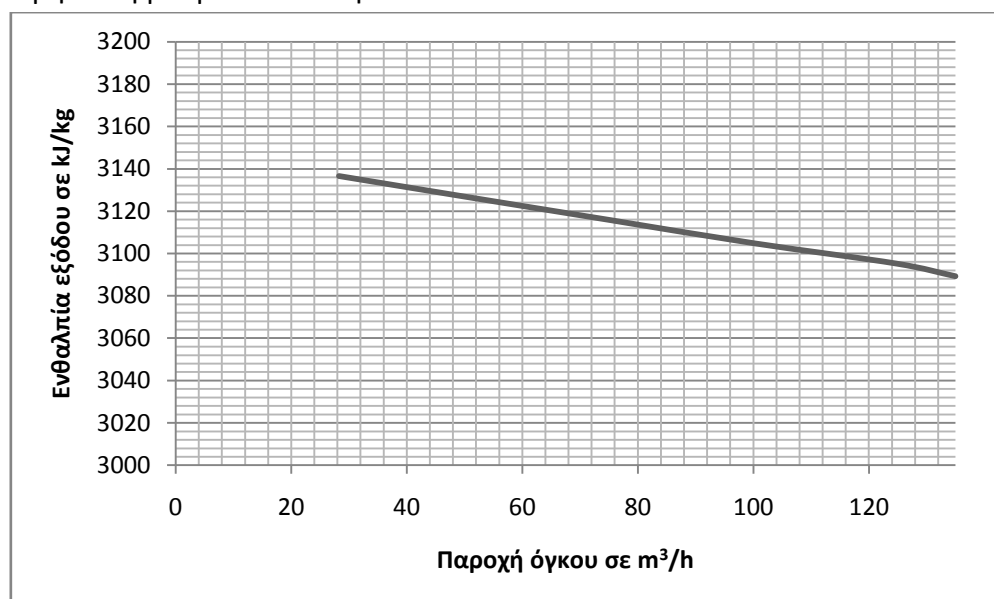
Η εξίσωση που περιγράφει το διάγραμμα έχει ως εξής,

$$\dot{m}_6 = -130 \cdot \dot{V}_p^2 + 32,7 \cdot \dot{V}_p + 0,351 \quad (3.5.6.2)$$

Παρατηρούμε ότι για παροχή όγκου $\dot{V}_p = 135 \text{ m}^3/\text{h}$ υπάρχει μια αλληλοεπικάλυψη των δύο διαγραμμάτων. Στην περίπτωση παροχής με αυτή την τιμή γίνεται επιλογή για το αν θα κρατήσουμε τη βαλβίδα ανοιχτή ή κλειστή.

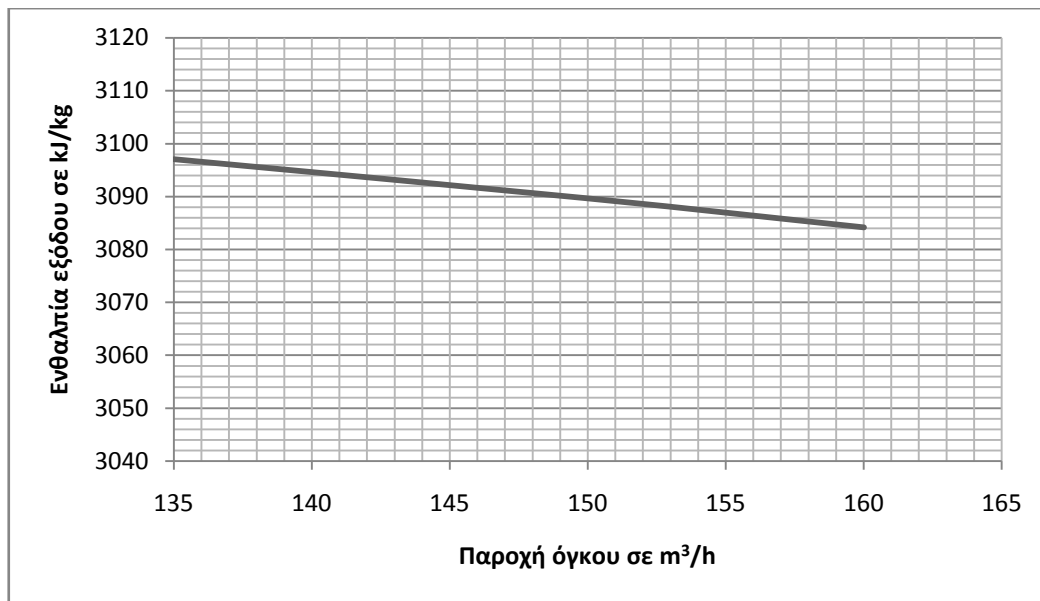
Προσδιορισμός ενθαλπίας εξαγωγής από το στρόβιλο h_{d12}

Στο εγχειρίδιο υπάρχει διάγραμμα που δίνει την ενθαλπία εξαγωγής του ατμού από το στρόβιλο συναρτήσει της παροχής όγκου που περνάει από την αντλία, \dot{V}_p . Υπάρχουν δύο καταστάσεις στις οποίες αναφέρεται το διάγραμμα. Η πρώτη είναι όταν η παροχή \dot{V}_p είναι σχετικά μικρή και η βαλβίδα κλειστή:



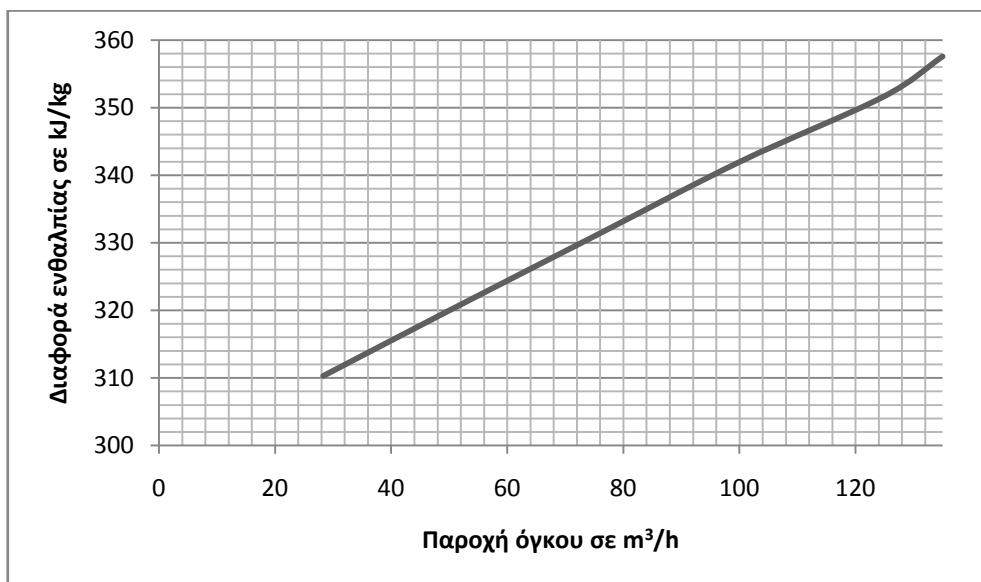
Διάγραμμα 3.5.6.3 Ενθαλπία εξόδου ατμού από το στρόβιλο της τροφοδοτικής αντλίας σε kJ/kg συναρτήσει της παροχής όγκου νερού στην αντλία σε m³/h για λειτουργία με κλειστή βαλβίδα.

Η δεύτερη είναι όταν η παροχή \dot{V}_p είναι μεγάλη και η βαλβίδα ανοιχτή:



Διάγραμμα 3.5.6.4 Ενθαλπία εξόδου ατμού από το στρόβιλο της τροφοδοτικής αντλίας σε kJ/kg συναρτήσει της παροχής όγκου νερού στην αντλία σε m³/h για λειτουργία με ανοιχτή βαλβίδα.

Επειδή όμως η ενθαλπία εισαγωγής, στην οποία αναφέρονται τα παραπάνω διαγράμματα, είναι δεδομένη σχεδιάζουμε τα διαγράμματα της διαφοράς ενθαλπίας $\Delta h = h_6 - h_{d12}$ συναρτήσει της παροχής όγκου και χρησιμοποιούμε αυτά στους περαιτέρω υπολογισμούς:



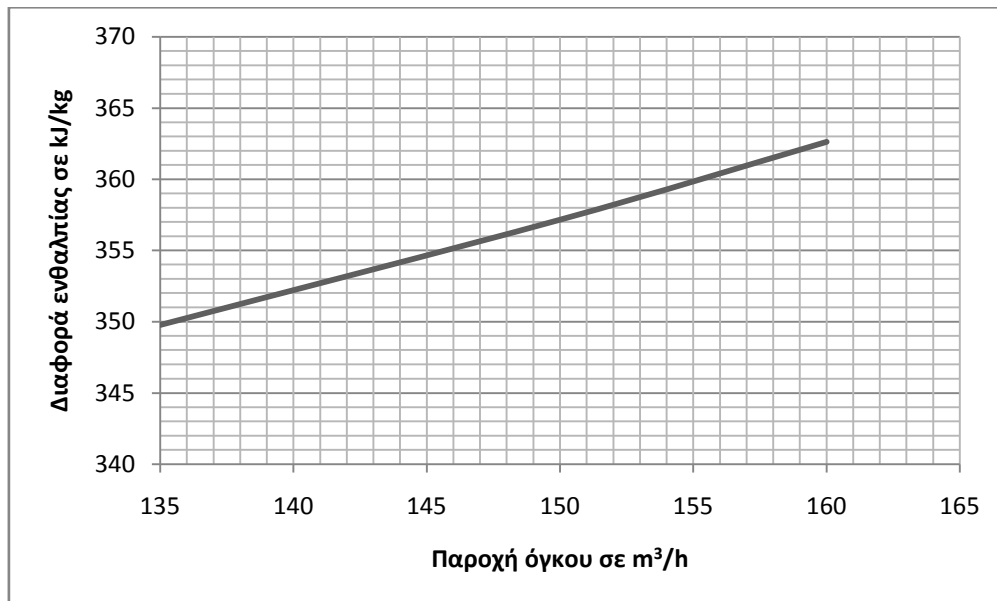
Διάγραμμα 3.5.6.5 Διαφορά ενθαλπίας μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του στρόβιλου της τροφοδοτικής αντλίας σε kJ/kg συναρτήσει της παροχής όγκου νερού στην αντλία σε m³/h για λειτουργία με κλειστή βαλβίδα.

Το Διάγραμμα 3.5.6.5 περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση,

$$\Delta h = 2,008 \cdot x^5 + 1,851 \cdot x^4 - 3,159 \cdot x^3 - 2,518 \cdot x^2 + 18,98 \cdot x + 335,8$$

(3.5.6.3)

$$x = \frac{\dot{V}_p - 0,02375}{0,0117} \quad (3.5.6.4)$$



Διάγραμμα 3.5.6.6 Διαφορά ενθαλπίας μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του στροβίλου της τροφοδοτικής αντλίας σε kJ/kg συναρτήσει της παροχής όγκου νερού στην αντλία σε m³/h για λειτουργία με ανοιχτή βαλβίδα.

Το Διάγραμμα 3.5.6.6 περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση,

$$\Delta h = (2,785 \cdot 10^4) \cdot V_p^2 - 432 \cdot V_p + 326,8 \quad (3.5.6.5)$$

3.5.7 Μηχανικός βαθμός απόδοσης στροβίλου υψηλής πίεσης

Από τους υπολογισμούς που έγιναν στις προηγούμενες Παραγράφους για τις τρεις καταστάσεις μέγιστης ισχύος πρόωσης, που περιγράφονται από τα δεδομένα διαγράμματα ροής (Παράρτημα 1, 1.B), προκύπτουν οι τιμές για το μηχανικό βαθμό απόδοσης του στροβίλου υψηλής πίεσης που δίνονται στον Πίνακα 3.5.7.1.

Πίνακας 3.5.7.1 Μηχανικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου υψηλής πίεσης για τις καταστάσεις λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης για τις οποίες έχουμε δεδομένα από τα διαγράμματα ροής.

100% MCR με καύσιμο FO	0,9641
100% MCR με καύσιμο Φυσικό Αέριο	0,9557
100% MCR με καύσιμο FO και Φυσικό Αέριο	0,9599

Θεωρούμε ότι $\eta_{M1}=0,96$.

Δε χρησιμοποιούμε καταστάσεις μερικού φορτίου στον υπολογισμό του μέσου όρου, καθώς μόνο για τις καταστάσεις πλήρους φορτίου έχουμε στοιχεία για την κατανομή ισχύος μεταξύ των στροβίλων.

3.5.8 Θερμοκρασία στα σημεία σ_{11} , σ_{14} και σ_{19}

Οι θερμοκρασίες στα σημεία σ_{11} , σ_{14} και σ_{19} μπορεί μεν να είναι σταθερές για όλες τις καταστάσεις πλήρους φορτίου, αλλά στο μερικό φορτίο δεν ισχύει αυτό και παίρνονται ίσες με αυτές των διαγραμμάτων ροής (βλ. Παράρτημα 1, 1.B). Στο πρόγραμμα, για λόγους ευκολίας, οι θερμοκρασίες αυτές για μερικό φορτίο προσδιορίζονται με βάση πίνακες βασισμένους στις δεδομένες τιμές των διαγραμμάτων ροής.

Πίνακας 3.5.7.1 Θερμοκρασία σημείου σ_{11} σε $^{\circ}\text{C}$ συναρτήσει της συνολικά παραγόμενης ισχύος πρόωσης σε kW.

\dot{W}_T [kW]	T [$^{\circ}\text{C}$]
27066,3558	53,5
24359,7202	54,9
21653,0846	56,6
13533,1779	63,5
8119,90674	59,3

Για χρήση του ανωτέρω πίνακα από το πρόγραμμα, προσδιορίζεται με το Matlab εξίσωση που παρεμβάλει τα σημεία του:

$$T_{\sigma_{11}} = -1,772 \cdot x^4 + 2,431 \cdot x^3 + 1,483 \cdot x^2 - 7,412 \cdot x + 58,89 \quad (3.5.7.1)$$

όπου,

$T_{\sigma_{11}}$ η θερμοκρασία του σ_{11} σε $^{\circ}\text{C}$

$$x = \frac{\dot{W}_T - 1,895 \cdot 10^4}{7891} \quad (3.5.7.2)$$

Πίνακας 3.5.7.2 Θερμοκρασία σημείου σ_{14} σε $^{\circ}\text{C}$ συναρτήσει της συνολικά παραγόμενης ισχύος πρόωσης σε kW.

\dot{W}_T [kW]	T [$^{\circ}\text{C}$]
27066,3558	103,2
24359,7202	96,9
21653,0846	95,3
13533,1779	90,6
8119,90674	55,3

Για χρήση του ανωτέρω πίνακα από το πρόγραμμα, προσδιορίζουμε με το Matlab εξίσωση που παρεμβάλει τα σημεία του:

$$T_{\sigma_{14}} = -0,7139 \cdot x^4 + 12,59 \cdot x^3 - 3,826 \cdot x^2 - 1,331 \cdot x + 95,71 \quad (3.5.7.3)$$

όπου,

$T_{\sigma_{14}}$ η θερμοκρασία του σ_{14} σε $^{\circ}\text{C}$

$$x = \frac{\dot{W}_T - 1,895 \cdot 10^4}{7891} \quad (3.5.7.4)$$

Πίνακας 3.5.7.3 Θερμοκρασία σημείου σ_{19} σε $^{\circ}\text{C}$ συναρτήσει της συνολικά παραγόμενης ισχύος πρόωσης σε kW.

\dot{W}_T [kW]	T [$^{\circ}\text{C}$]
27066,3558	140,4
24359,7202	140,55
21653,0846	140,7
13533,1779	141,6
8119,90674	142,4

Για χρήση του ανωτέρω πίνακα από το πρόγραμμα, προσδιορίζουμε με το Matlab εξίσωση που παρεμβάλει τα σημεία του:

$$T_{\sigma_{11}} = -0,1075 \cdot x^4 - 0,03835 \cdot x^3 + 0,3951 \cdot x^2 - 0,7473 \cdot x + 140,9 \quad (3.5.7.4)$$

όπου,

$T_{\sigma_{11}}$ η θερμοκρασία του σ_{11} σε $^{\circ}\text{C}$

$$x = \frac{\dot{W}_T - 1,895 \cdot 10^4}{7891} \quad (3.5.7.5)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Υπολογισμός λειτουργικών χαρακτηριστικών του συστήματος για δεδομένη κατάσταση φόρτισης

4.1 Περιγραφή Πορείας Υπολογισμών

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η πορεία που θα ακολουθηθεί από το πρόγραμμα προσομοίωσης του συστήματος πρόωσης με ατμό:

Δεδομένα

Καθορίζονται τα δεδομένα στοιχεία της υπολογιστικής διαδικασίας

Είδος καυσίμου, άρα θερμογόνος ικανότητα: H_u

Ισχύς στον άξονα του στροβίλου: \dot{W}_T

Εναλλακτικά, μπορεί να δίνεται η ταχύτητα περιστροφής της έλικας, n_p , οπότε η ισχύς προσδιορίζεται από την καμπύλη $\dot{W}_T - n_p$.

Ηλεκτρική ισχύς στροβιλογεννήτριας: \dot{W}_G

Παραγωγή γλυκού νερού του αποστακτήρα: \dot{m}_{dist}

Δίνεται το ποσοστό της ατμοπαραγωγής που οφείλεται στην καύση του πετρελαίου, π_{FO} . Γίνεται η παραδοχή ότι το ποσοστό αυτό είναι ίσο με το ποσοστό της παραγομένης από το λέβητα θερμότητας που οφείλεται στην καύση του πετρελαίου. Το υπόλοιπο οφείλεται στο φυσικό αέριο:

$$\pi_{BOG} = 1 - \pi_{FO} \quad (4.1.1)$$

Σταθερά στοιχεία για όλες τις καταστάσεις

Σημειώνονται οι πιέσεις, οι θερμοκρασίες και οι παροχές μάζας για τις οποίες τα διαγράμματα ροής δείχνουν ότι διατηρούνται σταθερές για ποικίλους συνδυασμούς καυσίμων και ισχύος πρόωσης.

Πίεση και θερμοκρασία στα σημεία:

$B, 0, 1, 4, 5, 6, c, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_{16}, \sigma_{20}$ έως σ_{27}, σ_{29} έως $\sigma_{32}, \sigma_{36}, \sigma_{37}, \sigma_{40}, \sigma_{39}, d_{38}$

Έχουμε υποθέσει ότι, $P_1 = 0,9 \cdot P_0$. (4.1.2)

Επίσης $h_1 = h_0$ (4.1.3)

Τα σημεία d_{38} και d_{24} έως d_{36} έχουν τις ίδιες ιδιότητες.

Για τα παραπάνω σημεία υπολογίζεται η ενθαλπία και, όπου χρειάζεται, η εντροπία.

Πίεση στα σημεία:

$\sigma_3, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_{10}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{17}, \sigma_{19}, \sigma_{37}, \sigma_{38}, d_1, d_6$

Θερμοκρασία στα σημεία:

είσοδος αέρα στον προθερμαντήρα Χ.Π, i και έξοδος, o .

Πορεία υπολογισμών για καταστάσεις λειτουργίας στο 100% της ισχύος

Πρόσθετα δεδομένα

Πρόκειται για μεγέθη που παραμένουν σταθερά για καταστάσεις λειτουργίας στο πλήρες φορτίο μόνο. Οι τιμές τους ορίζονται σύμφωνα με τα διαγράμματα ροής.

Πίεση και θερμοκρασία στα σημεία:

2, 3, e_1 , e_2 , e_3 , σ_4 , σ_8 , σ_{11} , σ_{14} , σ_{19} , σ_{41} , d_{16} , d_{39} .

Ορίζεται επιπλέον και η ενθαλπία των σημείων d_{17} έως d_{23} της οποίας η τιμή είναι ίση με αυτή του σημείου d_{16} .

Για τη ροή σ_{18} ισχύει ότι $\sigma_{18} \equiv \sigma_{19}$.

Θα θεωρηθεί ότι ο ατμός από τον στρόβιλο της τροφοδοτικής αντλίας (ρεύμα d_{12}) διοχετεύεται απ' ευθείας στον προθερμαντήρα. Επομένως η ενθαλπία στα σημεία e_2 , d_8 , d_{10} , d_{11} , d_{42} είναι η ίδια.

Για τα παραπάνω σημεία υπολογίζεται η ενθαλπία και η εντροπία.

Καταγράφονται οι (ονομαστικοί) ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης στα επιμέρους τμήματα των στροβίλων πρόωσης, όπως έχουν υπολογιστεί στους προκαταρκτικούς υπολογισμούς και ειδικότερα στον Πίνακα 3.5.2.1.1.

Πορεία υπολογισμών για καταστάσεις λειτουργίας στο μερικό φορτίο

Πρόσθετα δεδομένα

Πρόκειται για εκτιμήσεις των, σε καταστάσεις μερικού φορτίου, τιμών των μεγεθών που αναφέρθηκαν προηγουμένως και που μένουν σταθερά μόνο για καταστάσεις λειτουργίας στο πλήρες φορτίο. Η εκτίμηση τους στο πρόγραμμα θα γίνεται με ανάγνωση από αρχεία ή με χρήση καμπυλών και θα βασίζεται στα διαγράμματα ροής.

Συγκεκριμένα, θεωρούνται δεδομένες οι πιέσεις στα σημεία απομαστεύσεων e_1 , e_2 και e_3 . Οι λοιπές ιδιότητες προσδιορίζονται με τη βοήθεια των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης κατά τμήματα των στροβίλων πρόωσης οι οποίοι εκτιμώνται σύμφωνα με την Παράγραφο 3.5.2.1 και ειδικότερα με τις Εξ. (3.5.2.1.1) και (3.5.2.1.2). Οι ιδιότητες των σημείων υπέρθερμου ατμού 2 και 3 είναι ίδιες με αυτές της απομάστευσης e_2 .

Η πίεση στα σημεία σ_{11} , σ_{14} και σ_{19} θεωρείται δεδομένη (γνωρίζουμε ότι αυτή μένει σταθερή σε όλες τις καταστάσεις) ενώ η θερμοκρασία υπολογίζεται με τη βοήθεια εμπειρικών εξισώσεων που προέκυψαν από διαγράμματα ροής (βλ. Παράγραφο 3.5.8). Οι ιδιότητες (πίεση και θερμοκρασία) των σημείων σ_4 και σ_8 δίνονται από το χρήστη με τη βοήθεια αρχείου δεδομένων ενώ για το σημείο σ_{41} είναι γνωστό ότι ισχύουν τα εξής:

$$P_{\sigma_{41}} = P_{e_1} \text{ και } T_{\sigma_{41}} = 140^\circ\text{C}.$$

Επίσης $\sigma_{18} \equiv \sigma_{19}$.

Η πίεση του σημείου d_{16} είναι επίσης δεδομένη, ενώ για τη ροή d_{39} ισχύει ότι $d_{39} \equiv e_1$.

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως, θα θεωρηθεί ότι ο ατμός από τον στρόβιλο της τροφοδοτικής αντλίας (ρεύμα d_{12}) διοχετεύεται απ' ευθείας στον προθερμαντήρα. Επομένως εξισώνεται η ενθαλπία μεταξύ των σημείων e_2 , d_8 , d_{10} , d_{11} και d_{42} .

Για τα παραπάνω σημεία υπολογίζεται η ενθαλπία και η εντροπία.

Προκαταρκτικοί υπολογισμοί

Κατ' αρχάς, δίνονται οι παροχές μάζας των ρευμάτων διαρροών λαβυρίνθων των στρόβιλων πρόωσης, του στρόβιλου της γεννήτριας, του απαερωτή και του στρόβιλου της τροφοδοτικής αντλίας. Δηλαδή τα,

$$\dot{m}_{g1HP}, \dot{m}_{g1LP}, \dot{m}_{g1} = \dot{m}_{g1HP} + \dot{m}_{g1LP}, \dot{m}_{g2}, \dot{m}_{g3}, \dot{m}_{g4}, \dot{m}_{g5}$$

Ακολουθούν υπολογισμοί.

Στρόβιλος γεννήτριας

Με βάση τα διαγράμματα του εγχειρίδιου για το στρόβιλο της γεννήτριας (ενθαλπία εξόδου h_{d1} , παροχή μάζας ατμού \dot{m}_5 και ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης, η_G συναρτήσει ηλεκτρικής ισχύος) προκύπτουν με υπολογισμούς (βλ. Παράγραφο 3.5.3) το διάγραμμα της διαφοράς ενθαλπίας $\Delta h = h_5 - h_{d1}$ συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος και το διάγραμμα του μηχανικού βαθμού απόδοσης η_M πάλι συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος.

Υπολογίζεται η παροχή εισόδου ατμού στο στρόβιλο,

$$\dot{m}_5 = \frac{\dot{W}_G}{\eta_G \cdot \eta_M \cdot \Delta h} \quad (4.1.4)$$

Υπολογίζεται η παροχή και η ενθαλπία εξόδου ατμού από το στρόβιλο,

Τέλος υπολογίζεται η ενθαλπία διαρροών λαβυρίνθων του στρόβιλου ως εξής:

Προσδιορίζεται η ειδική κατανάλωση του ατμού SR,

$$SR = \frac{\dot{m}_5}{\dot{W}_G} \quad (4.1.5)$$

Σύμφωνα με το [1] είναι:

$$h_{g4} = h_5 - \frac{0,3}{SR} \quad (4.1.6)$$

Αποστακτήρας

Προσδιορίζεται η $\dot{m}_{\sigma 40} = \dot{m}_{d19}$

Υπολογίζεται η \dot{m}_{d8} με βάση την ειδική κατανάλωση θερμότητας του αποστακτήρα.

Είναι: $\dot{m}_{d8} = \dot{m}_{\sigma 8}$

Εξωτερικοί καταναλωτές

Υπολογίζονται (από τις ανάγκες των αντίστοιχων καταναλωτών) ή επιλέγονται οι παροχές ατμού \dot{m}_{d25} , \dot{m}_{d26} , \dot{m}_{d28} , \dot{m}_{d29} , \dot{m}_{d30} , \dot{m}_{d32} και οι αντίστοιχες του συμπυκνώματος.

Αρχικές εκτιμήσεις και επιλογές

Πρόκειται για εκτιμήσεις και επιλογές οι οποίες στηρίζονται σε στοιχεία από τα τεχνικά φυλλάδια ή σε προηγούμενους υπολογισμούς:

Επιλέγονται τα χαρακτηριστικά του ρεύματος d_6 (\dot{m}_{d6} , h_{d6}) και του ρεύματος d_7 (h_{d7} και $\dot{m}_{d7} = \dot{m}_{d42}$).

Ακολουθώς γίνεται μια αρχική εκτίμηση της παροχής του νερού αναπλήρωσης $\dot{m}_{\sigma 39}$. Το νερό αυτό έρχεται να αναπληρώσει τις καταναλώσεις στους διασκορπιστές καυσίμου, στους εκκαπνιστές και τις διάφορες απώλειες, επομένως η τιμή της παροχής είναι ίση με το άθροισμα των ανωτέρω παροχών.

Η ροή ατμού προς τους διασκορπιστές καυσίμου εκτιμάται με τη βοήθεια του Πίνακα 4.2.5.1.

Υπολογίζεται η κατανάλωση ατμού από τους εκκαπνιστές, η οποία σύμφωνα με την Παράγραφο 3.5.5.2, εξαρτάται από τη σύνθεση του καυσίμου (φυσικό αέριο, πετρέλαιο ή και τα δύο) που καίγεται στο λέβητα.

Για τις απώλειες γίνεται ένας προκαταρκτικός υπολογισμός με βάση την ισχύ πρόωσης σύμφωνα με την τρίτη στήλη του Πίνακα 3.5.5.3.1.

Εκτιμώνται τα χαρακτηριστικά των ρευμάτων διαρροών λαβυρίνθων που δεν έχουν προσδιοριστεί ή δεν είναι δυνατό να προσδιοριστούν ακόμα, g_2 και g_3 .

Επιλέγονται οι θερμικές απώλειες της ατμογεννήτριας χαμηλής πίεσης και οι άδηλες απώλειες του προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης \dot{Q}_{LP} , $\dot{Q}_{LP SG}$ (βλ. Παράγραφο 3.1.2).

Επιπλέον γίνεται μια εκτίμηση για την παροχή τροφοδοτικού νερού $\dot{m}_{\sigma 19}$.

Τίθεται: $\dot{m}_{\sigma 16} = \dot{m}_{\sigma 19}$.

Τέλος υπολογίζονται (από τις ανάγκες των αντίστοιχων καταναλωτών που εξυπηρετούν την εσωτερική λειτουργία του συστήματος) ή επιλέγονται οι παροχές ατμού \dot{m}_{d27} , \dot{m}_{d31} , \dot{m}_{d33} , \dot{m}_{d34} , \dot{m}_{d35} και \dot{m}_{d36} και οι αντίστοιχες του συμπυκνώματος.

Προσδιορίζεται η $\dot{m}_{\sigma 28}$, $h_{\sigma 28}$. Έχουμε ότι,

$$\dot{m}_{\sigma 28} = \sum_{i=27}^{20} \dot{m}_{\sigma i} \quad (4.1.7)$$

$$h_{\sigma 28} = \sum_{i=27}^{20} \frac{\dot{m}_{\sigma i} \cdot h_{\sigma i}}{\dot{m}_{\sigma 28}} \quad (4.1.8)$$

Είναι $\dot{m}_{\sigma 35} = \dot{m}_{\sigma 28}$.

Προσδιορίζεται η $\dot{m}_{\sigma 33}$, $h_{\sigma 33}$. Είναι $\dot{m}_{\sigma 34} = \dot{m}_{\sigma 33}$.

$$\dot{m}_{\sigma 33} = \sum_{i=29}^{29} \dot{m}_{\sigma i} \quad (4.1.9)$$

$$h_{\sigma 33} = \sum_{i=32}^{29} \frac{\dot{m}_{\sigma i} \cdot h_{\sigma i}}{\dot{m}_{\sigma 33}} \quad (4.1.10)$$

Κύκλος Δοκιμών

Πρόκειται για επαναληπτικό κύκλο δοκιμών, στον οποίο ο αριθμός των επαναλήψεων βασίζεται στη σύγκλιση της υπολογισθείσας τιμής της συνολικής ισχύος που παράγεται στους κύριους στροβίλους πρόωσης, με την απαιτούμενη. Ο έλεγχος της σύγκλισης γίνεται με το μέγεθος,

$$\text{dev} = \frac{\dot{W}_{T \text{req.}} - \dot{W}_T}{\dot{W}_{T \text{req.}}} \quad (4.1.11)$$

Αρχικά επιλέγεται η παροχή μάζας προς το κύριο ψυγείο, \dot{m}_c .

Όταν έχουμε παραγωγή του 100% της ισχύος πρόωσης χρησιμοποιούμε τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης $\eta_{SL2.2}$ (ονομαστικός) για να υπολογίσουμε την ενθαλπία εξόδου του Στροβίλου Χαμηλής Πίεσης. Έχουμε τα εξής:

Προσδιορίζουμε την ενθαλπία $h_{p4(2)} = h(s_{e3}, P_4)$ με υπολογισμό της ξηρότητας x του σημείου εξόδου:

$$x = \frac{s_{e3} - s_f}{s_g - s_f} = 0,86077 \quad (4.1.12)$$

όπου s_g και s_f είναι οι εντροπίες κορεσμένου ατμού και νερού αντίστοιχα στην πίεση εξόδου του στροβίλου.

Ακολούθως, και χρησιμοποιώντας την Εξ. (3.1.2.38), υπολογίζεται η ενθαλπία στην τελευταία βαθμίδα του Στροβίλου Χαμηλής Πίεσης, h_i .

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ενθαλπία εξαγωγής του στροβίλου πρέπει στην ενθαλπία h_i να προσθέσουμε και τις απώλειες εξαγωγής, οι οποίες προσδιορίζονται ως εξής:

Αρχικά σημειώνεται το εμβαδό του δακτυλίου εξαγωγής. Στη συνέχεια, από την Εξ. (3.1.2.17) υπολογίζεται η ποσότητα $\frac{\dot{m}_c}{P_c \cdot A_a}$ με βάση την οποία βρίσκουμε τις απώλειες εξαγωγής από το Σχήμα 7 του [1].

Τέλος, η ενθαλπία εξόδου h_4 προσδιορίζεται με βάση την Εξ. (3.1.2.18).

Όταν έχουμε μερικό φορτίο, για τον υπολογισμό της ενθαλπίας h_4 μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης η_{SL}^1 . Γνωρίζουμε από το εγχειρίδιο ότι,

$$\eta_{SL} = \frac{h_1 - h_{4=w}}{h_1 - h_{p4}} \quad (4.1.13)$$

Όσον αφορά στα επιμέρους του υπολογισμού της ενθαλπίας $h_{p4} = h(s_1, P_4)$, η ξηρότητα x προσδιορίζεται σύμφωνα με την Εξ. (4.1.12), όπου s_g και s_f είναι οι εντροπίες κορεσμένου ατμού και νερού, αντίστοιχα, στην πίεση εξόδου του στροβίλου.

Υπολογίζονται οι ενθαλπίες διαρροών, h_{g1HP} , h_{g1LP} , h_{g1}

Με ισολογισμό μάζας στο κύριο ψυγείο υπολογίζεται η παροχή μάζας του ρεύματος σ_1 ,

$$\dot{m}_{\sigma_1} = \dot{m}_c + \dot{m}_{d1} + \dot{m}_{d6} \quad (4.1.14)$$

Εάν δεν υπάρξει άλλη πληροφορία, θεωρείται ότι $\dot{m}_{\sigma_6} = \dot{m}_{\sigma_7} = 0$

Οπότε, $\dot{m}_{\sigma_1} = \dot{m}_{\sigma_2} = \dot{m}_{\sigma_3} = \dot{m}_{\sigma_{12}} = \dot{m}_{\sigma_{10}} = \dot{m}_{\sigma_{14}}$.

Υπολογίζονται οι h_{σ_3} , T_{σ_3} με I.E. στον αποστακτήρα (F.W. Evaporator).

¹ Στο πλήρες φορτίο δε χρησιμοποιείται ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης η_{SL} αλλά ακολουθείται διαφορετική πορεία η οποία βασίζεται σε υπολογισμούς (βλ. Κεφάλαιο 3) και έχει αποδειχτεί ότι δίνει πιο ακριβή αποτελέσματα.

Υπολογίζεται η h_{g5} από αδιαβατική ανάμιξη των ρευμάτων διαρροών λαβυρίνθων.

Υπολογίζονται οι $h_{\sigma 12}$, $T_{\sigma 12}$ με Ι.Ε. στο ψυγείο διαρροών λαβυρίνθων (Gland Condenser). Έχουμε ότι $h_{\sigma 10} = h_{\sigma 12}$ και ότι $T_{\sigma 10} = T_{\sigma 12}$

Υπολογίζεται η \dot{m}_{e3} με ισολογισμό ενέργειας στον προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης (LP Heater).

$$\text{Υπολογίζεται η } \dot{m}_{\sigma 11} = \dot{m}_{d7} + \dot{m}_{e3} - \dot{m}_{d6} \quad (4.1.15)$$

Υπολογίζεται η $\dot{m}_{\sigma 13}$ με ισολογισμό μάζας στη δεξαμενή υγρών αποστραγγίσεων (Drain Tank).

$$\text{Υπολογίζεται η: } \dot{m}_{\sigma 13} = \dot{m}_{\sigma 11} + \dot{m}_{\sigma 4} + \dot{m}_{\sigma 8} + \dot{m}_{\sigma 39} + \dot{m}_{\sigma 40} \quad (4.1.16)$$

Υπολογίζονται οι $h_{\sigma 13}$, $T_{\sigma 13}$ με ισολογισμό ενέργειας στη δεξαμενή υγρών αποστραγγίσεων.

Υπολογίζονται οι $h_{\sigma 38}$, $T_{\sigma 38}$ θεωρώντας έναν τυπικό ισεντροπικό βαθμό απόδοσης για την αντλία P_2 .

Υπολογίζονται οι $\dot{m}_{\sigma 15}$ και $h_{\sigma 15}$ με ανάμιξη των ρευμάτων σ_{14} και σ_{38} .

Υπολογίζεται η \dot{m}_{d38} ως άθροισμα των $\dot{m}_{\sigma 20}$ έως $\dot{m}_{\sigma 32}$. Είναι: $\dot{m}_{\sigma 36} = \dot{m}_{\sigma 37} = \dot{m}_{\sigma 38}$

Η $h_{\sigma 37}$ προσδιορίζεται θεωρώντας έναν τυπικό ισεντροπικό βαθμό απόδοσης για την αντλία P_4 .

Προσδιορίζεται η \dot{m}_{d38} . Είναι $\dot{m}_{\sigma 37} = \dot{m}_{d38}$.

Υπολογίζεται η \dot{m}_{d39} με ισολογισμό ενέργειας και προσέγγιση των απωλειών της ατμογεννήτριας Χαμηλής Πίεσης (LPSG). Ισχύει ότι:

$$\dot{m}_{e1} = \dot{m}_{\sigma 41} = \dot{m}_{d39}$$

Τοπικός κύκλος δοκιμών για το υποσύστημα προθερμαντήρα / απαερωτή – στροβίλου τροφοδοτικής αντλίας

Οι ισολογισμοί μάζας και ενέργειας στον προθερμαντήρα / απαερωτή γράφονται:

$$\dot{m}_{\sigma 16} = \dot{m}_{\sigma 15} + \dot{m}_{d12} + \dot{m}_{d11} - \dot{m}_{g2} + \dot{m}_{\sigma 17} + \dot{m}_{\sigma 41} \quad (4.1.17)$$

$$\dot{m}_{\sigma 15} h_{\sigma 15} + \dot{m}_{d12} h_{d12} + \dot{m}_{d11} h_{d11} - \dot{m}_{g2} h_{g2} + \dot{m}_{\sigma 17} h_{\sigma 17} + \dot{m}_{\sigma 41} h_{\sigma 41} - \dot{Q}_{ID} \quad (4.1.18)$$

όπου \dot{Q}_{ID} είναι οι απώλειες θερμότητας του απαερωτή. Σύμφωνα με τα διαγράμματα ροής, η παροχή ανακυκλοφορίας στην αντλία είναι μηδενική, οπότε μπορούν να διαγραφούν οι αντίστοιχοι όροι στις Εξ. (4.1.17) και (4.1.18).

Η επαναληπτική διαδικασία προχωρεί ως εξής:

1. Επιλέγεται η τιμή της $\dot{m}_{\sigma 16}$.
2. Προσδιορίζονται οι \dot{m}_6 , h_{d12} συναρτήσει της παροχής όγκου του νερού από τα διαγράμματα του εγχειριδίου του στροβίλου της αντλίας.
3. Λύνεται η Εξ. (4.1.18) ως προς την \dot{m}_{d11} . Για τις άδηλες απώλειες θεωρείται το ποσοστό $\pi_D = \dot{Q}_{ID} / \dot{m}_{d11} h_{d11}$ που έχει προσδιορίζεται σύμφωνα με την Παράγραφο 3.5.1.2.

4. Υπολογίζεται η $\dot{m}_{\sigma 16}$ σύμφωνα με την Εξ. (4.1.17). Εάν η απόκλιση από την επιλογή του βήματος 1 είναι ικανοποιητικά μικρή, ο τοπικός κύκλος δοκιμών έχει ολοκληρωθεί. Εάν όχι, επιλέγεται νέα τιμή της $\dot{m}_{\sigma 16}$ (π.χ. η τιμή που προέκυψε με τον τελευταίο υπολογισμό) και τα βήματα επαναλαμβάνονται.

Υπολογίζεται η ενθαλπία διαρροών λαβυρίνθων του στροβίλου της αντλίας h_{g3} .

Υπολογισμοί στους λέβητες

$$\text{Υπολογίζεται η:} \quad \dot{m}_{e2} = \dot{m}_{d8} + \dot{m}_{d11} + \dot{m}_{d42} \quad (4.1.19)$$

$$\text{Όπου} \quad \dot{m}_{d42} = \dot{m}_{d7}$$

$$\text{Υπολογίζεται η:} \quad \dot{m}_0 = \dot{m}_1 = \dot{m}_4 + \dot{m}_{e1} + \dot{m}_{e2} + \dot{m}_{e3} + \dot{m}_{g1} \quad (4.1.20)$$

$$\text{Υπολογίζεται η:} \quad \dot{m}_B = \dot{m}_0 + \dot{m}_5 + \dot{m}_6 \quad (4.1.21)$$

$$\dot{m}_{d16} = \dot{m}_{d17} + \dot{m}_{d19} + \dot{m}_{d20} + \dot{m}_{d23} \quad (4.1.22)$$

$$\text{Η συνολική ατμοπαραγωγή ισούται με,} \quad \dot{m}_{st} = \dot{m}_{d16} + \dot{m}_0 \quad (4.1.23)$$

Για το μισό της \dot{m}_{st} προσδιορίζεται από διάγραμμα του εγχειριδίου ο βαθμός απόδοσης, η_B , του λέβητα ως εξής:

Προσδιορίζεται με βάση τα διαγράμματα του εγχειριδίου ο βαθμός απόδοσης που οφείλεται στην καύση του φυσικού αερίου, η_{BOG} , και ο βαθμός απόδοσης που οφείλεται στην καύση πετρελαίου, η_{FO} .

Συνεπώς,

$$\eta_B = \eta_{BOG} \cdot \text{ποσοστό BOG} + \eta_{FO} \cdot \text{ποσοστό FO} \quad (4.1.24)$$

Έχουμε ότι,

$$\eta_B = \frac{\dot{Q}_B}{\dot{Q}_{Bin}} \quad (4.1.25)$$

Η παραγωγή θερμότητας ανά λέβητα είναι ίση με,

$$\dot{Q}_{B.1} = \frac{\dot{m}_B \cdot h_B + \dot{m}_{d16} \cdot h_{d16} - \dot{m}_{\sigma 19} \cdot h_{\sigma 19}}{2} \quad (4.1.26)$$

Η θερμότητα που καταναλώνει ο κάθε λέβητας είναι,

$$\dot{Q}_{Bin.1} = \frac{\dot{H}_{f.1} + \dot{m}_{d42} \cdot (h_{d42} - h_{d7})}{2} \quad (4.1.27)$$

όπου \dot{H}_f είναι η ενέργεια του καυσίμου.

$$\text{Εφόσον για κάθε λέβητα ισχύει ότι} \quad \dot{H}_{f.1} = \dot{m}_{FO1} H_{uFO} + \dot{m}_{BOG1} H_{uBOG}, \quad (4.1.28)$$

και με βάση τις Εξ. (4.1.27) και (4.1.28), υπολογίζεται η κατανάλωση καυσίμου (ή καυσίμων) του κάθε λέβητα: \dot{m}_{FO1} , \dot{m}_{Gas1} .

Προσδιορίζεται ο λόγος αέρα, λ_a , του λέβητα από το Διάγραμμα 2.3 του Παραρτήματος 2, που δίνει το λόγο αέρα καύσης συναρτήσει της ατμοπαραγωγής ανά λέβητα.

Υπολογίζεται η παροχή αέρα καύσης σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στην Παράγραφο 3.3.2, έχοντας ως δεδομένες τις συνθέσεις των δύο καυσίμων αλλά και τις μοριακές μάζες των διαφόρων χημικών στοιχείων από τα οποία απαρτίζονται.

Υπολογίζεται η \dot{m}_{d42} με ισολογισμό ενέργειας (βλ. Εξ. (3.1.2.2)) στον προθερμαντήρα αέρα.

Επανα-υπολογίζεται η παροχή μάζας του ρεύματος e_2 με την Εξ. (4.1.19).

Υπολογισμοί στους στροβίλους πρόωσης

Αρχικά προσδιορίζονται οι παροχές μάζας κατά μήκος της γραμμής αποτόνωσης:

$$\dot{m}_0 = \dot{m}_c + \dot{m}_{e1} + \dot{m}_{e2} + \dot{m}_{e3} + \dot{m}_{g1} \quad (4.1.29)$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_0 \quad (4.1.30)$$

Η \dot{m}_2 προσδιορίζεται από την Εξ. (3.1.2.6), η \dot{m}_3 από την Εξ. (3.1.2.7) και η \dot{m}_4 από την Εξ. (3.1.2.8).

Στη συνέχεια υπολογίζεται η ισχύς στο στροφέιο του στροβίλου υψηλής πίεσης \dot{W}_{w1} ,

$$\dot{W}_{w1} = \dot{m}_1(h_1 - h_{e1}) + \dot{m}_2(h_{e1} - h_2) \quad (4.1.31)$$

και η ισχύς στον άξονα του στροβίλου υψηλής πίεσης \dot{W}_{T1} ,

$$\dot{W}_{T1} = \dot{W}_{w1} \cdot \eta_{M1} \quad (4.1.32)$$

όπου $\eta_{M1}=0,96$.

Η ισχύς στο στροφέιο του στροβίλου χαμηλής πίεσης, \dot{W}_{w2} προσδιορίζεται με την εξίσωση,

$$\dot{W}_{w2} = \dot{m}_3(h_3 - h_{e3}) + \dot{m}_4(h_{e3} - h_w) \quad (4.1.33)$$

ενώ η ισχύς στο στροφέιο και των δύο στροβίλων, \dot{W}_w με την,

$$\dot{W}_w = \dot{W}_{w1} + \dot{W}_{w2}. \quad (4.1.34)$$

Τέλος, υπολογίζεται η συνολική ισχύς στον άξονα των στροβίλων \dot{W}_T ,

$$\dot{W}_T = \frac{\dot{W}_w \eta_{ML}}{(1 + r_{RL})} \quad (4.1.35)$$

ενώ η \dot{W}_{T2} προκύπτει με αφαίρεση της \dot{W}_{T1} από τη \dot{W}_T .

Με χρήση της Εξ. (4.1.11) υπολογίζεται η απόκλιση από τη ζητούμενη ισχύ που είναι και το κριτήριο της επαναληπτικής διαδικασίας.

Στο τέλος της επαναληπτικής διαδικασίας υπολογίζονται τα εξής:

Πρώτον υπολογίζεται η παροχή ατμού στους διασκορπιστές καυσίμου. Η τιμή της προσδιορίζεται με βάση την παροχή καυσίμου πετρελαίου. Αν αυτή είναι μηδενική, δηλαδή έχουμε αποκλειστική καύση φυσικού αερίου, τότε σύμφωνα με τα διαγράμματα ροής, $\dot{m}_{d20} = 300 \text{ kg/h}$. Σε διαφορετική περίπτωση, χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα της Παραγράφου 3.5.5.1.

Δεύτερον υπολογίζεται το ποσοστό των απωλειών επί της ατμοπαραγωγής συναρτήσει της ισχύος πρόωσης. Το ποσοστό προσδιορίζεται με βάση τον Πίνακα 3.5.5.3.1 και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παροχής των απωλειών του συστήματος.

Με βάση τα ανωτέρω επανα-υπολογίζεται η παροχή αφυπέρθερου ατμού, \dot{m}_{d16} , με τη βοήθεια της Εξ. (4.1.22) και του τροφοδοτικού νερού $\dot{m}_{\sigma39}$ με χρήση της Εξ. (4.1.14).

Συνέχιση των υπολογισμών μετά τον κύκλο δοκιμών

Εάν η απόκλιση της υπολογισθείσας από την απαιτούμενη ισχύ είναι ικανοποιητικά μικρή ο κύκλος δοκιμών έχει ολοκληρωθεί. Εάν όχι, επιλέγεται νέα τιμή της \dot{m}_c και τα βήματα επαναλαμβάνονται. Η νέα τιμή μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$\dot{m}_{c,νεα} = \dot{m}_{c,αρχική} \cdot \frac{\dot{W}_{T,απαιτ}}{\dot{W}_{T,υπολ}} \quad (4.1.36)$$

Ζητούμενα

Πρόκειται για τα στοιχεία που προκύπτουν από τη διαδικασία υπολογισμών.

Οι ιδιότητες του ρευστού σε όλα τα σημεία του διαγράμματος ροής:

P, T, h, s (όπου χρειάζεται) και \dot{m}

Η ισχύς στον άξονα του κάθε στροβίλου:

$\dot{W}_{T1}, \dot{W}_{T2}$

Οι παροχές μάζας αέρα και καυσίμων του κάθε λέβητα:

$\dot{m}_{A1}, \dot{m}_{FO1}, \dot{m}_{Gas1}$

Ο βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα:

η_B

Οι βαθμοί απόδοσης του όλου συστήματος:

$$\text{Β.α. μηχανικής ισχύος:} \quad \eta_{SP} = \frac{\dot{W}_T}{\dot{H}_f} \quad (4.1.37)$$

$$\text{Β.α. ηλεκτρικής ισχύος:} \quad \eta_{SG} = \frac{\dot{W}_G}{\dot{H}_f} \quad (4.1.38)$$

$$\text{Ηλεκτρομηχανικός β.α.:} \quad \eta_{SPG} = \eta_{SP} + \eta_{SG} \quad (4.1.39)$$

Θερμικός βαθμός απόδοσης (βλ. και παράγραφο 3.1.2):

$$\eta_\theta = \frac{\text{Αθροισμα Χρήσιμων Θερμοτήτων}}{\dot{m}_f \cdot H_o} \quad (4.1.40)$$

$$\text{Βαθμός απόδοσης του συστήματος:} \quad \eta_{\text{plant}} = \eta_\theta + \eta_{SPG} \quad (4.1.41)$$

4.2 Παράδειγμα Υπολογισμού με Βάση την Πορεία της Ενότητας 4.1

Βασισμένοι στην πορεία που περιγράφηκε στην Ενότητα 4.1, κάνουμε υπολογισμούς για την κατάσταση λειτουργίας στο πλήρες φορτίο με καύση Φυσικού Αερίου, όπως αυτή αποτυπώνεται στο σχετικό διάγραμμα ροής (βλ. Παράρτημα 1, 1.B.1).

4.2.1 Δεδομένα

Έχουμε καύση αποκλειστικά Φυσικού Αερίου συνεπώς η θερμογόνος ικανότητα θα ισούται με $H_u = 55521,68 \text{ kJ/kg}$.

Ζητούμε ισχύ $\dot{W}_T = 27066,36 \text{ kW}$ και παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τη στροβιλογεννήτρια $\dot{W}_G = 1840 \text{ kW}$.

Η απαιτούμενη παραγωγή γλυκού νερού από τον αποστακτήρα για τις ανάγκες του πληρώματος είναι ίση με $\dot{m}_{dist} = 2500 \text{ kg/h}$.

4.2.2 Σταθερά στοιχεία για όλες τις καταστάσεις

Με βάση τα διαγράμματα ροής έχουμε προσδιορίσει τα στοιχεία που μένουν σταθερά σε όλες τις καταστάσεις. Τα σημεία στα οποία μένει σταθερή η θερμοκρασία και η πίεση έχουν αναφερθεί στην Ενότητα 4.1 και για το καθένα προσδιορίζεται η ενθαλπία και η εντροπία εκτός από τα σημεία 4 και c, τα οποία ανήκουν στην περιοχή υγρού ατμού. Για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του σημείου 1 χρησιμοποιούνται οι Εξ. (4.1.2) και (4.1.3).

Πίνακας 4.2.2.1 Σημεία με σταθερή πίεση και θερμοκρασία σε όλες τις καταστάσεις σύμφωνα με τα δεδομένα διαγράμματα ροής.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]
B	61,29	515,0	3457,139	6,9168
0	59,82	510,0	3446,902	6,9145
1	53,84	510,0	3446,902	6,9145
4	0,05325	33,1	-	-
5	59,82	510,0	3446,902	6,9145
6	59,82	510,0	3446,902	6,9145
c	0,05325	33,1	-	-
σ_1	0,05325	33,1	138,704	0,4793
σ_2	3,43	32,5	136,502	0,4710
σ_{16}	3,43	138,15	581,263	1,7201
σ_{20}	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ_{21}	8,83	120,0	504,265	1,5272
σ_{22}	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ_{23}	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ_{24}	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ_{25}	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ_{26}	8,83	170,0	719,256	2,0418

σ_{27}	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ_{29}	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ_{30}	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ_{31}	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ_{32}	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ_{36}	1,00	80,0	334,991	1,0754
σ_{39}	1,00	30,0	125,823	0,4368
σ_{40}	11,28	100,0	419,870	1,3062
d_1	0,05325	-	-	-
d_6	0,05325	-	-	-
d_{38}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{24}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{25}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{26}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{27}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{28}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{29}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{30}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{31}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{32}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{33}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{34}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{35}	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d_{36}	8,83	175,0	2773,508	6,6307

Τα σημεία στα οποία μένει σταθερή η πίεση ή η θερμοκρασία έχουν επίσης αναφερθεί στην Ενότητα 4.1 και αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.2.2.2 Σημεία με σταθερή πίεση ή θερμοκρασία σε όλες τις καταστάσεις σύμφωνα με τα δεδομένα διαγράμματα ροής.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]
σ_3	3,43	-
σ_6	3,43	-
σ_7	0,05325	-
σ_{10}	3,43	-
σ_{12}	3,43	-
σ_{13}	1,00	-
σ_{14}	3,43	-
σ_{15}	3,43	-
σ_{17}	3,43	-
σ_{19}	75,51	-
σ_{37}	8,83	-
σ_{38}	3,43	-
i (αέρας)	-	38,0
O (αέρας)	-	120,0

4.2.3 Πορεία υπολογισμών καταστάσεις λειτουργία στο πλήρες φορτίο

Εδώ κάνουμε καταγραφή των μεγεθών τα οποία μένουν σταθερά στο μέγιστο της ισχύος. Όσον αφορά τις σταθερές ιδιότητες των σημείων, για τα σημεία στα οποία γνωρίζουμε τη θερμοκρασία και την πίεση, βρίσκουμε την ενθαλπία και την εντροπία όπως κάναμε στην Παράγραφο 4.2.2.

Θα θεωρηθεί ότι ο ατμός από τον στρόβιλο της τροφοδοτικής αντλίας (σημείο 9) διοχετεύεται απ' ευθείας στον προθερμαντήρα. Επομένως οι ιδιότητες στα σημεία e_2 , d_8 , d_{10} , d_{11} , d_{42} είναι οι ίδιες.

Πίνακας 4.2.3.1 Σημεία με σταθερή πίεση και θερμοκρασία στο 100% της ισχύος σύμφωνα με τα δεδομένα διαγράμματα ροής.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]
2	6,51	234,4	2922,692	7,0787
3	6,51	234,4	2922,692	7,0787
e_1	19,12	359,3	3160,090	7,0140
e_2	6,51	234,4	2922,692	7,0787
e_3	1,50	120,9	2713,211	7,2744
σ_4	1,00	90,0	376,992	1,1926
σ_8	1,00	90,0	376,992	1,1926
σ_{11}	1,00	53,55	224,251	0,7494
σ_{14}	3,43	103,2	432,779	1,3428
σ_{19}	75,51	140,4	595,590	1,7360
σ_{41}	19,12	140,0	590,206	1,7377
d_8	6,51	234,4	2922,692	7,0787
d_{10}	6,51	234,4	2922,692	7,0787
d_{11}	6,51	234,4	2922,692	7,0787
d_{16}	61,29	287,0	2828,656	5,9620
d_{39}	19,12	359,3	3160,09	7,0140
d_{42}	19,12	359,3	3160,090	7,0140

Θεωρούμε τις τιμές των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης στα επιμέρους τμήματα των στρόβιλων σταθερές και ίσες με αυτές που έχουν υπολογιστεί στο Κεφάλαιο 3 (βλ. Πίνακας 3.5.2.1.1).

4.2.4 Προκαταρκτικοί υπολογισμοί

Αρχικά θεωρούμε τιμές για τις παροχές μάζας των διαρροών λαβυρίνθων. Στα διαγράμματα ροής παρατηρούμε ότι αυτές οι τιμές μένουν σταθερές για όλες τις καταστάσεις και συγκεντρώνονται στον Πίνακα 4.2.4.1.

Πίνακας 4.2.4.1 Παροχή μάζας σε kg/h των ροών διαρροών λαβυρίνθων.

Σημείο	Παροχή μάζας [kg/h]
g _{1 HP}	142,00
g _{1 LP}	143,00
g ₁	285,00
g ₂	50,00
g ₃	16,00
g ₄	40,00

Στρόβιλος γεννήτριας

Οι υπολογισμοί για το στρόβιλο της γεννήτριας έχουν ως δεδομένη την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, εν προκειμένω $\dot{W}_{TG} = 1840 \text{ kW}$, και ως στόχο τον υπολογισμό της κατανάλωσης ατμού από το στρόβιλο, \dot{m}_5 , αλλά και της ενθαλπίας εξόδου, h_{d1} . Γνωστή είναι η ενθαλπία εισόδου, h_5 αλλά και η παροχή διαρροών λαβυρίνθων, \dot{m}_{g4} .

Χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα που υπολογίστηκαν στην Παράγραφο 3.5.5. Επομένως έχουμε τα εξής:

Με βάση τον Πίνακα 3.5.3.1 και για ισχύ $\dot{W}_{TG} = 1840 \text{ kW}$ ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης θα ισούται με $\eta_G = 0,9482$ ενώ με βάση το Διάγραμμα 3.5.3.3 η διαφορά ενθαλπίας Δh θα είναι ίση με $\Delta h = 989,449 \text{ kJ/kg}$. Τέλος, από το Διάγραμμα 3.5.3.4 εξάγουμε ότι ο μηχανικός βαθμός απόδοσης στη δεδομένη ηλεκτρική ισχύ θα είναι ίσος με $\eta_M = 0,9564$. Από Εξ. (3.5.3.5) προκύπτει ότι $\dot{m}_5 = 7381,967 \text{ kg/h}$.

Για τις διαρροές λαβυρίνθων έχουμε θεωρήσει δεδομένο ότι, $\dot{m}_{g4} = 40 \text{ kg/h}$. Επομένως,

$$\dot{m}_{d1} = \dot{m}_5 - \dot{m}_{g4} = 7341,967 \text{ kg/h} \quad (4.2.4.1)$$

Ενώ,

$$h_{d1} = h_5 - \Delta h = 2457,453 \text{ kJ/kg} \quad (4.2.4.2)$$

Από Εξ. (4.1.5) η ειδική κατανάλωση ατμού θα ισούται με, $SR = 4,0119 \text{ kg/kJ}$.

Συνεπώς από Εξ. (4.1.6) προκύπτει, $h_{g4} = 3177,705 \text{ kJ/kg}$.

Αποστακτήρας

Από στοιχεία του εγχειριδίου προσδιορίζεται η παροχή του ατμού $\dot{m}_{\sigma 40} = \dot{m}_{d19} = 75 \text{ kg/h}$.

Στην Παράγραφο 3.5.4 έχει προσδιοριστεί η ειδική κατανάλωση ενέργειας. Έχουμε: $q_w = 1549,1302 \text{ kJ/kg}$.

Για τον υπολογισμό της παροχής μάζας του ρεύματος d8 βασιζόμαστε στις Εξ. (3.1.2.71), (3.1.2.72), (3.1.2.73). Για την παραγωγή $\dot{m}_{dist} = 2500 \text{ kg/h}$ νερού ισχύουν τα εξής:

$$\dot{Q}_{st} + \dot{Q}_{eject} = 1075,785 \text{ kW} \quad (4.2.4.3)$$

$$\text{Όμως} \quad \dot{Q}_{eject} = \dot{m}_{d19} \cdot (h_{\sigma 19} - h_{\sigma 40}) \quad (4.2.4.4)$$

όπου, $h_{\sigma 19} = h_{d16} = 2828,6 \text{ kJ/kg}$.

Η ενθαλπία του νερού ισούται με την ενθαλπία του κορεσμένου νερού στους 100°C και $h_{\sigma 40} = 419,1 \text{ kJ/kg}$.

Συνεπώς, $\dot{Q}_{\text{eject}} = 50,198 \text{ kW}$.

Άρα από Εξ. (4.2.4.3), $\dot{Q}_{\text{st}} = 1075,785 \text{ kW} - 50,198 \text{ kW} = 1025,587 \text{ kW}$.

$$\text{Γνωρίζουμε ότι, } \dot{Q}_{\text{st}} = \dot{m}_{\text{d8}} \cdot (h_{\text{d8}} - h_{\text{σ8}}) \quad (4.2.4.5)$$

Όπου $h_{\text{st}} = h_{\text{d8}} = h_{\text{e2}} = 2922,7 \text{ kJ/kg}$ και $h_{\text{σ8}} = 376,992 \text{ kJ/kg}$.

Προκύπτει ότι $\dot{m}_{\text{d8}} = \dot{m}_{\text{σ8}} = 1450,332 \text{ kg/h}$.

Επιλογή παροχών εξωτερικών καταναλωτών

Υπολογίζονται (από τις ανάγκες των αντίστοιχων καταναλωτών) ή επιλέγονται οι παροχές,

$\dot{m}_{\text{σ20}}, \dot{m}_{\text{σ21}}, \dot{m}_{\text{σ23}}, \dot{m}_{\text{σ24}}, \dot{m}_{\text{σ25}}, \dot{m}_{\text{σ26}}, \dot{m}_{\text{σ27}}$.

Εν προκειμένω, δεχόμαστε τις τιμές που αναφέρονται στα διαγράμματα ροής.

$\dot{m}_{\text{σ20}} = 244 \text{ kg/h}$, $\dot{m}_{\text{σ21}} = 890 \text{ kg/h}$, $\dot{m}_{\text{σ23}} = 10 \text{ kg/h}$, $\dot{m}_{\text{σ24}} = 95 \text{ kg/h}$

$\dot{m}_{\text{σ25}} = 0 \text{ kg/h}$, $\dot{m}_{\text{σ26}} = 655 \text{ kg/h}$, $\dot{m}_{\text{σ27}} = 0 \text{ kg/h}$

4.2.5 Αρχικές εκτιμήσεις και επιλογές

Πρόκειται για εκτιμήσεις και επιλογές οι οποίες στηρίζονται σε στοιχεία από τα τεχνικά φυλλάδια ή σε προηγούμενους υπολογισμούς.

Αρχική εκτίμηση των χαρακτηριστικών του d_6

Θεωρούμε ότι η ενθαλπία του ρεύματος d_6 ισούται με την ενθαλπία κορεσμένου ατμού θερμοκρασίας T_{e3} . Επιπλέον η παροχή μάζας θεωρείται σταθερή και ίση με 50 kg/h . Συνεπώς, $\dot{m}_{\text{d6}} = 50 \text{ kg/h}$ και $h_{\text{d6}} = 2707,239$.

Αρχική εκτίμηση των χαρακτηριστικών του d_7

Επιλέγεται η παροχή μάζας ατμού από τον προθερμαντήρα αέρα με ατμό $\dot{m}_{\text{d7}} = \dot{m}_{\text{d42}}$. Για το ρεύμα d_7 επιλέγονται και τα λοιπά χαρακτηριστικά με βάση το εγχειρίδιο. Θα έχουμε,

$\dot{m}_{\text{d7}} = 4450 \text{ kg/h}$ ενώ $P_{\text{d7}} = 3,56325 \text{ bar}$ και $T_{\text{d7}} = 138,9^\circ\text{C}$. Κατά συνέπεια,

$h_{\text{d7}} = 584,5 \text{ kJ/kg}$.

Αρχική εκτίμηση χαρακτηριστικών σ_{39} (make – up water)

Το ρεύμα σ_{39} έρχεται να αναπληρώσει τις καταναλώσεις στους διασκορπιστές καυσίμου, στους εκκαπνιστές και τις διάφορες απώλειες. Για κάθε μία από αυτές τις καταναλώσεις εκτιμούμε την παροχή μάζας.

α. Διασκορπιστές καυσίμου

Όταν είναι γνωστή η κατανάλωση πετρελαίου, οι υπολογισμοί για την κατανάλωση ατμού γίνονται σύμφωνα με την Παράγραφο 3.5.5.1. Στην παρούσα φάση, όμως, που δεν είναι γνωστή η κατανάλωση, κάνουμε μια αρχική εκτίμηση ως εξής:

Όταν έχουμε καύση διπλού καυσίμου ή πετρελαίου για λειτουργία στο 100% της ισχύος ισχύουν οι τιμές του Πίνακα 4.2.5.1.

Πίνακας 4.2.5.1 Κατανάλωση ατμού από διασκορπιστές καυσίμου σε kg/h συναρτήσει του ποσοστού του καιόμενου πετρελαίου.

Ποσοστό FO	Κατανάλωση σε burn. atom.
1	576
0,50263	816
0	300

Οπότε ανάλογα με το ποσοστό του πετρελαίου κάνουμε μια αρχική θεώρηση για την κατανάλωση. Εν προκειμένω, $\dot{m}_{d20} = 300 \text{ kg/h}$.

Προκειμένου ο ανωτέρω πίνακας να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το πρόγραμμα, προσδιορίζουμε μια εξίσωση που να τον περιγράφει:

$$\dot{m}_{d23} = -482,541 \cdot \pi + 1058,541 \quad (4.2.5.1)$$

όπου π το ποσοστό με το οποίο το πετρέλαιο συμμετέχει στην ατμοπαραγωγή και στη συνολική ενέργεια του καυσίμου.

β. Εκκαπνιστές

Σύμφωνα με την παράγραφο 3.5.7.2, έχουμε ότι $\dot{m}_{d17} = 63 \text{ kg/h}$.

γ. Απώλειες

Στην περίπτωση μας (100% MCR με καύση μόνο Φυσικού Αερίου) και καθώς σε πρώτη φάση δεν ξέρουμε την ατμοπαραγωγή, παίρνουμε σαν πρώτη προσέγγιση των απωλειών το μέσο όρο των παροχών απωλειών των τριών καταστάσεων 100% FO, 100% GAS, 100% DUAL και άρα η παροχή μάζας απωλειών ατμού θα είναι ίση με, $\dot{m}_{d23} = 963,889 \text{ kg/h}$.

Σε επόμενη φάση που θα γνωρίζουμε την ατμοπαραγωγή, θα υπολογίζουμε τις απώλειες σύμφωνα με την Παράγραφο 3.5.7.3.

Τελικά η παροχή νερού αναπλήρωσης θα είναι ίση με,

$$\dot{m}_{\sigma 39} = \dot{m}_{st.atom.} + \dot{m}_{st.soot} + \dot{m}_{losses} =$$

$$\dot{m}_{d20} + \dot{m}_{d17} + \dot{m}_{d23} = 1326,889 \text{ kg/h} \quad (4.2.5.2)$$

Αρχική εκτίμηση για ενθαλπίες διαρρών λαβυρίθων

g_2

Για την ενθαλπία διαρρών του απαερωτή, υποθέτουμε ότι είναι ίση με αυτή του ρεύματος d_{11} , και τελικά του e_2 . Επιπλέον η παροχή μάζας θεωρείται σταθερή και ίση με 50 kg/h . Συνεπώς,

$$\dot{m}_{g2} = 50 \text{ kg/h} \text{ και } h_{g2} = 2922,7 \text{ kJ/kg}$$

g_3

Από υπολογισμούς στα διαγράμματα ροής έχει προσδιοριστεί η ενθαλπία διαρρών λαβυρίθων του στροβίλου της τροφοδοτικής αντλίας και δίνεται στον Πίνακα 4.2.5.2:

Πίνακας 4.2.5.2 Ενθαλπία διαρροών λαβυρίνθων του στροβίλου της τροφοδοτικής αντλίας σε kJ/kg.

h _{g3} για διάφορες συνθέσεις (καταστάσεις ισχύος 100% MCR)		
100% FO	3306,604	kJ/kg
100% GAS	3306,713	kJ/kg
100% DUAL	3306,713	kJ/kg

Επιλέγουμε $h_{g3} = 3306,7 \text{ kJ/kg}$. Επιπλέον η παροχή μάζας θεωρείται σταθερή και ίση με 16 kg/h . Συνεπώς,
 $\dot{m}_{g3} = 16 \text{ kg/h}$ και $h_{g3} = 3306,7 \text{ kJ/kg}$.

Αρχική εκτίμηση άδηλων/θερμικών απωλειών

Για τις άδηλες απώλειες χρησιμοποιούμε τα στοιχεία της Παραγράφου 3.5.1. Έχουμε επομένως τα ακόλουθα.

Προθερμαντήρας Χαμηλής Πίεσης

Το ποσοστό των άδηλων απωλειών του θερμαντήρα χαμηλής πίεσης επί της ενέργειας που του παρέχεται από το ρεύμα e3 ισούται με $\pi_{LP} = 0,027125$.

Ατμογεννήτρια Χαμηλής Πίεσης

Το ποσοστό των θερμικών απωλειών επί της ενέργειας που ο εναλλάκτης παρέχει στο ρεύμα $\sigma_{37} - d_{38}$ είναι ίσο με $\pi_{LP5G} = 0,0199799$.

Αρχική εκτίμηση παροχής μάζας του ρεύματος σ_{19}

Εκτιμούμε ότι $\dot{m}_{\sigma_{19}} = 111250 \text{ kg/h}$. Ως γνωστόν, $\dot{m}_{\sigma_{16}} = \dot{m}_{\sigma_{19}}$.

Επιλογή παροχών καταναλωτών που εξυπηρετούν την εσωτερική λειτουργία του συστήματος

Υπολογίζονται (από τις ανάγκες των αντίστοιχων καταναλωτών) ή επιλέγονται οι παροχές

$\dot{m}_{\sigma_{22}}, \dot{m}_{\sigma_{26}}, \dot{m}_{\sigma_{29}}, \dot{m}_{\sigma_{30}}, \dot{m}_{\sigma_{31}}, \dot{m}_{\sigma_{32}}$.

Για την περίπτωση μας, όπου δεν έχουμε άλλα στοιχεία, επιλέγουμε τις παροχές με βάση τα διαγράμματα ροής και έτσι έχουμε:

$\dot{m}_{\sigma_{22}} = 20 \text{ kg/h}$ το ελάχιστο αφού έχουμε καύση μόνο φυσικού αερίου

$\dot{m}_{\sigma_{29}} = 1630 \text{ kg/h}$ κατ' εκτίμηση-λειτουργεί μόνο όταν έχουμε καύση αποκλειστικά φυσικού αερίου

$\dot{m}_{\sigma_{30}} = 0 \text{ kg/h}$ γενικά

$\dot{m}_{\sigma_{31}} = 820 \text{ kg/h}$ κατ' εκτίμηση

$\dot{m}_{\sigma_{32}} = 0 \text{ kg/h}$ γενικά

Υπολογίζεται η παροχή μάζας \dot{m}_{d38} ως άθροισμα των παροχών $\dot{m}_{\sigma 20}$ έως $\dot{m}_{\sigma 32}$.
Είναι $\dot{m}_{d38} = 4364 \text{ kg/h}$.

Προσδιορισμός των ιδιοτήτων των σημείων σ28 και σ33

Προσδιορίζεται η παροχή μάζας $\dot{m}_{\sigma 28}$ αθροίζοντας τις παροχές $\dot{m}_{\sigma 20}$ έως $\dot{m}_{\sigma 27}$ (Εξ. (4.1.7)). Προκύπτει ότι $\dot{m}_{\sigma 28} = 2212 \text{ kg/h}$.

Είναι $\dot{m}_{\sigma 35} = \dot{m}_{\sigma 28}$.

Επίσης, από Εξ. (4.1.8) προκύπτει ότι $h_{\sigma 28} = 632,75 \text{ kJ/kg}$.

Προσδιορίζεται η παροχή μάζας $\dot{m}_{\sigma 33}$ αθροίζοντας τις παροχές $\dot{m}_{\sigma 20}$ έως $\dot{m}_{\sigma 27}$ (Εξ. (4.1.9)). Προκύπτει ότι, $\dot{m}_{\sigma 33} = 398,0 \text{ kg/h}$.

Είναι $\dot{m}_{\sigma 34} = \dot{m}_{\sigma 33}$.

Επίσης, από Εξ. (4.1.10) προκύπτει ότι $h_{\sigma 33} = 719,26 \text{ kJ/kg}$

4.2.6 Πρώτος κύκλος δοκιμών

Σε πρώτη φάση επιλέγουμε την παροχή μάζας της ροής προς το κύριο ψυγείο, \dot{m}_c .
Θέτουμε $\dot{m}_c = 76500 \text{ kg/h}$.

Ενθαλπία εξόδου στροβίλου χαμηλής πίεσης

Υπολογίζουμε την ενθαλπία εξόδου του στροβίλου χαμηλής πίεσης, δηλαδή του σημείου 4(w) ως εξής:

Από την Παράγραφο 3.5.2.1 γνωρίζουμε ότι $\eta_{SL2.2} = 0,874884$. Επίσης σύμφωνα με τις Εξ. (3.1.2.38) και (3.1.2.39) ισχύει ότι,

$$\eta_{SL2.2} = \frac{h_{e3} - h_i}{h_{e3} - h_{p4(2)}} \quad (4.2.6.1)$$

$$\text{όπου } h_p = h(s_{e3}, P_4). \quad (4.2.6.2)$$

Το σημείο εισόδου του ατμού στο κύριο ψυγείο βρίσκεται μέσα στην περιοχή υγρού ατμού (καμπάνα), άρα υπολογίζουμε την ενθαλπία του ως εξής:

Για πίεση P_4 έχουμε για κορεσμένο νερό $s_f = 0,49 \text{ kJ/kgK}$ ενώ για κορεσμένο ατμό $s_g = 8,37 \text{ kJ/kgK}$.

Άρα,

$$x = \frac{s_{e3} - s_f}{s_g - s_f} = 0,86077 \quad (4.2.6.3)$$

όπου $s_{e3} = 7,275 \text{ kJ/kgK}$

$$\text{Επομένως } h_{p4(2)} = h_f + x \cdot (h_g - h_f) \quad (4.2.6.4)$$

όπου $h_g = 2562,8 \text{ kJ/kg}$ και $h_f = 142,5 \text{ kJ/kg}$.

Προκύπτει ότι $h_{p4(2)} = 2226,349 \text{ kJ/kg}$.

Από Εξ. (4.2.6.1) προκύπτει η ενθαλπία στην τελευταία βαθμίδα του στροβίλου,

$$h_i = h_3 - \eta_{SL2.2} \cdot (h_{e3} - h_{p4(2)}) = 2286,796 \quad (4.2.6.5)$$

Θεωρήσαμε ότι $\dot{m}_c = 21,25 \text{ kg/s}$.

Από τα κατασκευαστικά σχέδια του στροβίλου χαμηλής πίεσης έχουμε προσδιορίσει ότι $A_\alpha = 2,159 \text{ m}^2$. Από το Σχήμα 7 του [1] προκύπτει ότι $\Delta h_{eL} = 27,0689 \text{ kJ/kg}$. Κατά συνέπεια με

βάση τις Εξ. (3.1.2.17) και (3.1.2.18) προκύπτει η ενθαλπία στην έξοδο του στροβίλου χαμηλής πίεσης,

$$h_4 = 2313,8646 \text{ kJ/kg.}$$

Από Εξ. (3.1.2.26) και Εξ. (3.1.2.27) προκύπτει η ενθαλπία στην είσοδο του ψυγείου $h_c = 2321,507 \text{ kH/kg.}$

Ενθαλπίες διαρροών λαβυρίνθων

Σύμφωνα με τις εξισώσεις του 3^{ου} Κεφαλαίου, Εξ. (3.1.2.28), (3.1.2.29) και (3.1.2.10) για το στρόβιλο υψηλής πίεσης θα έχουμε ότι,

$$h_{g1.HP} = 3237,218 \text{ kJ/kg.}$$

Ενώ για το στρόβιλο χαμηλής πίεσης από Εξ. (3.1.2.31),

$$h_{g1.LP} = 2689,989 \text{ kJ/kg.}$$

Τελικά,

$$h_{g1} = \frac{\dot{m}_{g1.HP} \cdot h_{g1.HP} + \dot{m}_{g1.LP} \cdot h_{g1.LP}}{\dot{m}_{g1.HP} + \dot{m}_{g1.LP}} = 2962,643 \text{ kJ/kg} \quad (4.2.6.6)$$

Ισολογισμός μάζας στο κύριο ψυγείο

Εφόσον $\dot{m}_{\sigma 6} = \dot{m}_{\sigma 7} = 0$ από Εξ. (4.1.14) προκύπτει ότι, $\dot{m}_{\sigma 1} = 83891,967 \text{ kg/h.}$

Οπότε, $\dot{m}_{\sigma 1} = \dot{m}_{\sigma 2} = \dot{m}_{\sigma 3} = \dot{m}_{\sigma 12} = \dot{m}_{\sigma 10} = \dot{m}_{\sigma 14}$

Αποστακτήρας

Εφαρμόζουμε ισολογισμό ενέργειας στον αποστακτήρα, προκειμένου να βρούμε την ενθαλπία και τη θερμοκρασία του σημείου σ_3 :

Έχουμε ότι

$$h_{\sigma 3} = \frac{\dot{m}_{\sigma 2} \cdot h_{\sigma 2} + \dot{m}_{d8} \cdot (h_{d8} - h_{\sigma 8})}{\dot{m}_{\sigma 2}} = 180,513 \text{ kJ/kg} \quad (4.2.6.7)$$

Στο σημείο σ_3 έχουμε πίεση $P_{\sigma 3} = 3,43 \text{ bar}$ συνεπώς $T_{\sigma 3} = 43,05 \text{ }^\circ\text{C.}$

Ψυγείο διαρροών λαβυρίνθων

Υπολογίζεται η ενθαλπία και η παροχή μάζας του ρεύματος g_5 από αδιαβατική ανάμιξη των ρευμάτων διαρροών λαβυρίνθων. Έτσι θα έχουμε,

$$\dot{m}_{g5} = 391 \text{ kg/h} \quad \text{και} \quad h_{g5} = 2993,615 \text{ kJ/kg}$$

Εφαρμόζουμε ισολογισμό ενέργειας στο ψυγείο διαρροών λαβυρίνθων, προκειμένου να βρούμε την ενθαλπία και τη θερμοκρασία του σημείου σ_{12} .

$$h_{\sigma 12} = \frac{\dot{m}_{\sigma 3} \cdot h_{\sigma 3} + \dot{m}_{g5} \cdot (h_{d43} - h_{\sigma 4})}{\dot{m}_{\sigma 12}} = 192,708 \text{ kJ/kg} \quad (4.2.6.8)$$

Στο σημείο σ_{12} έχουμε πίεση $P_{\sigma 12} = 3,43 \text{ bar}$ συνεπώς $T_{\sigma 12} = 45,964 \text{ }^\circ\text{C.}$

Εφόσον τα ρεύματα σ_{10} και σ_{12} συμπίπτουν, θα ισχύει ότι,

$$\begin{aligned} h_{\sigma_{10}} &= h_{\sigma_{12}} \\ T_{\sigma_{10}} &= T_{\sigma_{12}} \end{aligned}$$

Προθερμαντήρας χαμηλής πίεσης

Υπολογίζεται η παροχή μάζας της απομάστευσης του στροβίλου χαμηλής πίεσης, \dot{m}_{e3} με ισολογισμό ενέργειας στον προθερμαντήρα Χ.Π. (LP Heater). Έχουμε:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{e3} &= \frac{\dot{m}_{\sigma_{10}}(h_{\sigma_{14}} - h_{\sigma_{10}}) - \dot{m}_{d7}h_{d7} - (\dot{m}_{d7} - \dot{m}_{d6})h_{\sigma_{11}} + \dot{m}_{d6}h_{d6}}{(1 - \pi)h_{e3} - h_{\sigma_{11}}} \\ &= 7725,99 \end{aligned} \quad (4.2.6.9)$$

Με ισολογισμό μάζας, δηλαδή με την Εξ. (4.1.15) υπολογίζεται η παροχή μάζας του ρεύματος σ_{11} . Έχουμε $\dot{m}_{\sigma_{11}} = 12125,99 \text{ kg/h}$.

Δεξαμενή υγρών αποστραγγίσεων

Με ισολογισμό μάζας στη δεξαμενή υγρών αποστραγγίσεων (Εξ. (4.1.16)), υπολογίζεται η παροχή μάζας του ρεύματος σ_{13} . Προκύπτει ότι, $\dot{m}_{\sigma_{13}} = 15369,242$.

Επίσης υπολογίζονται η ενθαλπία του σ_{13} με ισολογισμό ενέργειας. Δηλαδή,

$$\begin{aligned} h_{\sigma_{13}} &= \frac{\dot{m}_{\sigma_{11}}h_{\sigma_{11}} + \dot{m}_{\sigma_4}h_{\sigma_4} + \dot{m}_{\sigma_8}h_{\sigma_8} + \dot{m}_{\sigma_{39}}h_{\sigma_{39}} + \dot{m}_{\sigma_{40}}h_{\sigma_{40}}}{\dot{m}_{\sigma_{13}}} \\ &= 235,01 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \quad (4.2.6.10)$$

Υπολογίζουμε την ενθαλπία του σημείου σ_{38} θεωρώντας ισεντροπικό βαθμό απόδοσης για την αντλία P_2 , $\eta_{P2} = 0,7$.

$$\eta_{P2} = \frac{h'_{\sigma_{38}} - h_{\sigma_{13}}}{h_{\sigma_{38}} - h_{\sigma_{13}}} \quad (4.2.6.11)$$

$$\text{όπου } h'_{\sigma_{38}} = h(s_{\sigma_{13}}, P_{\sigma_{38}}) = 235,27 \text{ kJ/kg.} \quad (4.2.6.12)$$

Συνεπώς $h_{\sigma_{38}} = 235,377 \text{ kJ/kg}$.

Αδιαβατική ανάμιξη των ρευμάτων σ_{14} και σ_{38}

Για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων του ρεύματος σ_{15} , δηλαδή του ρεύματος που εισάγεται στον απαερωτή προκειμένου να γίνει κατάλληλο για την τροφοδοσία του λέβητα εφαρμόζουμε τις εξισώσεις της αδιαβατικής ανάμιξης για τα ρεύματα σ_{14} και σ_{38} .

Έχουμε ότι $\dot{m}_{\sigma_{15}} = \dot{m}_{\sigma_{14}} + \dot{m}_{\sigma_{38}} = 99261,209 \text{ kg/h}$.

Επιπλέον λόγω της αδιαβατικής ανάμιξης,

$$h_{\sigma_{15}} = \frac{\dot{m}_{\sigma_{14}}h_{\sigma_{14}} + \dot{m}_{\sigma_{38}}h_{\sigma_{38}}}{\dot{m}_{\sigma_{15}}} = 402,214 \text{ kJ/kg} \quad (4.2.6.13)$$

Λόγω της δεδομένης πίεσης $P_{\sigma_{15}} = 3,43 \text{ bar}$ θα έχουμε $T_{\sigma_{15}} = 96,3^\circ\text{C}$.

Ατμογεννήτρια χαμηλής πίεσης

Υπολογίζουμε την ενθαλπία του ρεύματος σ_{37} θεωρώντας ισηντροπικό βαθμό απόδοσης της αντλίας P_4 , $\eta_{P4}=0,7$. Έχουμε ότι,

$$\eta_{P4} = \frac{h'_{\sigma_{37}} - h_{\sigma_{36}}}{h_{\sigma_{37}} - h_{\sigma_{36}}} \quad (4.2.6.14)$$

$$\text{όπου } h'_{\sigma_{37}} = h(s_{\sigma_{36}}, P_{\sigma_{37}}) = 335,795 \text{ kJ/kg.} \quad (4.2.6.15)$$

Συνεπώς από Εξ. (4.2.6.16), $h_{\sigma_{37}} = 336,139 \text{ kJ/kg}$.

Προσδιορισμός της παροχής μάζας \dot{m}_{d39}

Προκειμένου να προσδιορίσουμε την παροχή μάζας του ρεύματος d_{39} , εφαρμόζουμε ισολογισμό ενέργειας στην ατμογεννήτρια χαμηλής πίεσης.

Όσον αφορά στις απώλειες της ατμογεννήτριας, στην Παράγραφο 3.5.1.3 προσδιορίσαμε ότι,

$$\pi_{LPSG} = \Delta\dot{Q}/\dot{Q}_w = 0,019979.$$

$$\text{Συνεπώς, έχουμε ότι } \dot{Q}_w = \dot{m}_{\sigma_{37}} \cdot (h_{d38} - h_{\sigma_{37}}) = 2954,632 \text{ kW} \quad (4.2.6.16)$$

Επομένως,

$$\Delta\dot{Q} = \pi_{LPSG} \cdot \dot{Q}_w = 59,033 \text{ kW} \quad (4.2.6.17)$$

Προκύπτει,

$$\dot{Q}_{st} = \dot{Q}_w + \Delta\dot{Q} = 3014,136 \text{ kW} \quad (4.2.6.18)$$

$$\text{Από τη σχέση } \dot{Q}_{st} = \dot{m}_{d39} \cdot (h_{d39} - h_{\sigma_{41}}), \quad (4.2.6.19)$$

υπολογίζουμε ότι $\dot{m}_{d39} = 4221,668 \text{ kg/h}$.

Ως γνωστόν, $\dot{m}_{\sigma_{37}} = \dot{m}_{d39} = \dot{m}_{e1}$.

4.2.6.1 Τοπικός κύκλος δοκιμών για το υποσύστημα προθερμαντήρα / απαερωτή – στροβίλου τροφοδοτικής αντλίας

Παρακάτω απαριθμούνται τα βήματα του τοπικού κύκλου:

1. Επιλέγεται η τιμή της $\dot{m}_{\sigma 16}$. Στην Παράγραφο 4.2.5 έχουμε εκτιμήσει ότι $\dot{m}_{\sigma 16} = 111250 \text{ kg/h}$. Οι ιδιότητες του σημείου σ_{16} θα έχουν ως εξής:
Ο ειδικός όγκος νερού για πίεση $P_{\text{καταθλ}} = 75,5 \text{ bar}$ και $T_{\text{αναρ}} = 138,15 \text{ }^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία κορεσμού για $P = 3,43 \text{ bar}$) είναι ίσος με $v_f = 0,001073612 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Άρα η παροχή όγκου στην τροφοδοτική αντλία P_3 θα ισούται με:

$$\dot{V}_P = v_f \cdot \dot{m}_{\sigma 16} = 119,4208 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.2.6.1.1)$$

2. Από καμπύλες του εγχειριδίου του στροβίλου της τροφοδοτικής αντλίας (βλ. παράγραφο 3.5.6) προκύπτει ότι η παροχή ατμού προς το στρόβιλο ισούται με,

$$\dot{m}_6 = 4656,361 \text{ kg/h}$$

Επιπλέον η ενθαλπία εξαγωγής h_{d12} θα ισούται με,

$$h_{d12} = 3079,641 \text{ kJ/kg.}$$

3. Καταστρώνουμε τον ενεργειακό ισολογισμό του απαερωτή για να προσδιορίσουμε την παροχή \dot{m}_{d11} . Για τις άδηλες απώλειες θεωρούμε ότι $\dot{Q}_{ID} = \pi_D \dot{Q}_{d11}$. Σύμφωνα με την Παράγραφο 3.5.1.2 έχουμε ότι $\pi_D = 0,01959$.

Από Εξ. (4.1.18) θα έχουμε ότι, $\dot{m}_{d11} = 2703,405 \text{ kg/h}$.

4. Καταστρώνουμε τον ισολογισμό μάζας του απαερωτή για να προσδιορίσουμε την παροχή $\dot{m}_{\sigma 16}$. Από Εξ. (4.1.17) προκύπτει $\dot{m}_{\sigma 16} = 110070,1 \text{ kg/h}$.

Η (απόλυτη) τιμή της σύγκλισης με την αρχική θεώρηση της παροχής είναι ίση με,

$$\alpha = (\dot{m}_{\sigma 16, \text{αρχ}} - \dot{m}_{\sigma 16, \text{υπολ}}) / \dot{m}_{\sigma 16, \text{αρχ}} = 0,004255. \quad (4.2.6.1.2)$$

Θεωρούμε την απόκλιση μη ικανοποιητική και γι αυτό κάνουμε **δεύτερο κύκλο** υπολογισμών.

1. Οι ιδιότητες του σημείου σ_{16} θα έχουν ως εξής:

Ο ειδικός όγκος νερού για πίεση $P_{\text{καταθλ}} = 75,5 \text{ bar}$ και $T_{\text{αναρ}} = 138,15 \text{ }^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία κορεσμού για $P = 3,43 \text{ bar}$) είναι ίσος με $v_f = 0,001073612 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Άρα από Εξ. (4.2.6.1.1) η παροχή όγκου στην τροφοδοτική αντλία P_3 θα ισούται με:

$$\dot{V}_P = 118,913 \text{ m}^3/\text{h}$$

2. Από καμπύλες του εγχειριδίου του στροβίλου της τροφοδοτικής αντλίας προκύπτει ότι η παροχή ατμού προς το στρόβιλο ισούται με,

$$\dot{m}_6 = 4647,88 \text{ kg/h}$$

Επιπλέον η ενθαλπία εξαγωγής h_{d12} θα ισούται με,

$$h_{d12} = 3097,843 \text{ kJ/kg.}$$

3. Από εξίσωση ενεργειακού ισολογισμού, Εξ. (4.1.18) προκύπτει ότι,

$$\dot{m}_{d11} = 2712,33 \text{ kg/h.}$$

4. Από Εξ. (4.1.17) προκύπτει ότι $\dot{m}_{\sigma 16} = 110777,094 \text{ kg/h.}$

Σύμφωνα με την Εξ. (4.2.6.1.2), η (απόλυτη) τιμή της σύγκλισης με την προηγούμενη τιμή της παροχής θα είναι ίση με,

$$\alpha = 0,004075.$$

Θεωρούμε την απόκλιση μη ικανοποιητική και γι αυτό κάνουμε **τρίτο κύκλο** υπολογισμών.

1. Οι ιδιότητες του σημείου σ16 θα έχουν ως εξής:

Ο ειδικός όγκος νερού για πίεση $P_{\text{καταθλ}} = 75,5 \text{ bar}$ και $T_{\text{αναρ}} = 138,15 \text{ }^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία κορεσμού για $P = 3,43 \text{ bar}$) είναι ίσος με $v_f = 0,001073612 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Άρα από Εξ. (4.2.6.1.1) η παροχή όγκου στην τροφοδοτική αντλία P_3 θα ισούται με:

$$\dot{V}_p = 118,913 \text{ m}^3/\text{h}$$

2. Από καμπύλες του εγχειριδίου του στροβίλου της τροφοδοτικής αντλίας προκύπτει ότι η παροχή ατμού προς το στρόβιλο ισούται με,

$$\dot{m}_6 = 4647,892 \text{ kg/h}$$

Επιπλέον η ενθαλπία εξαγωγής h_{d12} θα ισούται με,

$$h_{d12} = 4631,892 \text{ kJ/kg.}$$

3. Από εξίσωση ενεργειακού ισολογισμού, Εξ. (4.1.18) προκύπτει ότι,

$$\dot{m}_{d11} = 2712,325 \text{ kg/h.}$$

4. Από Εξ. (4.1.17) προκύπτει ότι $\dot{m}_{\sigma 16} = 110777,094 \text{ kg/h.}$

Σύμφωνα με την Εξ. (4.2.6.1.2) η (απόλυτη) τιμή της σύγκλισης με την προηγούμενη τιμή της παροχής θα είναι ίση με,

$$\alpha = 3,911 \cdot 10^{-9}.$$

Θεωρούμε την απόκλιση ικανοποιητική και σταματάμε εδώ τους κύκλους των υπολογισμών.

Μετά τον τοπικό κύκλο υπολογίζουμε την ενθαλπία διαρροών λαβυρίνθων του στροβίλου της αντλίας με τη χρήση των Εξ. (3.1.2.57) και (3.1.2.58). Θα έχουμε επομένως,

$$h_{g3} = 3307,278 \text{ kJ/kg}$$

4.2.6.2 Υπολογισμοί στους λέβητες

Υπολογισμός παροχών μάζας

Υπολογίζεται η παροχή μάζας της απομάστευσης e_2 σύμφωνα με την Εξ. (4.1.19). Συνεπώς,

$$\dot{m}_{e2} = 8612,679 \text{ kg/h}$$

Υπολογίζεται η παροχή μάζας ατμού στην είσοδο των στροβίλων πρόωσης (σημείο 0) σύμφωνα με την Εξ. (4.1.20). Θα έχουμε,

$$\dot{m}_0 = 97345,346 \text{ kg/h}$$

Υπολογίζεται η παροχή υπέρθερμου ατμού από το λέβητα (σημείο Β) σύμφωνα με την Εξ. (4.1.22). Θα έχουμε,

$$\dot{m}_B = 109375,204 \text{ kg/h}$$

Με βάση την Εξ. (4.1.23) υπολογίζεται η παραγωγή του αφυπέρθερμου ατμού από το λέβητα (σημείο d_{16}). Θα έχουμε,

$$\dot{m}_{d_{16}} = 1401,889 \text{ kg/h}$$

Υπολογισμός ατμοπαραγωγής και βαθμού απόδοσης λέβητα

Η συνολική ατμοπαραγωγή ισούται με το άθροισμα της παραγωγής υπέρθερμου και της παραγωγής αφυπέρθερμου ατμού δηλαδή χρησιμοποιώντας την Εξ. (4.1.23) προκύπτει ότι,

$$\dot{m}_{st} = 110777,094 \text{ kg/h}$$

Ανά λέβητα θα έχουμε $\dot{m}_{st,1} = 55388,547 \text{ kg/h}$.

Έχουμε καύση αποκλειστικά φυσικού αερίου. Συνεπώς από το αντίστοιχο διάγραμμα 2.1 του εγχειριδίου (βλ. Παράρτημα 2) προκύπτει ο βαθμός απόδοσης ίσος με $\eta_B=83,971\%$.

Υπολογισμός παροχής καυσίμου

Η χρήσιμη θερμότητα που παράγει ο κάθε λέβητας υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξ. (4.1.26) και για τη συγκεκριμένη κατάσταση είναι ίση με,

$$\dot{Q}_{B,1} = 43904,579 \text{ kW}$$

Σύμφωνα με την Εξ. (4.1.25) η θερμότητα που καταναλώνει ο κάθε λέβητας θα είναι ίση με,

$$\dot{Q}_{Bin,1} = 52285,473 \text{ kW}$$

Συνεπώς από Εξ. (4.1.27) έχουμε ότι $\dot{H}_{f,1} = 50840,331 \text{ kW}$ και από Εξ. (4.1.28) $\dot{m}_{BOG,1} = 3294,259 \text{ kg/h}$.

Συνολικά θα έχουμε κατανάλωση καυσίμου ίση με $\dot{m}_{BOG} = 6588,518 \text{ kg/h}$.

Παροχή αέρα καύσης

Προσδιορίζεται ο λόγος αέρα καύσης, λ_α , του λέβητα από διάγραμμα του εγχειριδίου Π2.3 (βλ. Παράρτημα 2). Έχουμε $\lambda_\alpha=1,1$.

Θεωρούμε ότι όλο το φυσικό αέριο που καίγεται στους λέβητες παράγεται με ελεύθερη εξάτμιση και υπολογίζουμε την περιεκτικότητά του βασιζόμενοι σε ένα δείγμα φορτίου υγροποιημένου φυσικού αερίου. Έτσι έχουμε:

Μεθάνιο (CH_4): 99,83%

Άζωτο (N_2): 0,17%

Με βάση τη διαδικασία που περιγράφεται στην Παράγραφο 3.3.2, προκύπτει ότι για τους συντελεστές του αέρα καύσης ότι $\alpha_{st}=17,077$ και $\alpha=18,784$.

Συνεπώς από Εξ. (3.3.2.16) και (3.3.2.18) προκύπτει ότι η παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα είναι ίση με $\dot{m}_\alpha = 61880,341 \text{ kg/h}$.

Για τους δύο λέβητες μαζί η παροχή αέρα ισούται με $\dot{m}_{\alpha\text{ολ}} = 123760,682 \text{ kg/h}$.

Προθερμαντήρες αέρα με ατμό

Υπολογίζεται η παροχή μάζας του ρεύματος d_{42} $\dot{m}_{d_{42}}$ με ισολογισμό ενέργειας σε έναν προθερμαντήρα αέρα.

Ως γνωστόν στα σημεία a_i (σημείο εισαγωγής του αέρα) και a_o (σημείο εξαγωγής του αέρα) έχουμε τις εξής θερμοκρασίες: $T_{a_i} = 38 \text{ }^\circ\text{C}$ και $T_{a_o} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$.

Από εγχειρίδιο γνωρίζουμε επίσης ότι η πίεση στον προθερμαντήρα αέρα ισούται με $P=3,56325 \text{ bar}$. Επιπλέον, $T_{d_{42}} = 210 \text{ }^\circ\text{C}$ και $T_{d_7} = 138,9 \text{ }^\circ\text{C}$. Συνεπώς για τις ενθαλπίες

ισχύει ότι $h_{d7}=584,5$ kJ/kg και $h_{d42}=3094,068$ kJ/kg. Επιπλέον $c_{pa}=1,005$ kJ/kgK. Συνεπώς, σύμφωνα με την Εξ. (3.1.2.2) προκύπτει ότι,

$$\dot{m}_{d42} = 4361,936 \text{ kg/h.}$$

Επανα-υπολογίζεται η παροχή μάζας της δεύτερης απομάστευσης. Έχουμε δηλαδή (Εξ. (4.1.16)) ότι,

$$\dot{m}_{e2} = 8524,616 \text{ kg/h.}$$

4.2.6.3 Υπολογισμοί στους στροβίλους πρόωσης

Οι παροχές μάζας κατά μήκος της γραμμής αποτόνωσης έχουν ως εξής:

Από Εξ. (4.1.29) προκύπτει $\dot{m}_0 = 97257,283$ kg/h.

Συνεπώς από Εξ. (4.1.30), $\dot{m}_1 = 97257,283$ kg/h.

Από Εξ. (3.1.2.6) προκύπτει ότι $\dot{m}_2 = 93035,615$ kg/h.

Από Εξ. (3.1.2.7) προκύπτει ότι $\dot{m}_3 = 84368,99$ kg/h

Από Εξ. (3.1.2.8) προκύπτει ότι, $\dot{m}_4 = 76643$ kg/h

Υπολογισμός ισχύων

Από Εξ. (4.1.31) ισχύς στο στροφέιο του στροβίλου υψηλής πίεσης προκύπτει ίση με, $\dot{W}_{w1} = 13883,605$ kW.

Στο Κεφάλαιο 3 έχουμε προσδιορίσει $\eta_{M1} = 0,96$. Προκύπτει από Εξ. (4.1.32) ότι, $\dot{W}_{T1} = 13328,261$ kW.

Για το στρόβιλο χαμηλής πίεσης έχουμε από Εξ. (4.1.33) ότι, $\dot{W}_{w2} = 13411,339$ kW

Συνεπώς από Εξ. (4.1.34), $\dot{W}_w = 27294,94$ kW.

Από το Κεφάλαιο 3 γνωρίζουμε ότι $r_{RL} = 0,006$ και $\eta_{ML} = 0,98$. Επομένως η συνολική ισχύς στον άξονα των στροβίλων πρόωσης από την Εξ. (4.1.35) ίση με, $\dot{W}_T = 26589,508$ kW και τελικά $\dot{W}_{T2} = 13261,248$ kW.

Σύμφωνα με την Εξ. (4.1.11) το μέγεθος της απόκλιση από τη ζητούμενη ισχύ θα ισούται με, $dev = 0,0176$.

Εφόσον η απόκλιση δεν είναι ικανοποιητική, κάνουμε νέο κύκλο υπολογισμών όπου υπολογίζεται η νέα τιμή της \dot{m}_c από την Εξ. (4.1.36),

$$\dot{m}_{c,νέα} = 77871,927 \text{ kg/h.}$$

Γνωρίζοντας πλέον το ποσοστό της ατμοπαραγωγής προσδιορίζουμε την παροχή μάζας των απωλειών και γνωρίζοντας την παροχή καυσίμου, προσδιορίζουμε την παροχή μάζας προς τους διασκορπιστές καυσίμου.

Συνεπώς θα έχουμε:

$$\dot{m}_{d23} = 969,299 \text{ kg/h και}$$

$$\dot{m}_{d20} = 300 \text{ kg/h .}$$

Άρα από Εξ. (4.2.5.2) προκύπτει για την παροχή τροφοδοτικού νερού ότι,

$$\dot{m}_{\sigma 39} = 1332,299 \text{ kg/h}$$

Ενώ για την παροχή του αφυπέρθερου ατμού από Εξ. (4.1.22) προκύπτει ότι,

$$\dot{m}_{d16} = 1407,299 \text{ kg/h}$$

4.2.7 Αποτελέσματα

Επειδή η παραπάνω διαδικασία έγινε για λόγους εξοικείωσης με την πορεία των υπολογισμών και καθώς οι υπολογισμοί με το χέρι είναι επίπονοι, δεν θα κάνουμε δεύτερο κύκλο υπολογισμών αλλά θα προχωρήσουμε κατευθείαν στην ανάπτυξη του προγράμματος προσομοίωσης. Πριν όμως από αυτό θα καταγράψουμε τα αποτελέσματα της παραπάνω υπολογιστικής διαδικασίας δηλαδή τα 'ζητούμενα' όπως αναφέρονται στην Ενότητα 4.1.

Ισχύς στον άξονα του κάθε στροβίλου:

$$\dot{W}_{T1} = 13328,261 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{T2} = 13261,247 \text{ kW}$$

Παροχή μάζας αέρα για κάθε λέβητα:

$$\dot{m}_{A1} = 61880,341 \text{ kg/h}$$

Παροχές μάζας καυσίμων για κάθε λέβητα:

$$\dot{m}_{FO1} = 0 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{Gas1} = 6588,518 \text{ kg/h}$$

Βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα: $\eta_B = 83,971\%$

Οι βαθμοί απόδοσης του όλου συστήματος προκύπτουν από τις Εξ. (4.1.37) έως (4.1.41):

Β.α. μηχανικής ισχύος:	$\eta_{SP} = 26,15\%$
Β.α. ηλεκτρικής ισχύος:	$\eta_{SG} = 1,8096\%$
Ηλεκτρομηχανικός β.α.:	$\eta_{PG} = 27,9596\%$
Θερμικός β.α.:	$\eta_{\theta} = 0,5662\%$
Β.α συστήματος:	$\eta_{plant} = 28,8976\%$

Πίνακας των ιδιοτήτων του ρευστού

Αντίθετα με την μέχρι τώρα τακτική εκφράζουμε τις παροχές μάζας σε kg/h αντί για kg/s γιατί έτσι είναι πιο εύκολη η κατανόηση των μεγεθών αλλά και η σύγκριση με τα διαγράμματα ροής.

Πίνακας 4.2.7.1 Ιδιότητες των σημείων που προέκυψαν ως αποτέλεσμα της πορείας υπολογισμών της Παραγράφου 4.2.

Σημείο	Παροχή μάζας \dot{m} [kg/s]	Πίεση P [bar]	Θερμοκρασία T [°C]	Ενθαλπία h [kJ/kg]	Εντροπία s [kJ/kgK]
Υπέρθερμος ατμός					
B	109375,204	61,29	515	3457,139	6,9168
0	97257,283	59,8	510	3446,915	6,9145
1	97257,283	53,82	510	3446,915	6,9610
2	93035,615	6,51	234,4	2922,692	7,0787
3	84368,999	6,51	234,4	2922,692	7,0787
4	76643,0	0,05325		2313,865	
c	76500,0	0,05325		2321,507	
5	7381,967	59,8	510	3446,902	6,9145
6	4647,892	59,8	510	3446,902	6,9145
Αφυπέρθερμος ατμός					
d ₁	7341,967	0,05325		2457,453	
d ₆	50,0	0,05325		2707,239	
d ₇	4361,937	3,56	138,9	584,484	1,7279
d ₈	1450,354			2918,7	
d ₁₁	2712,325				
d ₁₂	4631,892	3,43	3097,843		
d ₁₆	1407,299	61,29	287,0	2828,656	5,9620
d ₁₇	63,0			2828,656	
d ₁₈	0,0			2828,656	
d ₁₉	75,0			2828,656	
d ₂₀	300,0			2828,656	
d ₂₁	0,0			2828,656	
d ₂₂	0,0			2828,656	
d ₂₃	969,299			2828,656	
d ₂₄	4364,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₂₅	244,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₂₆	890,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₂₇	20,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₂₈	10,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₂₉	95,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₃₀	0,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₃₁	655,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₃₂	0,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307

d ₃₃	1630,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₃₄	0,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₃₅	820,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₃₆	0,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₃₈	4364,0	8,83	175,0	2773,508	6,6307
d ₃₉	4221,668	19,12	359,3	3160,090	7,0140
d ₄₂	4361,9367				
Κορεσμένο και υπόψυκτο νερό					
σ ₁	83891,967	0,05325	33,1	138,704	0,4793
σ ₂	83891,967	3,43	32,5	136,502	0,4710
σ ₃	83891,967	3,43	43,047	180,513	
σ ₄	391,0	1,013	90,0	376,992	1,1926
σ ₅					
σ ₆	0,0	3,43			
σ ₇	0,0	0,05325			
σ ₈	0,0	1,013	90,0	376,992	1450,3530
σ ₉					
σ ₁₀	83891,967	3,43	45,964	192,708	
σ ₁₁	12125,999	1,013	53,55	224,2507	0,7494
σ ₁₂	83891,967	3,43	45,964	192,708	
σ ₁₃	15369,242	1,013		235,01	0,7823
σ ₁₄	83891,967	3,43	103,2	432,778	1,3428
σ ₁₅	99261,209	3,43		402,214	
σ ₁₆	110777,094	3,43	138,15	581,263	
σ ₁₇	0,0	3,43			
σ ₁₈	110777,094	75,51	140,4	595,59	1,7360
σ ₁₉	110777,094	75,51	140,4	595,59	1,7360
σ ₂₀	244,0	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ ₂₁	890,0	8,83	120,0	504,265	1,5272
σ ₂₂	20,0	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ ₂₃	10,0	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ ₂₄	95,0	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ ₂₅	0,0	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ ₂₆	655,0	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ ₂₇	0,0	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ ₂₈	2212,0			632,256	
σ ₂₉	1630,0	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ ₃₀	0,0	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ ₃₁	820,0	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ ₃₂	0,0	8,83	170,0	719,256	2,0418
σ ₃₃	398,0			719,256	
σ ₃₄	398,0				
σ ₃₅	2212,0				
σ ₃₆	4364,0	1,013	80,0	334,991	1,0754
σ ₃₇	4364,0	8,83		336,139	
σ ₃₈	15369,2	3,43		235,377	
σ ₃₉	1332,299	1,013	30,0	125,833	

σ_{40}	75,0	11,28	100,0	419,87	1,3062
σ_{41}	4221,668	19,12	140,0	590,2061	1,7377
Απομαστεύσεις					
e_1	4221,67	19,12	359,3	3160,1	7,0140
e_2	8524,62	6,51	234,4	2922,69	7,0787
e_3	7725,99	1,50	120,9	2713,21	7,2744
Διαρροές στροβίλων					
g_{HP}	142,0			3237,218	
g_{LP}	143,0			2689,989	
g_1	285,0			2962,643	
g_2	50,0			2922,692	
g_3	16,0			3307,278	
g_4	40,0			3177,705	
g_5	391,0			2993,615	
Αέρας					
a_i	33,0164	1	38		
a_o	33,0164	1	120		

4.3 Περιγραφή του Προγράμματος σε Υπολογιστή

Την πορεία υπολογισμών για την εύρεση των χαρακτηριστικών του συστήματος ατμού που περιγράφηκε στις Ενότητες 4.1 και 4.2, την αποτυπώνουμε σε πρόγραμμα. Το πρόγραμμα αυτό προσδιορίζει όλα τα στοιχεία του διαγράμματος ροής καθώς και τις ισχύες των στροβίλων πρόωσης και κάποιους σημαντικούς βαθμούς απόδοσης, έχοντας δεδομένα την ισχύ πρόωσης, την ηλεκτρική ισχύ που παράγει η στροβιλογεννήτρια, την παραγωγή γλυκού νερού, τη σύνθεση του καυσίμου κ.α. (βλ. Ενότητα 4.1). Ακολουθεί η περιγραφή του προγράμματος, δηλαδή του κώδικα και των αρχείων εισόδου και εξόδου. Το πρόγραμμα χωρίζεται σε τμήματα, τις λεγόμενες 'ρουτίνες'. Θα χωρίσουμε την περιγραφή σε Παραγράφους, ανάλογα με τη ρουτίνα που αναλύουμε.

Σημειώνουμε ότι το πρόγραμμα λειτουργεί για διάφορες συνθήκες ισχύος πρόωσης και σύνθεσης καυσίμου. Ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει το πρόγραμμα για διάφορες καταστάσεις επεμβαίνοντας στα αρχεία 'userparam.dat', 'ext_consrate.dat' και 'value_est.dat' και 'bleed_par.dat'.

Για το δένδρο του προγράμματος με τα διάφορους κλάδους του, βλ. Παράρτημα 5, 5.A.

Κύριο πρόγραμμα, 'mainprog'

Εισάγονται τα δεδομένα – απαιτήσεις του χρήστη μέσω του αρχείου δεδομένων 'userparam.dat' τα οποία μετατρέπονται κατάλληλα, ώστε να αντιστοιχούν σε μονάδες του διεθνούς συστήματος μονάδων (S.I.).

Καλούνται οι διάφορες ρουτίνες και, αφού τελειώσει η διαδικασία υπολογισμών καταγράφονται τα αποτελέσματα σε αρχεία.

Ρουτίνα, 'one_data'

Η ρουτίνα αυτή καλείται από το 'mainprog'. Εδώ αποθηκεύονται οι ιδιότητες (πίεση, θερμοκρασία) σημείων που μένουν σταθερές σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας που περιγράφονται στα διαγράμματα ροής.

Οι ιδιότητες διαβάζονται από τα αρχεία, 'sup.dat' για τις ροές αφυπέρθερμου, 'des.dat' για τις ροές υπέρθερμου ατμού, 'cond.dat' για τις ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού και 'air.dat' για τον αέρα.

Όπου χρειάζεται, γίνεται η απαραίτητη μετατροπή ώστε όλα τα μεγέθη να είναι εκφρασμένα σε μονάδες S.I.

Εκτίμηση των στοιχείων που αλλάζουν στις διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης.

Γίνεται εκτίμηση των υπόλοιπων σταθερών μεγεθών που αλλάζουν τιμή ανάλογα με την το φορτίο πρόωσης. Αυτό γίνεται με δύο ξεχωριστές ρουτίνες, την 'MCR_calc' για το πλήρες φορτίο και την 'par_calc' για το μερικό φορτίο. Είναι προφανές ότι η κλήση της κάθε ρουτίνας από το κύριο πρόγραμμα γίνεται με συνθήκη όπου για $\dot{W}_T = \dot{W}_{Tmax} = 36800$ PS καλείται η 'MCR_calc' ενώ διαφορετικά η 'partialload_calc'.

Ρουτίνα, 'MCR_calc'

Γίνεται καταγραφή ιδιοτήτων των σημείων που μένουν σταθερές στο μέγιστο της ισχύος (βλ. Ενότητα 4.1) και των ονομαστικών ισεντροπικών βαθμών απόδοσης κατά τμήματα των στροβίλων πρόωσης.

Οι ιδιότητες διαβάζονται από τα αρχεία 'supMCR.dat' για τις ροές αφυπέρθερμου, 'desMCR.dat' για τις ροές υπέρθερμου ατμού, 'condMCR.dat' για τις ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού και 'bleed.dat' για τις ροές απομάστευσης.

Από το αρχείο 'enth.eq.e2' διαβάζονται τα ονόματα των ροών που έχουν ενθαλπία ίδια με αυτή της δεύτερης απομάστευσης, e_2 .

Στα διάφορα μεγέθη γίνεται μετατροπή ώστε να είναι εκφρασμένα σε μονάδες S.I.

Τέλος γίνεται καταγραφή των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης κατά τμήματα των στροβίλων πρόωσης (βλ. Πίνακα 3.5.2.1.2).

Ρουτίνα, 'partialload_calc'

Καταγράφονται – υπολογίζονται οι τιμές των ιδιοτήτων των ανωτέρω σημείων στο μερικό φορτίο (βλ. και Παράγραφο 4.1). Η ρουτίνα καλείται από το κύριο πρόγραμμα αντί της 'MCR_calc' όταν έχουμε μερικό φορτίο, αλλά και όταν το φορτίο υπερβαίνει την $\dot{W}_T = \dot{W}_{Tmax}$ δηλαδή για καταστάσεις υπερφόρτισης.

Ακολουθεί ο υπολογισμός των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης κατά τμήματα των στροβίλων πρόωσης για την εκάστοτε κατάσταση φόρτισης. Σε πρώτη φάση σημειώνονται οι ονομαστικοί βαθμοί απόδοσης (βλ. Πίνακα 3.5.2.1.2). Έπειτα καλείται από το πρόγραμμα η υπορουτίνα 'isentropic' που κάνει τον υπολογισμό με δεδομένη την ισχύ πρόωσης.

Με δεδομένες τις πιέσεις στα σημεία των απομαστεύσεων, τις οποίες δίνει ο χρήστης μέσω του αρχείου 'bleed_par.dat', και τους υπολογισμένους βαθμούς απόδοσης, υπολογίζονται οι ενθαλπίες στα σημεία απομάστευσης.

Οι ιδιότητες των υπολοίπων σημείων προσδιορίζονται είτε κατευθείαν από το πρόγραμμα είτε από το χρήστη με βάση τα δεδομένα διαγράμματα ροής. Τα αρχεία δεδομένων που χρησιμοποιούνται είναι τα 'des_par.dat' (ιδιότητες ροών αφυπέρθερμου ατμού), 'enth.eq.e2.dat' (ονόματα των ροών που έχουν ενθαλπία ίδια με αυτή της απομάστευσης e_2) και 'cond_par.dat' (κορεσμένο και υπόψυκτο νερό).

Για τον προσδιορισμό των θερμοκρασιών των σημείων σ_{11} , σ_{14} και σ_{19} καλείται η υπορουτίνα 'temperature' η οποία έχει ως δεδομένη την ισχύ πρόωσης.

Υπορουτίνα, 'isentropic'

Καλείται από την 'partialload_calc' και έχει ως δεδομένα την εκάστοτε ισχύ πρόωσης και τους ονομαστικούς ισεντροπικούς βαθμούς απόδοσης. Υπολογίζει τους ισεντροπικούς βαθμούς απόδοσης κατά τμήματα των στροβίλων πρόωσης για ισχύες διάφορες του 100%.

Υπορουτίνα, 'temperature'

Καλείται από τη ρουτίνα 'partialload_calc' και, με δεδομένη την ισχύ πρόωσης, προσδιορίζει τις θερμοκρασίες στα σημεία υπόψυκτου και κορεσμένου νερού, σ_{11} , σ_{14} και σ_{19} . Ο προσδιορισμός βασίζεται στα δεδομένα διαγράμματα ροής και γίνεται με χρήση των εξισώσεων της Παραγράφου 3.5.8.

Ρουτίνα, 'preliminary_calculations'

Στη ρουτίνα αυτή, που καλείται από το 'mainprog', γίνονται οι προκαταρκτικοί (πριν την επαναληπτική διαδικασία) υπολογισμοί του προγράμματος που είναι εξ αρχής καθορισμένοι και δεν χρειάζεται να επαναληφθούν, ή και είναι απαραίτητοι για την έναρξη της επαναληπτικής διαδικασίας.

Έτσι, αρχικά δίνονται τιμές στις παροχές διαρρών λαβυρίνθων μέσω του αρχείου 'glandmass.dat'.

Στη συνέχεια γίνονται οι υπολογισμοί στο στρόβιλο της γεννήτριας. Καλείται δηλαδή η υπορουτίνα 'hg_' που έχει σαν δεδομένη τη ζητούμενη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, \dot{W}_{TG} , και προσδιορίζει τον ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης της γεννήτριας. Στη συνέχεια καλείται η υπορουτίνα 'Dh_', η οποία με δεδομένη την ηλεκτρική ισχύ προσδιορίζει τη διαφορά των ενθαλιπών $\Delta h = h_5 - h_{d1}$. Τέλος, με το ίδιο δεδομένο μέγεθος, η υπορουτίνα 'hM_' προσδιορίζει τον μηχανικό βαθμό απόδοσης του στροβίλου. Τελικά υπολογίζονται σύμφωνα με την Παράγραφο 4.2.4 η κατανάλωση ατμού από τον στρόβιλο, \dot{m}_5 και η ενθαλία εξόδου, h_{d1} , ενώ προσδιορίζεται και η ενθαλία διαρρών λαβυρίνθων.

Ακολουθούν υπολογισμοί στον αποστακτήρα, που έχουν ως στόχο την εύρεση της παροχής ατμού (ρεύμα d_8) με βάση την ειδική κατανάλωση ενέργειας, q_w , και τη ζητούμενη παραγωγή γλυκού νερού ανά δευτερόλεπτο, \dot{m}_{dist} .

Υπορουτίνα, 'hg_'

Προσδιορίζει τον ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης της γεννήτριας με δεδομένη τη ζητούμενη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Αποτελεί την αποτύπωση σε κώδικα του Πίνακα 3.5.3.1.

Υπορουτίνα, 'Dh_'

Προσδιορίζει τη διαφορά ενθαλιπών, $\Delta h = h_5 - h_{d1}$ μεταξύ του ρεύματος εισόδου και εξόδου του στροβίλου της γεννήτριας με δεδομένη τη ζητούμενη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Αποτελεί την αποτύπωση σε κώδικα του Διαγράμματος 3.5.3.3.

Υπορουτίνα, 'hM_'

Προσδιορίζει τον μηχανικό βαθμό απόδοσης του στροβίλου της γεννήτριας με δεδομένη τη ζητούμενη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Αποτελεί την αποτύπωση σε κώδικα του Διαγράμματος 3.5.3.4.

Ρουτίνα, 'Value_estimations'

Καλείται από το 'mainprog' και κάνει εκτιμήσεις (αρχικοποίηση) των τιμών ορισμένων μεγεθών πριν την έναρξη της επαναληπτικής διαδικασίας.

Ορισμένες από τις τιμές αυτές δίνονται από τον χρήστη στο αρχείο δεδομένων 'value_est.dat', ενώ άλλα υπολογίζονται με τη βοήθεια ημι-εμπειρικών εξισώσεων.

Οι εν λόγω τιμές είναι οι εξής:

Ιδιότητες των ρευμάτων d_6 και d_7 , ενθαλπίες των ρευμάτων διαρροών λαβυρίνθων g_2 και g_3 , ποσοστά των άδηλων απωλειών του προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης και της ατμογεννήτριας χαμηλής πίεσης, παροχή του τροφοδοτικού νερού, παροχή ατμού προς τους καταναλωτές που εξυπηρετούν την εσωτερική λειτουργία του συστήματος.

Ακολούθως γίνεται μια αρχική εκτίμηση της παροχής του νερού αναπλήρωσης $\dot{m}_{\sigma 39}$. Το ρεύμα σ_{39} έρχεται να αναπληρώσει τις καταναλώσεις στους διασκορπιστές καυσίμου, στους εκκαπνιστές και τις διάφορες απώλειες, οι οποίες εκτιμώνται με τη βοήθεια υπορουτινών.

Η παροχή μάζας ατμού στους διασκορπιστές καυσίμου προσδιορίζεται με τη χρήσιμη 'burn_atomizers', στους εκκαπνιστές με τη χρήση της 'soot_blowers' και οι απώλειες με τη χρήση της 'losses'.

Τέλος υπολογίζονται τα μεγέθη $\dot{m}_{\sigma 28}$, $h_{\sigma 28}$, $\dot{m}_{\sigma 33}$, $h_{\sigma 33}$.

Υπορουτίνα, 'burn_atomizers'

Κάνει μία αρχική εκτίμηση της κατανάλωσης ατμού από τους εκκαπνιστές συναρτήσει του ποσοστού του πετρελαίου στο σύνολο της ενέργειας του καυσίμου. Αποτελεί την αποτύπωση σε κώδικα του Πίνακα 4.2.5.1.

Υπορουτίνα, 'soot_blowers'

Κάνει μία αρχική εκτίμηση, σύμφωνα με την Παράγραφο 3.5.5.2, της κατανάλωσης ατμού από τους διασκορπιστές καυσίμου συναρτήσει του ποσοστού του πετρελαίου στο σύνολο της ενέργειας του καυσίμου.

Υπορουτίνα, 'losses'

Κάνει μία αρχική εκτίμηση της τιμής των απωλειών ατμού από το σύστημα χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 3.5.3.3. Έχει δεδομένη την ισχύ πρόωσης. Αργότερα, όταν θα γίνει γνωστή η ατμοπαραγωγή, οι απώλειες θα υπολογίζονται ως ποσοστό της.

Ρουτίνα, 'loop'

Ο κύκλος δοκιμών καλείται από το 'mainprog' και κάνει υπολογισμούς στα διάφορα στοιχεία κατά μήκος του διαγράμματος ροής με βάση μια αρχική εκτίμηση για την παροχή μάζας ατμού προς το ψυγείο. Στο τέλος υπολογίζεται και η ισχύς των στροβίλων πρόωσης. Αν αυτή δεν είναι ίση, ή τουλάχιστον δεν πλησιάζει την απαιτούμενη, τότε κάνουμε μια νέα εκτίμηση της παροχής μάζας \dot{m}_c με βάση την Εξ. (4.1.23). Οι υπολογισμοί που γίνονται στην εν λόγω ρουτίνα έχουν ως εξής:

Αρχικά υπολογίζεται η ενθαλπία εξόδου του στροβίλου χαμηλής πίεσης, h_4 με διαφορετικό τρόπο για το 100% της ισχύος και με άλλο για τα λοιπά επίπεδα (βλ. Παράγραφο 4.1). Επιπλέον υπολογίζεται η ενθαλπία εισόδου στο Κύριο Ψυγείο h_c και οι ενθαλπίες διαρροών των στροβίλων πρόωσης.

Στη συνέχεια γίνεται ισολογισμός μάζας στο Κύριο Ψυγείο για τον προσδιορισμό της παροχής του συμπυκνώματος σ_1 , ισολογισμός ενέργειας στον Αποστακτήρα για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων του σ_3 , ισολογισμός μάζας και ενέργειας στο Ψυγείο Διαρροών Λαβυρίνθων για τον υπολογισμό της ενθαλπίας και της παροχής μάζας του g_5

και της ενθαλπίας του ρεύματος συμπυκνώματος του σ_{12} και ισολογισμός μάζας και ενέργειας στον Προθερμαντήρα Χ.Π. για τον υπολογισμό των $\dot{m}_{\sigma_{11}}$ και \dot{m}_{e3} .

Όσον αφορά στη Δεξαμενή Υγρών Αποστραγγίσεων, εκεί γίνεται ισολογισμός μάζας που προσδιορίζει την τιμή της $\dot{m}_{\sigma_{13}}$ ενώ με θεώρηση ισεντροπικού βαθμού απόδοσης για την αντλία P_2 υπολογίζεται η $h_{\sigma_{13}}$. Τέλος γίνεται αδιαβατική ανάμιξη των ρευμάτων σ_{14} και σ_{38} προκειμένου να προσδιοριστεί η ενθαλπία του ρεύματος σ_{15} .

Στην Ατμογεννήτρια Χαμηλής Πίεσης, μετά τον προσδιορισμό των κατάλληλων ιδιοτήτων και παροχών των ρευμάτων, υπολογίζεται με ισολογισμό ενέργειας η παροχή μάζας της απομάστευσης του Στροβίλου Υψηλής Πίεσης, e_1 .

Καλείται η υπορουτίνα 'dearator_P3' που υλοποιεί τον τοπικό κύκλο δοκιμών για το υποσύστημα προθερμαντήρα/απαερωτή-στροβίλου τροφοδοτικής αντλίας και προσδιορίζει την τιμή της παροχής τροφοδοτικού νερού του λέβητα, $\dot{m}_{\sigma_{16}}$, την παροχή εισόδου \dot{m}_6 και την ενθαλπία εξόδου, h_{d12} του στροβίλου της αντλίας και τελικά την \dot{m}_{d11} με προσδιορισμό των άδηλων απωλειών του Απαερωτή μέσω της 'dear_losses'.

Στη συνέχεια καλείται από τη 'loop' η υπορουτίνα 'Boiler' που αναλαμβάνει τους υπολογισμούς που αφορούν στους Λέβητες και η υπορουτίνα 'SAH_' που κάνει υπολογισμούς που αφορούν στους Προθερμαντήρες Αέρα.

Τέλος με την κλίση της 'turbines' που προσδιορίζει κατά κύριο λόγο τα μεγέθη που αφορούν τις ισχύες των στροβίλων πρόωσης, ελέγχεται αν ικανοποιείται το κριτήριο σύγκλισης που ορίσαμε.

Γνωρίζοντας την παροχή του πετρελαίου και την ατμοπαραγωγή καλείται από τη 'loop' η υπορουτίνα 'burn_atom' για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ατμού από τους διασκορπιστές καυσίμου και η 'losses1' για τον υπολογισμό των απωλειών. Τελικά προσδιορίζεται η παροχή αφυπέρθερμου ατμού, \dot{m}_{d16} και τροφοδοτικού νερού, $\dot{m}_{\sigma_{39}}$.

Υπορουτίνα, 'EL'

Καλείται από τη 'loop' και Υπολογίζει τις Απώλειες του στροβίλου Χ.Π. με βάση το Σχ. 7 του [1] και έχει ως δεδομένο το μέγεθος, $\frac{\dot{m}_c}{\rho_c \cdot A_a}$ (Εξ. (3.1.2.17)).

Υπορουτίνα, 'dearator_P3'

Καλείται από τη 'loop' και υλοποιεί τον τοπικό κύκλο δοκιμών στο υποσύστημα προθερμαντήρα/απαερωτή - στροβίλου τροφοδοτικής αντλίας. Το κριτήριο σύγκλισης είναι η τιμή της παροχής μάζας του τροφοδοτικού νερού.

Μετά τον προσδιορισμό της παροχής όγκου του τροφοδοτικού νερού, καλούνται οι υπορουτίνες 'masstf' και 'hd12_' για τον υπολογισμό της παροχής ατμού \dot{m}_6 και της διαφοράς ενθαλπίας μεταξύ εισόδου h_6 και h_{d12} , αντίστοιχα. Η h_6 έχει ήδη υπολογιστεί, οπότε προσδιορίζεται η h_{d12} .

Στη συνέχεια καλείται η 'dear_losses' που προσδιορίζει το ποσοστό π_D των άδηλων απωλειών του απαερωτή και γίνεται ενεργειακός ισολογισμός στον απαερωτή που υπολογίζει την παροχή \dot{m}_{d11} .

Με ισολογισμό μάζας υπολογίζεται η $\dot{m}_{\sigma 16}$ και ελέγχεται αν ικανοποιείται το κριτήριο σύγκλισης.

Υπορουτίνα, 'masstfp'

Καλείται από την 'dearator_P3' και με δεδομένη την παροχή όγκου τροφοδοτικού νερού επιστρέφει την παροχή μάζας ατμού προς το στρόβιλο. Οι υπολογισμοί γίνονται με τη βοήθεια των Διαγραμμάτων 3.5.6.1 και 3.5.6.2.

Υπορουτίνα, 'hd12_'

Καλείται από την 'dearator_P3' και με δεδομένη την παροχή όγκου τροφοδοτικού νερού επιστρέφει την διαφορά των ενθαλπιών $\Delta h = h_6 - h_{d12}$ μεταξύ του ρεύματος εισόδου και εξόδου του στροβίλου της αντλίας. Οι υπολογισμοί γίνονται με τη βοήθεια των Διαγραμμάτων 3.5.6.5 και 3.5.6.6.

Υπορουτίνα, 'dear_losses'

Καλείται από την 'dearator_P3' και με δεδομένο το ποσοστό του πετρελαίου στη συνολική ενέργεια του καυσίμου, επιστρέφει το κλάσμα των άδηλων απωλειών του απαερωτή π_D . Οι υπολογισμοί γίνονται με τη βοήθεια του Πίνακα 3.5.1.2.1.

Υπορουτίνα, 'Boiler'

Καλείται από την 'Ioop' και έχει δεδομένες τις διάφορες ιδιότητες και τις παροχές των ροών κατά μήκος του διαγράμματος ροής αλλά και το ποσοστό του πετρελαίου και του φυσικού αερίου επί της συνολικής ενέργειας που παρέχεται από το καύσιμο.

Αρχικά υπολογίζονται με ισολογισμούς μαζών οι παροχές \dot{m}_{e2} , \dot{m}_0 , \dot{m}_B , \dot{m}_{d16} και η ατμοπαραγωγή \dot{m}_{st} . Καλείται η υπορουτίνα 'boiler_efficiency' για τον προσδιορισμό του βαθμού απόδοσης η_B του κάθε λέβητα. Με βάση τα παραπάνω προσδιορίζονται οι παροχές των καυσίμων.

Στη συνέχεια καλείται η υπορουτίνα 'excess_air_ratio' που υπολογίζει το λόγο αέρα καύσης και στη συνέχεια η 'air_flow' που προσδιορίζει την παροχή αέρα καύσης. Η παροχή αυτή διπλασιάζεται για να μας δώσει τη συνολική παροχή αέρα και για τους δύο λέβητες.

Υπορουτίνα, 'excess_air ratio'

Καλείται από την υπορουτίνα 'Boiler' και υπολογίζει τον λόγο αέρα καύσης λ_a έχοντας ως δεδομένο εισόδου την ατμοπαραγωγή ανά λέβητα. Οι υπολογισμοί γίνονται με χρήση του Διαγράμματος 2.3 του Παραρτήματος 2.

Υπορουτίνα, 'boiler_efficiency'

Η υπορουτίνα αυτή καλείται από την 'Boiler', υπολογίζει τον βαθμό απόδοσης του κάθε λέβητα και έχει σαν δεδομένα την ατμοπαραγωγή ανά λέβητα, και τα ποσοστά καιόμενου πετρελαίου και φυσικού αερίου. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται από το Παράρτημα 2 το Διάγραμμα 2.1 για καύση πετρελαίου και το 2.2 για καύση

φυσικού αερίου. Προκειμένου να υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης για καύση διπλού καυσίμου, χρησιμοποιείται η Εξ. (4.1.24).

Υπορουτίνα, 'air_flow'

Καλείται από την 'Boiler' και με δεδομένα το λόγο αέρα καύσης λ_a , και τις παροχές καυσίμου πετρελαίου και φυσικού αερίου ανά λέβητα βρίσκει την παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα με βάση τη διαδικασία που περιγράφηκε στην Παράγραφο 3.3.2. Για κάθε καύσιμο διαβάζονται από τα αρχεία δεδομένων 'bog_air_flow.dat' (φυσικό αέριο) και 'fo_air_flow.dat' (πετρέλαιο), η σύνθεση και οι μοριακές μάζες των διαφόρων χημικών συστατικών, από τα οποία απαρτίζεται.

Σημειώνεται ότι στην εξίσωση 'air_flow' οι υπολογισμοί για το φυσικό αέριο έχουμε επιλέξει να είναι εντελώς ανεξάρτητοι από τους υπολογισμούς για το πετρέλαιο.

Υπορουτίνα, 'SAH_'

Καλείται από τη 'loop' και πραγματοποιεί υπολογισμούς στους Προθερμαντήρες Αέρα. Με δεδομένες τις ιδιότητες και τις παροχές μάζας του αφυπέρθερου ατμού και του αέρα καύσης γίνεται ισολογισμός ενέργειας για τον υπολογισμό της $\dot{m}_{d7} = \dot{m}_{d42}$. Γίνεται ισολογισμός μάζας για τον επανα-υπολογισμό της παροχής μάζας της ροής απομάστευσης e_2 .

Υπορουτίνα, 'turbines_'

Καλείται από τη 'loop' και κάνει υπολογισμούς που αφορούν στους στροβίλους πρόωσης. Στόχος των υπολογισμών είναι η εύρεση της κατανομής της ισχύος πρόωσης στους δύο στροβίλους (υψηλής και χαμηλής πίεσης) αλλά και της συνολικά παραγόμενης για σύγκριση με τη ζητούμενη.

Αρχικά, με ισολογισμούς μάζας υπολογίζονται οι παροχές μάζας $\dot{m}_0, \dot{m}_1, \dot{m}_2, \dot{m}_3, \dot{m}_4$ αντίστοιχα.

Στη συνέχεια υπολογίζεται η ισχύς στο στροφέιο \dot{W}_{w1} και στον άξονα \dot{W}_{T1} του Στροβίλου Υψηλής Πίεσης. Αντίστοιχα οι \dot{W}_{w2} και \dot{W}_{T2} και η συνολική \dot{W}_T .

Υπολογίζεται η απόκλιση από τη ζητούμενη ισχύ, που είναι και το κριτήριο της επαναληπτικής διαδικασίας.

Υπορουτίνα, 'burn_atomizers'

Η εν λόγω υπορουτίνα επίσης καλείται από τη ρουτίνα 'loop' και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της παροχής μάζας ατμού προς τους διασκορπιστές καυσίμου. Έχει ως δεδομένο την παροχή πετρελαίου \dot{m}_{FO} . Οι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με την Παράγραφο 3.5.5.1.

Υπορουτίνα, 'losses1'

Εφόσον έχει υπολογιστεί η ατμοπαραγωγή, μπορούμε να υπολογίσουμε και την παροχή μάζας των απωλειών \dot{m}_{d23} με τη χρήση της υπορουτίνας 'losses1' (βλ. Παράγραφο 3.5.5.3).

Η υπορουτίνα αυτή καλείται από τη 'loop' και έχει ως δεδομένο τη συνολική ατμοπαραγωγή του λέβητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Αποτελέσματα υπολογισμών και συμπεράσματα

Για να ελέγξουμε την ακρίβεια του προγράμματος το τρέξαμε για όλους τους συνδυασμούς ισχύος και καυσίμου για τους οποίους έχουμε στοιχεία από τα διαγράμματα ροής (βλ. Παράρτημα 1, 1.B). Για κάθε μία από τις καταστάσεις παρουσιάζονται εδώ τα αρχεία δεδομένων και αποτελεσμάτων που εξήγαγε το πρόγραμμα.

Για όποια μεγέθη υπάρχουν τιμές από τα διαγράμματα ροής ή από το εγχειρίδιο, αυτές σημειώνονται μετά τα αποτελέσματα. Σημειώνεται επίσης και η απόκλιση (%) των τιμών του προγράμματος από τις δεδομένες τιμές που προκύπτει ως ακολούθως:

$$\text{απόκλιση} = \frac{\text{αποτέλεσμα από πρόγραμμα} - \text{τιμή από διάγραμμα ροής}}{\text{τιμή από διάγραμμα ροής}} \quad (5.1)$$

Όσον αφορά τις παροχές μάζας και τις ιδιότητες των διαφόρων σημείων, αυτές σημειώνονται σε πίνακες. Σε κάθε πίνακα υπάρχει μια στήλη με τις παροχές μάζας που είναι δεδομένες από το αντίστοιχο διάγραμμα ροής και τέλος μία με την αντίστοιχη απόκλιση. Όπου η τιμή της μάζας δεν υπολογίζεται από το πρόγραμμα αλλά λαμβάνεται ως δεδομένη, δεν σημειώνεται τίποτα. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για ορισμένες θερμοκρασίες που υπολογίζονται από το πρόγραμμα, μόνο που αυτές σημειώνονται κάτω από τον κάθε πίνακα για λόγους ευκρίνειας.

Μετά από τα αποτελέσματα ακολουθεί σχολιασμός τους.

Σημειώνεται ότι για τη σύνθεση των καυσίμων φυσικού αερίου και πετρελαίου, έχουν χρησιμοποιηθεί αντιπροσωπευτικές συνθέσεις που βασίζονται σε στοιχεία μετρήσεων πάνω στο πλοίο. Έτσι, η μοριακή σύνθεση του Φυσικού Αερίου αποτυπώνεται στον Πίνακα 3.3.2.1 ενώ η κατά μάζα περιεκτικότητα των συστατικών του Πετρελαίου στον Πίνακα 3.3.2.3.

5.1 Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Φυσικού αερίου

5.1.1 Δεδομένα

Σημειώνονται τα δεδομένα - απαιτήσεις του χρήστη όπως αυτά έχουν δοθεί στο πρόγραμμα μέσω του αρχείου 'userparam1.dat':

Ισχύς πρόωσης:	$\dot{W}_T = 27066,356 \text{ kW}$
Ηλεκτρική ισχύς:	$\dot{W}_G = 1840,000 \text{ kW}$
Παραγωγή γλυκού νερού:	$\dot{m}_{\text{dist}} = 0,69444 \text{ kg/s}$
Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα των καυσίμων:	

$$H_{u,FO} = 43040,30400 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{u,BOG} = 55558,83600 \text{ kJ/kg}$$

Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση πετρελαίου:

$$\pi_{FO} = 0,000\%$$

Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση φυσικού αερίου:

$$\pi_{BOG} = 100,000\%$$

Οι τιμές των στοιχείων στα υπόλοιπα αρχεία δεδομένων (βλ. Παράρτημα 4, 4.A) είναι ίσες με τις αντίστοιχες στο επισυναπτόμενο διάγραμμα ροής.

5.1.2 Αποτελέσματα

Αποτελέσματα (Αρχείο 'results.dat')

Αριθμός επαναλήψεων του κύκλου δοκιμών:	15
<i>Ισχύες</i>	
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Υψηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T1} = 13382,7448 \text{ kW}$
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T2} = 13683,6111 \text{ kW}$
Συνολική ισχύς:	$\dot{W}_T = 27066,3558 \text{ kW}$
<i>Λέβητες</i>	
Παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα:	$\dot{m}_{A1} = 62085,7361 \text{ kg/h}$
Συνολική παροχή αέρα καύσης:	$\dot{m}_A = 124171,4723 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου πετρελαίου:	$\dot{m}_{FO} = 0,0000 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου φυσικού αερίου:	$\dot{m}_{BOG} = 6610,3866 \text{ kg/h}$
Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο:	$\dot{H}_f = 102018,1625 \text{ kW}$
<i>Βαθμοί απόδοσης</i>	
Βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα:	$\eta_B = 83,9693\%$
Βαθμός απόδοσης μηχανικής ισχύος:	$\eta_{SP} = 26,5309\%$
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{SG} = 1,8036\%$
Ηλεκτρομηχανικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{SPG} = 28,3345\%$
Θερμικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_\theta = 0,5662\%$
Βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης:	$\eta_{plant} = 28,9007\%$

Τιμές του διαγράμματος ροής – Συμπεράσματα

Ισχύς πρόωσης

Η τιμή της συνολικής ισχύος που σημειώνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα ροής είναι ίση με, $\dot{W}_{T,diag,ροής} = 27066,3558 \text{ kW}$ και συνεπώς η απόκλιση είναι μηδενική. Αυτό ήταν και το αναμενόμενο αποτέλεσμα αν σκεφτούμε ότι η επίτευξη της συγκεκριμένης ισχύος είχε τεθεί από τον χρήστη σαν στόχος της υπολογιστικής διαδικασίας.

Παροχή μάζας καυσίμου (φυσικού αερίου)

Όσον αφορά στην παροχή μάζας καυσίμου περιμένουμε αποκλίσεις της υπολογισθείσας από τη δεδομένη του διαγράμματος ροής για τους εξής δύο λόγους:

Πρώτον, η σύνθεση του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις που αποτυπώνονται στο διάγραμμα ροής είναι πιθανότατα διαφορετική από αυτή που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα. Στο πρόγραμμα έχουμε θεωρήσει μία τυπική σύνθεση καυσίμου φυσικού αερίου που καίει ο λέβητας, σύμφωνα με μετρήσεις πάνω στο πλοίο.

Δεύτερον, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η παροχή καυσίμου $\dot{m}_{\text{BOG, διαγ. ροής}}$ αποτελεί το άθροισμα της παροχής φυσικού αερίου εξαναγκασμένης και φυσικής εξάτμισης ενώ στη διαδικασία υπολογισμών του προγράμματος θεωρούμε φυσικό αέριο μόνο φυσικής εξάτμισης. Είναι γνωστό ότι το φυσικό αέριο εξαναγκασμένης εξάτμισης έχει μικρότερη θερμογόνο ικανότητα από αυτή του φυσικού αερίου φυσικής εξάτμισης γιατί εξατμίζονται όλα τα συστατικά του ενώ σε άλλη περίπτωση (φυσική εξάτμιση) μόνο τα πιο ελαφρά. Συμπερασματικά, περιμένουμε ότι με αποκλειστικά φυσική εξάτμιση θα έχουμε ελαφρά μικρότερη παροχή μάζας καυσίμου.

Τελικά παρατηρούμε ότι η παροχή μάζας καυσίμου φυσικού αερίου που σύμφωνα με το διάγραμμα ροής χρειάζεται για να παραχθεί η δεδομένη ισχύς πρόωσης είναι ίση με $\dot{m}_{\text{BOG, διαγ. ροής}} = 6618 \text{ kg/h}$ δηλαδή λίγο μεγαλύτερη από αυτή που προσδιορίστηκε από το πρόγραμμα και συνεπώς $\text{dev}_{\text{BOG}} = -0,11504\%$. Η διαφορά μπορεί επίσης να οφείλεται στο διαφορετικό τρόπο που χρησιμοποιούμε για να προσδιορίσουμε την παροχή του (βλ. Ενότητα 4.1) από αυτόν που πιθανώς χρησιμοποιεί το σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης. Όπως και να έχει, οι διαφορές είναι πολύ μικρές.

Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο

Από πράξεις που βασίζονται στο διάγραμμα ροής έχουμε για την ίδια θερμογόνο ικανότητα ότι $\dot{H}_{f, \text{ διαγ. ροής}} = 102135,6602 \text{ kW}$ και $\text{dev}_{\text{HF}} = -0,11504\% = \text{dev}_{\text{BOG}}$.

Παροχή αέρα καύσης

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο, ο τρόπος που το σύστημα ελέγχου 'αποφασίζει' για την τιμή της παροχής αέρα καύσης είναι ο εξής:

Για κάθε ένα από τα δύο καύσιμα που μπορεί να κάψει ο λέβητας ορίζεται και ένας στοιχειομετρικός λόγος μαζών αέρα/ καυσίμου που είναι αποτέλεσμα υπολογισμών και στατιστικών στοιχείων για τη σύνθεση του καυσίμου. Έτσι, για το φυσικό αέριο έχουμε λόγο $f_{\text{BOG}} = 17,47$ και για το πετρέλαιο $f_{\text{FO}} = 14$. Η παροχή αέρα καύσης προκύπτει ως ακολούθως:

$$\dot{m}_A = (f_{\text{FO}} \cdot \dot{m}_{\text{FO}} + f_{\text{BOG}} \cdot \dot{m}_{\text{BOG}}) \cdot \lambda_\alpha \quad (5.1.2.1)$$

Για την παροχή καυσίμου φυσικού αερίου που υπολογίστηκε από το πρόγραμμα και για $\lambda_\alpha = 1,1$, θα έχουμε σύμφωνα με την ανωτέρω διαδικασία ότι, $\dot{m}_{A, \text{ εγχειριδίου}} = 127178,106 \text{ kg/h}$ και ότι $\text{dev}_A = -2,3641\%$. Αυτό οφείλεται στο ότι στο

πρόγραμμα χρησιμοποιούμε τη σύνθεση του δεδομένου καυσίμου και με βάση αυτή υπολογίζουμε την παροχή αέρα (βλ. Παράγραφος 3.3.2), αντί για έναν γενικότερο στατιστικό συντελεστή και αυτό μπορεί να μας δώσει την κατάλληλη παροχή αέρα καύσης χωρίς να γίνονται σπατάλες.

Βαθμός απόδοσης λέβητα

Στο διάγραμμα ροής σημειώνεται ότι $\eta_{B \text{ διαγ.ροής}}=83,9\%$ συνεπώς έχουμε απόκλιση από τον αντίστοιχο που προέκυψε ως αποτέλεσμα της υπολογιστικής διαδικασίας, ίση με $dev_{\eta_B}=0,08259\%$. Οι διαφορές είναι πολύ μικρές:

Γνωρίζουμε (βλ. Παράρτημα 2) ότι ο βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα προκύπτει από το αντίστοιχο Διάγραμμα 2.1 του Παραρτήματος 2 για το βαθμό απόδοσης συναρτήσει της ατμοπαραγωγής του. Η απόκλιση συνεπώς οφείλεται στη διαφορετική τιμή της ατμοπαραγωγής μεταξύ εκείνης που προέκυψε ως αποτέλεσμα του προγράμματος και της τιμής του διαγράμματος ροής. Σφάλματα στη μέτρηση των στοιχείων του διαγράμματος και στην επεξεργασία των τιμών του από το Matlab, ίσως έπαιξαν ρόλο.

Βαθμός απόδοσης εγκατάστασης

Στο διάγραμμα ροής βλέπουμε ότι $\eta_{\text{plant}}=31,1\%$ και συνεπώς έχουμε απόκλιση της τάξεως του $dev_{\eta_{\text{plant}}}=-7,0717\%$. Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 3, η απόκλιση αυτή, εκτός των λοιπών διαφορών οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στον διαφορετικό ορισμό του βαθμού απόδοσης βάσει του οποίου υπολογίστηκε ο η_{plant} για το διάγραμμα ροής και αυτού που θεωρήσαμε εμείς, στερούμενοι άλλων στοιχείων (βλ. Εξ. (4.1.32)).

Ροές υπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'sup1.dat')

Πίνακας 5.1.2.1 Ιδιότητες των ροών υπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και αποκλίσεις από τις αντίστοιχες των διαγραμμάτων ροής.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας ṁ	Παροχή μάζας ṁ από διαγράμματα ροής	Απόκλιση %
B	61,29	515,000	3457,1388	6,9168	109679,7142	109872	-0,1750
0	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	97644,4137	97752	-0,1101
1	53,84	510,000	3446,9017	6,9610	97644,4137	97752	-0,1101
2	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	93428,5502	93536	-0,1149
3	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	84736,3311	84291	0,5283
4	0,05	307,151	2296,2670	0,4916	76960,0566	76560	0,5225
5	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	7381,9670	7500	-1,5738
6	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	4653,3335	4620	0,7215
c	0,05	307,151	2303,8777	0,4916	76817,0566	76416	0,5248

Οι αποκλίσεις των τιμών των παροχών μάζας είναι γενικά αρκετά μικρές και ικανοποιητικές. Η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στο σημείο 5, δηλαδή στην παροχή ατμού προς το στρόβιλο της γεννήτριας.

Όπως βλέπουμε και στην Ενότητα 4.1, η παροχή μάζας \dot{m}_5 προκύπτει από την Εξ. (4.1.4) της οποίας τα διάφορα μεγέθη υπολογίζονται από τον Πίνακα 3.5.3.1 (ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης συναρτήσεως της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος), το Διάγραμμα 3.5.3.4 (μηχανικός βαθμός απόδοσης συναρτήσεως της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος) και το Διάγραμμα 3.5.3.3 (διαφορά ενθαλπίας μεταξύ εισόδου και εξόδου συναρτήσεως της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος). Το Διάγραμμα 3.5.3.4 προκύπτει με τη σειρά του από το Διάγραμμα 3.5.3.3 της διαφοράς ενθαλπίας συναρτήσεως της ισχύος και τον Πίνακα 3.5.3.1 του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης συναρτήσεως της ισχύος. Το Διάγραμμα 3.5.3.3 προκύπτει από το Διάγραμμα 3.5.3.1 της παροχής μάζας ατμού συναρτήσεως της ισχύος και το 3.5.3.2 της ενθαλπίας εξόδου για δεδομένες συνθήκες εισόδου συναρτήσεως της ισχύος πάλι για δεδομένες συνθήκες εισόδου.

Είναι φυσικό μετά από τόσες μετατροπές να έχει χαθεί η ακρίβεια σε ένα βαθμό. Σημαντικό ρόλο στην ύπαρξη απόκλισης παίζει επίσης και η ανακρίβεια της μέτρησης των σημείων των διαγραμμάτων 3.5.3.1 και 3.5.3.2 του εγχειριδίου με ειδικό πρόγραμμα γραφικών στον υπολογιστή. Τέλος, μέρος της ακρίβειας χάθηκε κατά την εξαγωγή εξισώσεων με τη βοήθεια του Matlab από τα διάφορα σημεία των διαγραμμάτων και των πινάκων. Παρόλα αυτά η απόκλιση είναι μέσα στα αποδεκτά πλαίσια.

Η δεύτερη μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στην παροχή μάζας ατμού προς τον στρόβιλο της αντλίας, \dot{m}_6 . Όπως βλέπουμε και στην Παράγραφο 4.2.6.1, η παροχή μάζας ατμού στο στρόβιλο υπολογίζεται από τα Διαγράμματα 3.5.6.1 και 3.5.6.2 που ισχύουν για δεδομένες συνθήκες εισόδου $T=510^\circ\text{C}$ και $P=59,9$ bar. Το σφάλμα πιθανώς να οφείλεται στις διαφορετικές συνθήκες εισόδου ή όπως και προηγουμένως στη μέτρηση των σημείων των γραφημάτων και στη διαδικασία εξαγωγής των εξισώσεων που τα περιγράφουν.

Μικρότερης τάξεως αποκλίσεις παρατηρούνται και στις παροχές μάζας των σημείων 3,4, και c. Οι εν λόγω παροχές επηρεάζονται από την παροχή της απομάστευσης e_2 , η οποία όπως θα δούμε και παρακάτω παρουσιάζει αποκλίσεις από την αντίστοιχη του διαγράμματος ροής.

Όπως έχουμε σημειώσει και ανωτέρω, το διάγραμμα ροής τροποποιήθηκε ώστε η παροχή εξόδου του στροβίλου της τροφοδοτικής αντλίας d_{12} να εισάγεται κατευθείαν στον απαερωτή αντί να συνδράμει το ρεύμα d_{42} (βλ. Παράρτημα 1, Β.4). Αυτό έχει σαν συνέπεια αλλαγές στις απαιτήσεις ατμού από την απομάστευση εκ μέρους του απαερωτή, δηλαδή η παροχή του ρεύματος d_{11} μειώνεται. Επιπλέον αυξάνεται η ζήτηση παροχής ατμού απομάστευσης από τον προθερμαντήρα αέρα (Steam Air Heater). Το συνολικό αποτέλεσμα είναι η μείωση της παροχής του ρεύματος e_2 με τα επακόλουθα αποτελέσματα στις παροχές των σημείων 3 και 4.

Ροές αφυπέρθευτου ατμού (Αρχείο 'des1.dat')

Πίνακας 5.1.2.2 Ιδιότητες των ροών αφυπέρθευτου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς

του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και αποκλίσεις παροχών μάζας από τις αντίστοιχες των διαγραμμάτων ροής.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας ḡ	Παροχή μάζας ḡ από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
d ₁	0,05	0,000	2457,45	0,00	7341,97	7460	-1,5822
d ₂	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃	0,00	0,000	0,0000	0,0000	7341,9670	0	*
d ₄	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₅	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₆	0,05		2707,2385		50,0000	50	*
d ₇	3,56	138,900	584,4836	1,7279	4376,4150	4449	-1,6315
d ₈	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	1450,3538	1450	0,0244
d ₉	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₀	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	7099,8653	7653	-7,2277
d ₁₁	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	2723,4503	7808	⁻¹
d ₁₂	3,43		3097,7132		4637,3335	4604	0,7240
d ₁₃	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₄	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₅	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₆	61,29	287,000	2828,6558	5,9620	1401,2052	1409	0,5532
d ₁₇			2828,6558		63,0000	63	*
d ₁₈			2828,6558		4215,8634	4216	-0,0032
d ₁₉			2828,6558		75,0000	75	*
d ₂₀			2828,6558		300,0000	300	*
d ₂₁			2828,6558		0,0000	0	*
d ₂₂			2828,6558		0,0000	0	*
d ₂₃			2828,6558		963,2052	971	-0,8028
d ₂₄	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	4358,0000	4358	*
d ₂₅	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	244,0000	244	*
d ₂₆	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	890,0000	890	*
d ₂₇	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	20,0000	20	*
d ₂₈	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	10,0000	10	*
d ₂₉	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	95,0000	95	*
d ₃₀	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₁	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	655,0000	655	*
d ₃₂	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₃	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	1628,0000	1628	*
d ₃₄	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₅	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	816,0000	816	*

¹ Στο σημείο d₁₁ δεν σημειώνεται η απόκλιση γιατί δεν τίθεται θέμα σύγκρισης μετά την τροποποίηση του διαγράμματος ροής.

d ₃₆	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₇	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃₈	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	4358,0000	4358	*
d ₃₉	19,12	359,300	3160,0901	7,0140	4215,8634	4216	-0,0032
d ₄₀	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₁	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₂	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	4376,4150	4449	-1,6315

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος

Οι παροχές πολλών σημείων του αφυπέρθερου ατμού λαμβάνονται ως δεδομένες από τα διαγράμματα ροής και για το λόγο αυτό δεν αναφέρονται οι αποκλίσεις τους.

Με μια γρήγορη ματιά στον ανωτέρω πίνακα παρατηρούμε σημαντική απόκλιση στην παροχή μάζας του σημείου d₁₀ αφού d₁₀=d_{e2}-d₈.

Απόκλιση παρατηρούμε επίσης και στην παροχή μάζας $\dot{m}_{d7} = \dot{m}_{d42}$. Η παροχή αυτή υπολογίζεται σε ισολογισμό στον προθερμαντήρα αέρα, δηλαδή από την Εξ. (3.1.2.2) :

$$\dot{m}_A \cdot c_{pa} \cdot (T_{a0} - T_{ai}) = \dot{m}_{d42} (h_{d42} - h_{d7})$$

Οι διαφορές πιστεύεται ότι οφείλονται κυρίως στη διαφορετική παροχή αέρα καύσης \dot{m}_A που αντιστοιχεί στο διάγραμμα ροής και σε αυτή που υπολογίστηκε. Άλλη αιτία μπορεί να είναι η θεώρηση μιας τιμής του c_{pa} από το πρόγραμμα που είναι ίση με $c_{pa} = 1,005 \text{ kJ/kgK}$, ενώ δεν γνωρίζουμε ποια είναι η σχετική τιμή για το διάγραμμα ροής. Τέλος το γεγονός ότι θεωρούμε σταθερές και δεδομένες από το εγχειρίδιο τιμές για τις ιδιότητες των σημείων d₄₂ και d₇ (βλ. Παράγραφο 4.2.6.2) ίσως να ήταν μία από τις αιτίες η οποία πιθανώς να οδηγήσει και αργότερα σε προβλήματα. Παρόλα αυτά δεν έχει βρεθεί ακόμη κάποιος καλύτερος τρόπος προσδιορισμού των ιδιοτήτων αυτών εκτός από τη θεώρηση αντιπροσωπευτικών τιμών, και μετά από δοκιμές καταλήξαμε ότι οι πιο αντιπροσωπευτικές τιμές και αυτές που έχουν μεγαλύτερη συγγένεια με τα μεγέθη του διαγράμματος ροής, είναι αυτές που σημειώνονται στο εγχειρίδιο.

Οι αποκλίσεις των παροχών μάζας των ροών εξόδου των στροβίλων της αντλίας και της γεννήτριας d₁ και d₁₂ οφείλονται στις ανάλογες αποκλίσεις των ροών υπέρθερου ατμού 5 και 6 αντίστοιχα, των οποίων οι λόγοι αναλύθηκαν προηγουμένως.

Ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού (Αρχείο 'cond1.dat')

Πίνακας 5.1.2.3 Ιδιότητες των ροών κορεσμένου και υπόψυκτου νερού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και αποκλίσεις παροχών μάζας από τις αντίστοιχες των διαγραμμάτων ροής.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ ₁	0,05	33,100	138,7036	0,4793	84209,0236	83926	0,3372
σ ₂	3,43	32,500	136,5019	0,4710	84209,0236	83926	0,3372
σ ₃	3,43	43,008	180,3472	0,6122	84209,0236	83926	0,3372

σ_4	1,00	90,000	376,9915	1,1926	391,0000	391	*
σ_5	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_6	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_7	0,05	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_8	1,00	90,000	376,9915	1,1926	1450,3538	1450	0,0244
σ_9	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{10}	3,43	45,911	192,4850	0,6504	84209,0236	83926	0,3372
σ_{11}	1,00	53,550	224,2507	0,7494	12102,6895	12130	-0,2251
σ_{12}	3,43	45,911	192,4850	0,6504	84209,0236	83926	0,3372
σ_{13}	1,00		235,0292	0,7824	15345,2485	15380	-0,2260
σ_{14}	3,43	103,200	432,7788	1,3428	84209,0236	83926	0,3372
σ_{15}	3,43		402,3547		99554,2721	99370	0,1854
σ_{16}	3,43	138,150	581,2630	1,7201	111080,9193	111281	-0,1798
σ_{17}	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{18}	75,51	140,400	595,5902	1,7360	111080,9193	111281	-0,1798
σ_{19}	75,51	140,400	595,5902	1,7360	111080,9193	111281	-0,1798
σ_{20}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	244,0000	244	*
σ_{21}	8,83	120,000	504,2653	1,5272	890,0000	890	*
σ_{22}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	20,0000	20	*
σ_{23}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	10,0000	10	*
σ_{24}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	95,0000	95	*
σ_{25}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{26}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	655,0000	655	*
σ_{27}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{28}			619,2863		1914,0000	1914	*
σ_{29}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	1628,0000	1628	*
σ_{30}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{31}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	816,0000	816	*
σ_{32}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{33}			719,2558		2444,0000	2444	*
σ_{34}					2444,0000	2444	*
σ_{35}					1914,0000	1914	*
σ_{36}	1,00	80,000	334,9905	1,0754	4358,0000	4358	*
σ_{37}	8,83	80,124	336,1395	1,0763	4358,0000	4358	*
σ_{38}	3,43	56,173	235,3986	0,7827	15345,2485	15380	-0,2260
σ_{39}	1,00	30,000	125,8325	0,4368	1326,2052	1334	-0,5843
σ_{40}	11,28	100,000	419,8701	1,3062	75,0000	75	*
σ_{41}	19,12	140,000	590,2061	1,7377	4215,8634	4216	-0,0032

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Όσον αφορά στις παροχές μάζας των ροών του κορεσμένου και υπόψυκτου νερού, όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις. Παρ' όλα αυτά και

εδώ ξεχωρίζουμε τα σημεία με τις μεγαλύτερες αποκλίσεις για σχολιασμό, όπως το σημείο σ_{39} :

Πρόκειται για το ρεύμα του νερού αναπλήρωσης των απωλειών. Η παροχή αυτή αποτελεί το άθροισμα των παροχών των ρευμάτων \dot{m}_{d17} , \dot{m}_{d23} και \dot{m}_{d20} . Όπως είναι λογικό, οι αποκλίσεις των παροχών των εν λόγω ρευμάτων επηρέασαν και την τιμή της $\dot{m}_{\sigma_{39}}$.

Ακολουθεί η ροή του συμπυκνώματος που εξέρχεται από το κύριο ψυγείο, σ_1 . Ως γνωστόν, (βλ. Εξ. (3.1.2.74)) η παροχή της επηρεάζεται από τις \dot{m}_c , $\dot{m}_{d3} = \dot{m}_{d1}$ και \dot{m}_{d6} και, δεδομένου ότι η \dot{m}_{d6} θεωρείται σταθερή και ίση με την αντίστοιχη του διαγράμματος ροής, η παροχή \dot{m}_{σ_1} επηρεάζεται μόνο από τις \dot{m}_c και \dot{m}_{d1} . Η όποια απόκλιση της τιμής της από την αντίστοιχη του διαγράμματος ροής οφείλεται σε αποκλίσεις των εν λόγω παροχών μάζας, των οποίων οι αιτίες εξηγήθηκαν προηγουμένως.

Απόκλιση παρατηρούμε και στην παροχή μάζας του ρεύματος σ_{11} . Ως γνωστόν, η παροχή μάζας του ρεύματος αυτού προκύπτει από ισολογισμό μάζας στον προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης (βλ. Εξ. (4.1.12)), δηλαδή επηρεάζεται από τις παροχές των ρευμάτων d_7 , e_3 και d_6 . Αποκλίσεις στα ρεύματα αυτά μεταβιβάζονται στην τιμή της $\dot{m}_{\sigma_{11}}$.

Ο Πίνακας 5.1.2.4 περιέχει τις θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα για ροές του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού αλλά και τις αποκλίσεις τους από τις δεδομένες του διαγράμματος ροής.

Πίνακας 5.1.2.4 Θερμοκρασίες και αποκλίσεις τους από τις δεδομένες των διαγραμμάτων ροής για ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου.

Σημείο	Θερμοκρασία [°C]	Θερμοκρασία από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_3	43,008	42,8	0,4859
σ_{10}	45,911	45,5	0,9033
σ_{12}	45,911	45,5	0,9033
σ_{38}	56,173	53,3	5,3902

Παρατηρείται ότι, γενικά, οι τιμές των θερμοκρασιών δεν συγκλίνουν πολύ (τουλάχιστον όχι τόσο όσο οι τιμές των παροχών μάζας). Η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στη θερμοκρασία του σημείου σ_{38} . Η θερμοκρασία του σημείου αυτού προκύπτει με θεώρηση ισημερινού βαθμού απόδοσης στην αντλία P_2 , $\eta_{p2}=0,7$ και με τη βοήθεια της εξίσωσης Εξ. (4.2.6.14). Πιθανότατα θα έπρεπε να είχαμε επιλέξει έναν διαφορετικό βαθμό απόδοσης. Αυξάνοντας όμως το βαθμό απόδοσης το πολύ να πέσει η θερμοκρασία κατά έναν βαθμό Κελσίου αλλά σε καμία περίπτωση δεν πλησιάζει τη δεδομένη από το διάγραμμα ροής. Για την απόκλιση αυτή πιθανότατα να ευθύνεται η απόκλιση της ενθαλπίας του σημείου σ_{13} η οποία με τη σειρά της προκύπτει με ισολογισμό στη δεξαμενή διαρροών λαβυρίνθων και άρα επηρεάζεται από διάφορα μεγέθη.

Διαφορές σε σχέση με το διάγραμμα ροής αλλά σε μικρότερη κλίμακα, παρατηρούνται και στις θερμοκρασίες των σημείων σ_{10} και σ_{12} , δηλαδή στο ρεύμα που εξέρχεται από το ψυγείο διαρροών λαβυρίθων. Η θερμοκρασία του ρεύματος αυτού υπολογίζεται με ισολογισμό ενέργειας στο ψυγείο διαρροών λαβυρίθων, συνεπώς τα αίτια της απόκλισης είναι ανάλογα με αυτά για την απόκλιση της θερμοκρασίας του ρεύματος σ_{38} .

Γενικά δεν θεωρείται σημαντικό να υπάρχει απόλυτη σύγκλιση των θερμοκρασιών, γιατί η επίδραση τους στη γενική λειτουργία της εγκατάστασης είναι μικρότερη από αυτή των παροχών μάζας. Άλλωστε και τα στοιχεία του διαγράμματος ροής είναι μόνο ενδεικτικά.

Ροές ατμού απομάστευσης (Αρχείο 'bleed1.dat')

Πίνακας 5.1.2.5 Ιδιότητες των ροών ατμού απομάστευσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και αποκλίσεις παροχών μάζας από τις αντίστοιχες των διαγραμμάτων ροής.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
e ₁	19,12	359,300	3160,0901	7,0140	4215,8634	4216	-0,0032
e ₂	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	8550,2191	9103	-6,0725
e ₃	1,50	120,900	2713,2105	7,2744	7776,2745	7731	0,5856

Όσον αφορά στις ροές απομάστευσης, παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη απόκλιση παροχής σημειώνεται στη ροή e₂, πράγμα που είναι λογικό αφού, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αλλάζοντας τη διάταξη (βλ. παραπάνω) άλλαξαν και οι ανάγκες των καταναλωτών που εξυπηρετούνται από αυτή τη ροή.

Απόκλιση παρατηρείται και στη ροή e₃. Η παροχή μάζας της εν λόγω απομάστευσης υπολογίζεται με ισολογισμό ενέργειας στον Προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης, δηλαδή με χρήση της Εξ. (4.2.6.10). Σύμφωνα με την εξίσωση αυτή, ο προθερμαντήρας έχει άδηλες απώλειες που εκφράζονται με το ποσοστό, $\pi_{LP} = \dot{Q}_{LP} / \dot{m}_{e3} \cdot h_{e3}$. Όπως έχει αναφερθεί και στην Παράγραφο 3.5.1.1, το ποσοστό αυτό προκύπτει ως μέσος όρος των μετρήσεων στις Ενότητες 3.1 έως 3.3, δηλαδή των μετρήσεων που βασίζονται στα δεδομένα διαγράμματα ροής για παραγωγή μέγιστης ισχύος. Αποκλίσεις στα άλλα μεγέθη που λαμβάνουν μέρος στην εξίσωση επίσης ενδέχεται να παίζουν ρόλο.

Ροές ατμού διαρρών λαβυρίνθων (Αρχείο 'gland1.dat')

Πίνακας 5.1.2.6 Ιδιότητες των ρών ατμού διαρρών λαβυρίνθων όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου.

Σημείο	Ενθαλπία [kJ/kg]	Παροχή μάζας \dot{m}
g_{HP}	3237,2179	142
g_{LP}	2683,0122	143
g_1	2959,1427	285
g_2	2922,6921	50
g_3	3307,2263	16
g_4	3177,7051	40
g_5	2991,0847	391

Σημειώνουμε ότι οι παροχές μάζας των παροχών διαρρών λαβυρίνθων έχουν θεωρηθεί δεδομένες, συνεπώς δεν τίθεται θέμα σύγκρισης με τα δεδομένα του διαγράμματος ροής.

5.2 Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρώσης με καύση Πετρελαίου

5.2.1 Δεδομένα

Σημειώνονται τα δεδομένα - απαιτήσεις του χρήστη όπως αυτά έχουν δοθεί στο πρόγραμμα μέσω του αρχείου 'userparam1.dat'.

Ισχύς πρώσης:	$\dot{W}_T = 27066,356 \text{ kW}$
Ηλεκτρική ισχύς:	$\dot{W}_G = 1600,000 \text{ kW}$
Παραγωγή γλυκού νερού:	$\dot{m}_{\text{dist}} = 0,69444 \text{ kg/s}$
Κατώτερη θερμογόνοος ικανότητα των καυσίμων:	$H_{u,\text{FO}} = 43040,30400 \text{ kJ/kg}$ $H_{u,\text{BOG}} = 55558,83600 \text{ kJ/kg}$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση πετρελαίου:	$\pi_{\text{FO}} = 100,000\%$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση φυσικού αερίου:	$\pi_{\text{BOG}} = 0,000\%$

5.2.2 Αποτελέσματα

Αποτελέσματα (Αρχείο 'results.dat')

Αριθμός επαναλήψεων του κύκλου δοκιμών:	14
<i>Ισχύες</i>	
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Υψηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T1} = 13274,8917 \text{ kW}$
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T2} = 13791,4641 \text{ kW}$
Συνολική ισχύς:	$\dot{W}_T = 27066,3558 \text{ kW}$
<i>Λέβητες</i>	
Παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα:	$\dot{m}_{A1} = 59207,6219 \text{ kg/h}$
Συνολική παροχή αέρα καύσης:	$\dot{m}_A = 118415,2439 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου πετρελαίου:	$\dot{m}_{\text{FO}} = 7894,9725 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου φυσικού αερίου:	$\dot{m}_{\text{BOG}} = 0,0000 \text{ kg/h}$
Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο:	$\dot{H}_f = 94389,4487 \text{ kW}$
<i>Βαθμοί απόδοσης</i>	
Βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα:	$\eta_B = 88,5595\%$
Βαθμός απόδοσης μηχανικής ισχύος:	$\eta_{\text{SP}} = 28,6752\%$
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{\text{SG}} = 1,6951\%$
Ηλεκτρομηχανικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{\text{SPG}} = 30,3703\%$
Θερμικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_\theta = 0,1798\%$
Βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης:	$\eta_{\text{plant}} = 30,5501\%$

Τιμές του διαγράμματος ροής – Συμπεράσματα

Ισχύς πρόωσης

Η τιμή της συνολικής ισχύος που σημειώνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα ροής είναι ίση με, $\dot{W}_{T, \text{διαγ.ροής}} = 27066,3558 \text{ kW}$ και συνεπώς η απόκλιση είναι μηδενική.

Παροχή μάζας καυσίμου (πετρελαίου)

Όσον αφορά στην παροχή μάζας καυσίμου, περιμένουμε απόκλιση της υπολογισθείσας από τη δεδομένη του διαγράμματος ροής καθώς δεν είναι γνωστή η σύνθεση του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις του διαγράμματος ροής, και αν αυτή είναι διαφορετική από αυτή που θεωρήσαμε για τους υπολογισμούς του προγράμματος. Στο πρόγραμμα έχουμε θεωρήσει μία τυπική σύνθεση καυσίμου πετρελαίου που προέκυψε από μετρήσεις πάνω στο πλοίο.

Στο διάγραμμα ροής βλέπουμε ότι η παροχή μάζας καυσίμου πετρελαίου που ικανοποιεί τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου είναι ίση με $\dot{m}_{FO, \text{διαγ.ροής}} = 7894 \text{ kg/h}$, δηλαδή ελάχιστα μικρότερη από αυτή που προσδιορίστηκε από το πρόγραμμα με $\text{dev}_{FO} = 0,01232\%$.

Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο

Από πράξεις πάνω στα δεδομένα του διαγράμματος ροής προκύπτει ότι, $\dot{H}_{f, \text{διαγ.ροής}} = 94396,1657 \text{ kW}$ και $\text{dev}_{Hf} = 0,01232\%$.

Από τα αποτελέσματα του προγράμματος επίσης παρατηρούμε ότι για την ικανοποίηση των ίδιων ενεργειακών αναγκών, η ισχύς που ζητείται από το καύσιμο όταν καίγεται φυσικό αέριο διαφέρει κατά 8,0822% από την αντίστοιχη απαιτούμενη για καύση πετρελαίου. Παρατηρούμε ότι σύμφωνα με το διάγραμμα, στην κατάσταση καύσης με πετρέλαιο ζητείται ηλεκτρική ισχύς της τάξεως των 1600 kW ενώ για καύση με φυσικό αέριο απαιτείται ηλεκτρική ισχύς 1840 kW. Ακόμα και αυτό, όμως, δεν επαρκεί για τη δικαιολόγηση μιας τόσο μεγάλης διαφοράς.

Πράγματι, αν κρατώντας ίδιες τις υπόλοιπες απαιτήσεις, θέσουμε στο αρχείο 'userparam.dat' ζητούμενη ηλεκτρική ισχύ ίση με $\dot{W}_G = 1840,0 \text{ kW}$ προκύπτει ότι η απαραίτητη ενέργεια του καυσίμου πετρελαίου θα είναι ίση με $\dot{H}_{f_} = 95274,5408 \text{ kW}$ και επομένως η αντίστοιχη ενέργεια του φυσικού αερίου θα είναι κατά 7,0833% μεγαλύτερη.

Η αιτία βρίσκεται στο ότι ο λέβητας όντας κατασκευασμένος για λειτουργία με καύση πετρελαίου έχει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης όταν καίει πετρέλαιο παρά όταν καίει φυσικό αέριο. Παρόλα αυτά, το εξαμιζόμενο φυσικό αέριο είναι πιο φτηνό καύσιμο καθώς είναι διαθέσιμο από το ίδιο το φορτίο και είναι προτιμότερο να καίγεται αυτό παρά το πετρέλαιο. Σε περιπτώσεις όμως, που ο ναυλωτής πρέπει να παραδώσει το μέγιστο δυνατό φορτίο στον προορισμό του τότε που καίγεται μόνο το αέριο που προέρχεται από φυσική εξάτμιση και η ενέργεια συμπληρώνεται με καύση πετρελαίου.

Παροχή αέρα καύσης

Σύμφωνα με την Εξ. (5.1.1.2.1) για την παροχή καυσίμου που υπολογίστηκε από το πρόγραμμα και για $\lambda_a = 1,1$ η παροχή μάζας αέρα καύσης που υπολογίζει το σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης είναι ίση με, $\dot{m}_{A, \text{εγχειριδίου}} = 121582,5765 \text{ kg/h}$ και ότι $\text{dev}_A = -2,6051\%$. Όπως αναφέρθηκε και την Παράγραφο 5.1.1.2, η απόκλιση αυτή οφείλεται στο

γεγονός ότι στο πρόγραμμα αντί για έναν γενικότερο στατιστικό συντελεστή, χρησιμοποιούμε τη σύνθεση του δεδομένου καυσίμου και με βάση αυτή υπολογίζουμε την παροχή αέρα καύσης. Αυτό μπορεί να μας δώσει την κατάλληλη τιμή της παροχής αέρα.

Από τους υπολογισμούς του προγράμματος βλέπουμε ότι η απαιτούμενη παροχή αέρα καύσης στο λέβητα για καύση φυσικού αερίου είναι μεγαλύτερη κατά 4,8611% .

Βαθμός απόδοσης λέβητα

Στο διάγραμμα ροής σημειώνεται ότι $\eta_{B \text{ διαγ.ροής}}=88,5\%$ συνεπώς έχουμε απόκλιση από τον αντίστοιχο που προέκυψε ως αποτέλεσμα της υπολογιστικής διαδικασίας, ίση με $\text{dev}_{\eta_B}=0,06723\%$. Η απόκλιση είναι μικρή και, όπως αναφέρθηκε στην Παράγραφο 5.1.1.2, οφείλεται στη διαφορετική τιμή της ατμοπαραγωγής μεταξύ των αποτελεσμάτων του προγράμματος και της τιμής του διαγράμματος ροής, αλλά και σε πιθανά σφάλματα στη μέτρηση των στοιχείων του διαγράμματος και στην επεξεργασία των τιμών του από το Matlab.

Φυσικά, παρατηρείται ότι ο βαθμός απόδοσης του λέβητα είναι μεγαλύτερος για καύση πετρελαίου από τον αντίστοιχο για καύση φυσικού αερίου.

Βαθμός απόδοσης εγκατάστασης

Στο διάγραμμα ροής παρατηρούμε τέλος ότι $\eta_{\text{plant}}=31,7\%$ και συνεπώς έχουμε απόκλιση της τάξεως του $\text{dev}_{\eta_{\text{plant}}}=-3,6274\%$. Όπως προείπαμε, η απόκλιση αυτή εκτός των λοιπών διαφορών, οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στον διαφορετικό ορισμό του βαθμού απόδοσης.

Ροές υπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'sup1.dat')

Πίνακας 5.2.2.1 Ιδιότητες των ροών υπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας ḡ	Παροχή μάζας ḡ από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
B	61,29	515,000	3457,1388	6,9168	106841,1018	106875	-0,0317
0	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	95767,1135	95806	-0,0406
1	53,84	510,000	3446,9017	6,9610	95767,1135	95806	-0,0406
2	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	93992,9295	94032	-0,0416
3	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	85425,8805	84980	0,5247
4	0,05	307,151	2296,6090	0,4916	77647,3276	77248	0,5169
5	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	6465,9535	6500	-0,5238
6	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	4608,0348	4570	0,8323
c	0,05	307,151	2304,1522	0,4916	77504,3276	77105	0,5179

Οι αποκλίσεις των τιμών των παροχών μάζας είναι, γενικά, ικανοποιητικές. Η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στο σημείο 6, δηλαδή στην παροχή ατμού προς τον στρόβιλο της τροφοδοτικής αντλίας.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, δεδομένου ότι η συγκεκριμένη παροχή υπολογίζεται από τα Διαγράμματα 3.5.6.1 και 3.5.6.2 που ισχύουν για δεδομένες συνθήκες

εισόδου, το σφάλμα πιθανώς οφείλεται στις διαφορετικές συνθήκες εισόδου ή και σε αναπόφευκτα σφάλματα της ακρίβειας στη μέτρηση των σημείων των γραφημάτων και στη διαδικασία εξαγωγής των εξισώσεων που τα περιγράφουν.

Απόκλιση παρατηρείται και στην παροχή μάζας \dot{m}_5 που οφείλεται στους υπολογισμούς για τον στρόβιλο της γεννήτριας και σε σφάλματα στη δημιουργία των απαραίτητων διαγραμμάτων και εξισώσεων (βλ. 5.1.1.2). Ωστόσο εδώ παρατηρούμε μικρότερη απόκλιση απ' ότι στην προηγούμενη παράγραφο πράγμα που μπορεί να οφείλεται στη μικρότερη ηλεκτρική ισχύ που έχει τεθεί σαν απαίτηση (1600 kW αντί για 1840 kW) και άρα στο μικρότερο φορτίο που παράγει ο στρόβιλος της γεννήτριας.

Τέλος, όπως και στην Παράγραφο 5.1.1.2, αποκλίσεις παρατηρούνται και στις παροχές μάζας των σημείων 3, 4 οι οποίες επηρεάζονται από την παροχή της απομάστευσης e_2 που με τη σειρά της έχει υποστεί μεταβολή λόγω της τροποποίησης του διαγράμματος ροής.

Οι υπόλοιπες τιμές των αποκλίσεων κρίνονται ως αμελητέες.

Ροές αφυπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'des1.dat')

Πίνακας 5.2.2.2 Ιδιότητες των ροών αφυπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
d ₁	0,05	0,000	2460,5553	0,0000	6425,9535	6460	-0,5270
d ₂	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃	0,00	0,000	0,0000	0,0000	6425,9535	0	*
d ₄	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₅	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₆	0,05		2707,2385		50,0000	50	*
d ₇	3,56	138,900	584,4836	1,7279	4173,5371	4195	-0,5116
d ₈	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	1450,2301	1450	0,0159
d ₉	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₀	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	6974,8189	7460	-6,5038
d ₁₁	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	2801,2818	7819	- ¹
d ₁₂	3,43		3098,7679		4592,0348	4554	0,8352
d ₁₃	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₄	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₅	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₆	61,29	288,000	2832,8558	5,9695	1715,4770	1730	-0,8395
d ₁₇			2832,8558		125,0000	125	*

¹ Στο σημείο d₁₁ δεν σημειώνεται η απόκλιση γιατί δεν τίθεται θέμα σύγκρισης μετά την τροποποίηση του διαγράμματος ροής.

d ₁₈			2832,8558		1774,1839	1774	0,0104
d ₁₉			2832,8558		75,0000	75	*
d ₂₀			2832,8558		574,1610	576	-0,3193
d ₂₁			2832,8558		0,0000	0	*
d ₂₂			2832,8558		0,0000	0	*
d ₂₃			2832,8558		941,3161	954	-1,3295
d ₂₄	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	1834,0000	1834	*
d ₂₅	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	244,0000	244	*
d ₂₆	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	890,0000	890	*
d ₂₇	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	595,0000	595	*
d ₂₈	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	10,0000	10	*
d ₂₉	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	95,0000	95	*
d ₃₀	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₁	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₂	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₃	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₄	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₅	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₆	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₇	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃₈	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	1834,0000	1834	*
d ₃₉	19,12	359,300	3160,0901	7,0140	1774,1839	1774	0,0104
d ₄₀	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₁	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₂	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	4173,5371	4195	-0,5116

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Όπως και στην παράγραφο 5.1.2, παρατηρούμε σημαντική απόκλιση στην παροχή μάζας του σημείου d₁₀ αφού d₁₀=d_{e2}-d₈.

Η αμέσως μικρότερη διαφορά τιμών παρατηρείται στην παροχή μάζας απωλειών \dot{m}_{d23} . Η παροχή αυτή, σύμφωνα με την Παράγραφο 3.5.5.3, υπολογίζεται με βάση συντελεστή επί της ατμοπαραγωγής, ο οποίος εξαρτάται από την παραγωγή ισχύος και στηρίζεται σε υπολογισμούς πάνω στα διαγράμματα ροής. Είναι φυσικό, λοιπόν, αυτή η διαδικασία υπολογισμού των απωλειών να προκαλεί αποκλίσεις.

Απόκλιση παρατηρούμε επίσης στην παροχή μάζας $\dot{m}_{d7} = \dot{m}_{d42}$. Η παροχή αυτή υπολογίζεται με ισολογισμό στον προθερμαντήρα αέρα, δηλαδή από την Εξ. (3.1.2.2). Συνεπώς οι διαφορές με το διάγραμμα ροής οφείλονται κυρίως στη διαφορετική παροχή αέρα καύσης \dot{m}_A που αντιστοιχεί στο διάγραμμα ροής και σε αυτή που υπολογίστηκε. Μπορεί επίσης να οφείλεται στην θεώρηση προσεγγιστικών τιμών για το c_{pa} του αέρα και για τις ιδιότητες των σημείων d₄₂ και d₇.

Διαφορές βλέπουμε και στην παροχή μάζας του ρεύματος d₂₀. Δεδομένου ότι η παροχή αυτή υπολογίζεται με βάση τα διαγράμματα της Παραγράφου 3.5.5.1, τυχόν σφάλματα στη μέτρηση των σημείων και στην εξαγωγή των εξισώσεων με το Matlab πιθανώς οδήγησαν σε αυτή την απόκλιση.

Οι αποκλίσεις των παροχών μάζας των ροών εξόδου των στροβίλων της αντλίας και της γεννήτριας d_1 και d_{12} οφείλονται στις ανάλογες αποκλίσεις των ροών υπέρθερμου ατμού 5 και 6, αντίστοιχα, των οποίων οι λόγοι αναλύθηκαν προηγουμένως (βλ. και Παράγραφο 5.1.1.2).

Ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού (Αρχείο 'cond1.dat')

Πίνακας 5.2.2.3 Ιδιότητες των ροών κορεσμένου και υπόψυκτου νερού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας ḡ	Παροχή μάζας ḡ από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_1	0,05	33,100	138,7036	0,4793	83980,2811	83615	0,4369
σ_2	3,43	32,500	136,5019	0,4710	83980,2811	83615	0,4369
σ_3	3,43	43,035	180,4629	0,6126	83980,2811	83615	0,4369
σ_4	1,00	90,000	376,9915	1,1926	391,0000	391	*
σ_5	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_6	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_7	0,05	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_8	1,00	90,000	376,9915	1,1926	1450,2301	1450	0,0159
σ_9	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{10}	3,43	45,947	192,6352	0,6509	83980,2811	83615	0,4369
σ_{11}	1,00	53,550	224,2507	0,7494	11902,0900	11877	0,2112
σ_{12}	3,43	45,947	192,6352	0,6509	83980,2811	83615	0,4369
σ_{13}	1,00		232,9480	0,7760	15458,7972	15448	0,0699
σ_{14}	3,43	103,200	432,7788	1,3428	83980,2811	83615	0,4369
σ_{15}	3,43		401,7708		99439,0783	99063	0,3796
σ_{16}	3,43	138,150	581,2630	1,7201	108556,5788	108607	-0,0464
σ_{17}	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{18}	75,51	140,400	595,5902	1,7360	108556,5788	108607	-0,0464
σ_{19}	75,51	140,400	595,5902	1,7360	108556,5788	108607	-0,0464
σ_{20}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	244,0000	244	*
σ_{21}	8,83	120,000	504,2653	1,5272	890,0000	890	*
σ_{22}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	595,0000	595	*
σ_{23}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	10,0000	10	*
σ_{24}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	95,0000	95	*
σ_{25}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{26}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{27}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{28}			614,9256		1834,0000	1834	*
σ_{29}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{30}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*

σ_{31}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{32}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{33}	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{34}	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{35}					1834,0000	1834	*
σ_{36}	1,00	80,000	334,9905	1,0754	1834,0000	1834	*
σ_{37}	8,83	80,124	336,1395	1,0763	1834,0000	1834	*
σ_{38}	3,43	55,676	233,3186	0,7764	15458,7972	15448	0,0699
σ_{39}	1,00	30,000	125,8325	0,4368	1640,4770	1655	-0,8775
σ_{40}	11,28	100,000	419,8701	1,3062	75,0000	75	*
σ_{41}	19,12	140,000	590,2061	1,7377	1774,1839	1774	0,0104

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Όσον αφορά στις παροχές μάζας των ροών του κορεσμένου και υπόψυκτου νερού, όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις.

Η μεγαλύτερη παρατηρείται επίσης και στην παροχή του ρεύματος σ_{39} , δηλαδή στην παροχή του νερού αναπλήρωσης των απωλειών. Η παροχή αυτή υπολογίζεται με βάση την Εξ. (4.2.5.2) και επηρεάζεται από τις τιμές των \dot{m}_{d17} , \dot{m}_{d23} και \dot{m}_{d20} , δηλαδή οι όποιες αποκλίσεις των τιμών αυτών προκαλούν αποκλίσεις και στην $\dot{m}_{\sigma39}$.

Διαφορές σε σχέση με το διάγραμμα ροής παρατηρούνται και στην παροχή της ροής σ_1 , δηλαδή στην παροχή του συμπυκνώματος που εξέρχεται από το κύριο ψυγείο. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως (βλ. 5.1.2), αυτή επηρεάζεται από τις \dot{m}_c και $\dot{m}_{d3} = \dot{m}_{d1}$. Η όποια απόκλιση της τιμής της από την αντίστοιχη του διαγράμματος ροής οφείλεται σε αποκλίσεις των εν λόγω παροχών μάζας.

Η παροχή μάζας του ρεύματος σ_{15} , η οποία προσδιορίζεται με αδιαβατική ανάμιξη των ρευμάτων σ_{14} και σ_{38} . Οποιαδήποτε απόκλιση στα μεγέθη αυτά ή και στον τρόπο υπολογισμού τους (π.χ. ισολογισμός στη δεξαμενή διαρροών λαβυρίθων για το ρεύμα σ_{38} και ισολογισμός στο κύριο ψυγείο για το σ_{14}) μπορεί να οδήγησε σε διαφορές της $\dot{m}_{\sigma15}$ σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του διαγράμματος ροής.

Ο Πίνακας 5.2.2.4 περιέχει τις θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα για τις ροές του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού αλλά και τις αποκλίσεις τους από τις δεδομένες τιμές του διαγράμματος ροής:

Πίνακας 5.2.2.4 Θερμοκρασίες και αποκλίσεις τους από τις δεδομένες των διαγραμμάτων ροής για ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Θερμοκρασία [°C]	Θερμοκρασία από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_3	43,035	42,9	0,3147
σ_{10}	45,947	45,6	0,7609
σ_{12}	45,947	45,6	0,7609
σ_{38}	55,676	52,9	5,2476

Στον Πίνακα 5.2.2.4, η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται στη θερμοκρασία του σημείου σ_{38} . Η θερμοκρασία αυτή προκύπτει με θεώρηση ισεντροπικού βαθμού απόδοσης στην αντλία P_2 , $\eta_{p2}=0,7$ και με τη βοήθεια της εξίσωσης Εξ. (4.2.6.14). Άλλος παράγοντας σφάλματος ίσως είναι η απόκλιση της ενθαλπίας του σημείου σ_{13} η οποία με τη σειρά της προκύπτει με ισολογισμό στη δεξαμενή διαρροών λαβυρίνθων και άρα επηρεάζεται από διάφορα μεγέθη.

Διαφορές σε σχέση με το διάγραμμα ροής αλλά σε μικρότερη κλίμακα, παρατηρούνται και στις θερμοκρασίες των σημείων σ_{10} και σ_{12} , δηλαδή στο ρεύμα που εξέρχεται από το ψυγείο διαρροών λαβυρίνθων. Όπως είπαμε και προηγουμένως, η θερμοκρασία του ρεύματος αυτού υπολογίζεται με ισολογισμό ενέργειας στο ψυγείο διαρροών λαβυρίνθων, συνεπώς τα αίτια της απόκλισης είναι ανάλογα με αυτά για την απόκλιση της θερμοκρασίας του ρεύματος σ_{38} .

Ροές ατμού απομάστευσης (Αρχείο 'bleed1.dat')

Πίνακας 5.2.2.5 Ιδιότητες των ροών ατμού απομάστευσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας ḡ	Παροχή μάζας ḡ από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
e_1	19,12	359,300	3160,0901	7,0140	1774,1839	1774	0,0104
e_2	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	8425,0490	8910	-5,4428
e_3	1,50	120,900	2713,2105	7,2744	7778,5529	7732	0,6021

Όσον αφορά στις ροές ατμού απομάστευσης, παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη απόκλιση παροχής σημειώνεται στην τιμή της ροής e_2 , εφόσον τροποποιώντας τη διάταξη άλλαξαν και οι ανάγκες των καταναλωτών που εξυπηρετούνται από αυτή τη ροή.

Απόκλιση, αλλά μικρότερης κλίμακας παρατηρείται και στη ροή e_3 . Η παροχή μάζας της εν λόγω απομάστευσης υπολογίζεται με ισολογισμό ενέργειας στον προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης, δηλαδή με χρήση της Εξ. (4.2.6.10). Πιθανώς να εισάγεται σφάλμα από τον τρόπο προσδιορισμού των άδηλων απωλειών του εναλλάκτη αυτού. Αποκλίσεις στα άλλα μεγέθη που λαμβάνουν μέρος στην εξίσωση επίσης ενδέχεται να παίζουν ρόλο.

Ροές ατμού διαρρών λαβυρίθων (Αρχείο 'gland1.dat')

Πίνακας 5.2.2.6 Ιδιότητες των ρών ατμού διαρρών λαβυρίθων όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου

Σημείο	Ενθαλπία [kJ/kg]	Παροχή μάζας ḡ
g _{HP}	3237,2179	142
g _{LP}	2683,2857	143
g ₁	2959,2800	285
g ₂	2922,6921	50
g ₃	3307,6481	16
g ₄	3179,6557	40
g ₅	2991,4015	391

5.3 Κατάσταση Λειτουργίας στο 100% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Φυσικού Αερίου και Πετρελαίου

5.3.1 Δεδομένα

Εδώ σημειώνονται τα δεδομένα και πιο συγκεκριμένα οι απαιτήσεις του χρήστη από την υπολογιστική διαδικασία, όπως αυτά έχουν δοθεί στο πρόγραμμα μέσω του αρχείου 'userparam1.dat'.

Σημειώνονται τα δεδομένα - απαιτήσεις του χρήστη όπως αυτά έχουν δοθεί στο πρόγραμμα μέσω του αρχείου 'userparam1.dat'.

Ισχύς πρόωσης:	$\dot{W}_T = 27066,356 \text{ kW}$
Ηλεκτρική ισχύς:	$\dot{W}_G = 1840,000 \text{ kW}$
Παραγωγή γλυκού νερού:	$\dot{m}_{\text{dist}} = 0,69444 \text{ kg/s}$
Κατώτερη θερμογόνοος ικανότητα των καυσίμων:	$H_{u,FO} = 43040,30400 \text{ kJ/kg}$ $H_{u,BOG} = 55558,83600 \text{ kJ/kg}$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση πετρελαίου:	$\pi_{FO} = 50,263\%$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση φυσικού αερίου:	$\pi_{BOG} = 49,737\%$

5.3.2 Αποτελέσματα

Αποτελέσματα (Αρχείο 'results.dat')

Αριθμός επαναλήψεων του κύκλου δοκιμών:	15
<i>Ισχύες</i>	
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Υψηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T1} = 13323,1234 \text{ kW}$
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T2} = 13743,2324 \text{ kW}$
Συνολική ισχύς:	$\dot{W}_T = 27066,3558 \text{ kW}$
<i>Λέβητες</i>	
Παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα:	$\dot{m}_{A1} = 60908,2048 \text{ kg/h}$
Συνολική παροχή αέρα καύσης:	$\dot{m}_A = 121816,4096 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου πετρελαίου:	$\dot{m}_{FO} = 4143,6482 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου φυσικού αερίου:	$\dot{m}_{BOG} = 3176,4078 \text{ kg/h}$
Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο:	$\dot{H}_f = 98561,4991 \text{ kW}$
<i>Βαθμοί απόδοσης</i>	
Βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα:	$\eta_B = 86,2898\%$

Βαθμός απόδοσης μηχανικής ισχύος:	$\eta_{SP} = 27,4614\%$
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{SG} = 1,8669\%$
Ηλεκτρομηχανικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{SPG} = 29,3282\%$
Θερμικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{\theta} = 0,5621\%$
Βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης:	$\eta_{plant} = 29,8903\%$

Τιμές του διαγράμματος ροής – Συμπεράσματα

Ισχύς πρόωσης

Η τιμή της συνολικής ισχύος που σημειώνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα ροής είναι ίση με, $\dot{W}_{T, \text{διαγ.ροής}} = 27066,3558 \text{ kW}$ και συνεπώς η απόκλιση είναι μηδενική.

Παροχή μάζας καυσίμου (πετρελαίου)

Όσον αφορά στην παροχή μάζας καυσίμου, περιμένουμε επίσης απόκλιση της υπολογισθείσας από τη δεδομένη του διαγράμματος ροής γιατί δεν είναι γνωστή η σύνθεση του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις του διαγράμματος ροής και το αν αυτή είναι διαφορετική από αυτή που θεωρήσαμε για τους υπολογισμούς του προγράμματος.

Στο διάγραμμα ροής βλέπουμε ότι η παροχή μάζας καυσίμου πετρελαίου που ικανοποιεί τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου είναι ίση με $\dot{m}_{FO, \text{διαγ.ροής}} = 4211 \text{ kg/h}$ και λίγο μικρότερη από αυτή που προσδιορίστηκε από το πρόγραμμα, δηλαδή έχουμε ότι $dev_{FO} = -1,5994\%$.

Παροχή μάζας καυσίμου (φυσικού αερίου)

Για τον ίδιο λόγο με προηγουμένως περιμένουμε απόκλιση της υπολογισθείσας τιμής της παροχής φυσικού αερίου από τη δεδομένη του διαγράμματος ροής.

Στο διάγραμμα ροής βλέπουμε ότι η παροχή μάζας καυσίμου φυσικού αερίου που ικανοποιεί τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου είναι ίση με $\dot{m}_{BOG, \text{διαγ.ροής}} = 3228 \text{ kg/h}$, δηλαδή λίγο μικρότερη από αυτή που προσδιορίστηκε από το πρόγραμμα, δηλαδή έχουμε ότι $dev_{BOG} = -1,5983\%$.

Οι αποκλίσεις των παροχών μάζας των καυσίμων μπορεί να οφείλονται και στην αυθαίρετη θεώρηση ότι το ποσοστό της ενέργειας που παρέχεται από το κάθε καύσιμο είναι ίσο με το ποσοστό ατμοπαραγωγής που οφείλεται στην καύση του.

Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο

Από πράξεις που βασίζονται στο διάγραμμα ροής έχουμε για τις ίδιες θερμογόνους ικανότητες ότι, $\dot{H}_{f, \text{διαγ.ροής}} = 100162,9563 \text{ kW}$ και $dev_{Hf} = -1,5989\%$.

Παροχή αέρα καύσης

Σύμφωνα με την Εξ. (5.1.2.1) για τις παροχές καυσίμου που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα και για $\lambda_a = 1,1$ προκύπτει ότι η παροχή μάζας αέρα καύσης που υπολογίζει το σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης είναι ίση με, $\dot{m}_{A, \text{εγχειριδίου}} = 124853,211 \text{ kg/h}$ και ότι

$dev_A = -2,4323\%$. Καταλήγουμε δηλαδή με μικρότερη παροχή αέρα καύσης για την ίδια παροχή καυσίμου. Προφανώς ο τρόπος υπολογισμού με βάση τη στοιχειομετρική σύνθεση του καυσίμου και όχι με βάση στατιστικών συντελεστών, οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα.

Βαθμός απόδοσης λέβητα

Στο διάγραμμα ροής σημειώνεται ότι $\eta_{B \text{ διαγ.ροής}} = 86,2\%$ συνεπώς έχουμε απόκλιση από τον αντίστοιχο που προέκυψε ως αποτέλεσμα της υπολογιστικής διαδικασίας, ίση με $dev_{\eta_B} = 0,10418\%$. Η απόκλιση είναι μικρή και οφείλεται στη διαφορετική τιμή της ατμοπαραγωγής μεταξύ των αποτελεσμάτων του προγράμματος και της τιμής του διαγράμματος ροής αλλά και σε πιθανά σφάλματα στη μέτρηση των στοιχείων του διαγράμματος και στην επεξεργασία των τιμών του από το Matlab.

Βαθμός απόδοσης εγκατάστασης

Στο διάγραμμα ροής βλέπουμε ότι $\eta_{\text{plant}} = 31,2\%$ και συνεπώς έχουμε απόκλιση της τάξεως του $dev_{\eta_{\text{plant}}} = -3,8897\%$. Όπως προείπαμε η απόκλιση αυτή, εκτός των λοιπών διαφορών, οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στον διαφορετικό ορισμό του βαθμού απόδοσης.

Ροές υπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'sup1.dat')

Πίνακας 5.3.2.1 Ιδιότητες των ροών υπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
B	61,29	515,000	3457,1388	6,9168	108476,2632	108669	-0,1774
0	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	96452,1092	96559	-0,1107
1	53,84	510,000	3446,9017	6,9610	96452,1092	96559	-0,1107
2	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	93927,2346	94034	-0,1135
3	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	85152,9183	84671	0,5692
4	0,05	307,151	2296,4456	0,4916	77320,1084	76893	0,5555
5	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	7381,9670	7500	-1,5738
6	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	4642,1870	4610	0,6982
c	0,05	307,151	2304,0208	0,4916	77177,1084	76750	0,5565

Οι αποκλίσεις των τιμών των παροχών μάζας είναι γενικά ικανοποιητικές. Η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στην παροχή μάζας \dot{m}_5 και οφείλεται στους υπολογισμούς για τον στρόβιλο της γεννήτριας και σε σφάλματα κατά τη διαδικασία δημιουργίας των απαραίτητων διαγραμμάτων και εξισώσεων (βλ. 5.1.1.2).

Η δεύτερη μεγαλύτερη απόκλιση σημειώνεται στο σημείο 6, δηλαδή στην παροχή ατμού προς τον στρόβιλο της τροφοδοτικής αντλίας. Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη παροχή υπολογίζεται από τα Διαγράμματα 3.5.6.1 και 3.5.6.2 που ισχύουν για δεδομένες

συνθήκες εισόδου, το σφάλμα πιθανώς οφείλεται στις διαφορετικές συνθήκες εισόδου ή και σε αναπόφευκτα λάθη στην ακρίβεια μέτρησης των σημείων των γραφημάτων και στη διαδικασία εξαγωγής των εξισώσεων που τα περιγράφουν.

Όπως και στην Παράγραφο 5.1.1.2 αποκλίσεις μικρότερης τάξεως παρατηρούνται και στις παροχές μάζας των σημείων 3 και 4, οι οποίες επηρεάζονται από την παροχή της απομάστευσης e_2 που με τη σειρά της έχει υποστεί μεταβολή λόγω της τροποποίησης του διαγράμματος ροής.

Ροές αφυπέρθευτου ατμού (Αρχείο 'des1.dat')

Πίνακας 5.3.2.2 Ιδιότητες των ροών αφυπέρθευτου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας ḡ	Παροχή μάζας ḡ από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
d ₁	0,05	0,000	2457,4527	0,0000	7341,9670	7460	-1,5822
d ₂	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃	0,00	0,000	0,0000	0,0000	7341,9670	7460	-1,5822
d ₄	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₅	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₆	0,05		2707,2385		50,0000	50	*
d ₇	3,56	138,900	584,4836	1,7279	4293,4110	4409	-2,6217
d ₈	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	1450,3538	1450	0,0244
d ₉	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₀	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	7181,9624	7771	-7,5799
d ₁₁	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	2888,5514	7956	⁻¹
d ₁₂	3,43		3097,9778		4626,1870	4594	0,7006
d ₁₃	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₄	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₅	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₆	61,29	287,000	2828,6558	5,9620	1982,5022	1983	-0,0251
d ₁₇			2828,6558		125,0000	125	*
d ₁₈			2828,6558		2524,8746	2525	-0,0049
d ₁₉			2828,6558		75,0000	75	*
d ₂₀			2828,6558		824,6918	816	1,06517
d ₂₁			2828,6558		0,0000	0	*
d ₂₂			2828,6558		0,0000	0	*
d ₂₃			2828,6558		957,8103	967	-0,9503
d ₂₄	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	2610,0000	2610	*
d ₂₅	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	244,0000	244	*

¹ Στο σημείο d₁₁ δεν σημειώνεται απόκλιση γιατί δεν τίθεται θέμα σύγκρισης μετά την τροποποίηση του διαγράμματος ροής.

d ₂₆	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	890,0000	890	*
d ₂₇	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	318,0000	318	*
d ₂₈	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	10,0000	10	*
d ₂₉	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	95,0000	95	*
d ₃₀	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₁	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	655,0000	655	*
d ₃₂	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₃	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₄	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₅	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	398,0000	398	*
d ₃₆	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₇	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃₈	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	2610,0000	2610	*
d ₃₉	19,12	359,300	3160,0901	7,0140	2524,8746	2525	-0,0049
d ₄₀	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₁	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₂	6,51	234,400	2922,6921	7,0787	4293,4110	4409	-2,6217

* Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Όπως και στην Παράγραφο 5.1.2, σημαντική απόκλιση παρατηρούμε στην τιμή της παροχής μάζας του σημείου d₁₀ για τους ίδιους λόγους που σημειώθηκαν και εκεί.

Ενδέχεται επίσης να οφείλεται στον τρόπο προσδιορισμού των άδηλων απωλειών του απαερωτή (βλ. Εξ. (4.1.14)).

Απόκλιση παρατηρούμε επίσης στην παροχή μάζας $\dot{m}_{d7} = \dot{m}_{d42}$. Η παροχή αυτή υπολογίζεται σε ισολογισμό στον προθερμαντήρα αέρα, δηλαδή από την Εξ. (3.1.2.2). Όπως προείπαμε, η απόκλιση οφείλεται κυρίως στη διαφορετική παροχή αέρα καύσης \dot{m}_A που αντιστοιχεί στο διάγραμμα ροής και σε αυτή που υπολογίστηκε. Μπορεί επίσης να οφείλεται στην θεώρηση προσεγγιστικών τιμών για το c_{pa} του αέρα και για τις ιδιότητες των σημείων d₄₂ και d₇.

Διαφορές τέλος παρατηρούνται και στην παροχή μάζας του ρεύματος d₂₀, d₁ και d₁₂ για λόγους οι οποίοι εξηγήθηκαν και προηγουμένως.

Ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού (Αρχείο 'cond1.dat')

Πίνακας 5.3.2.3 Ιδιότητες των ροών κορεσμένου και υπόψυκτου νερού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ ₁	0,050	33,100	138,7036	0,4793	84569,0754	84260	0,3668
σ ₂	3,430	32,500	136,5019	0,4710	84569,0754	84260	0,3668
σ ₃	3,430	42,963	180,1605	0,6116	84569,0754	84260	0,3668

σ_4	1,000	90,000	376,9915	1,1926	391,0000	391	*
σ_5	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_6	3,430	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_7	0,050	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_8	1,000	90,000	376,9915	1,1926	1450,3538	1450	0,0244
σ_9	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{10}	3,430	45,854	192,2469	0,6497	84569,0754	84260	0,3668
σ_{11}	1,000	53,550	224,2507	0,7494	12076,2209	12137	-0,5008
σ_{12}	3,430	45,854	192,2469	0,6497	84569,0754	84260	0,3668
σ_{13}	1,000		231,0550	0,7703	15900,0769	15961	-0,3817
σ_{14}	3,430	103,200	432,7788	1,3428	84569,0754	84260	0,3668
σ_{15}	3,430		400,9132		100469,1523	100221	0,2476
σ_{16}	3,430	138,150	581,2630	1,7201	110458,7654	110652	-0,1746
σ_{17}	3,430	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{18}	75,510	140,400	595,5902	1,7360	110458,7654	110652	-0,1746
σ_{19}	75,510	140,400	595,5902	1,7360	110458,7654	110652	-0,1746
σ_{20}	8,830	170,000	719,2558	2,0418	244,0000	244	*
σ_{21}	8,830	120,000	504,2653	1,5272	890,0000	890	*
σ_{22}	8,830	170,000	719,2558	2,0418	318,0000	318	*
σ_{23}	8,830	170,000	719,2558	2,0418	10,0000	10	*
σ_{24}	8,830	170,000	719,2558	2,0418	95,0000	95	*
σ_{25}	8,830	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{26}	8,830	170,000	719,2558	2,0418	655,0000	655	*
σ_{27}	8,830	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{28}			632,7542		2212,0000	2212	*
σ_{29}	8,830	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{30}	8,830	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{31}	8,830	170,000	719,2558	2,0418	398,0000	398	*
σ_{32}	8,830	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{33}			719,2558		398,0000	398	*
σ_{34}					398,0000	398	*
σ_{35}					2212,0000	2212	*
σ_{36}	1,000	80,000	334,9905	1,0754	2610,0000	2610	*
σ_{37}	8,830	80,124	336,1395	1,0763	2610,0000	2610	*
σ_{38}	3,430	55,224	231,4266	0,7707	15900,0769	15961	-0,3817
σ_{39}	1,000	30,000	125,8325	0,4368	1907,5022	1908	0,0261
σ_{40}	11,280	100,000	419,8701	1,3062	75,0000	75	*
σ_{41}	19,120	140,000	590,2061	1,7377	2524,8746	2525	-0,0050

* Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στην παροχή μάζας της ροής σ_{11} . Η παροχή μάζας του ρεύματος αυτού προκύπτει από ισολογισμό μάζας στον προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης (βλ. Εξ. (4.1.12)), δηλαδή επηρεάζεται από τις παροχές των ρευμάτων d_7 , e_3 και d_6 . Αποκλίσεις στα ρεύματα αυτά μεταβιβάζονται στην τιμή της $\dot{m}_{\sigma_{11}}$.

Η αμέσως μικρότερη απόκλιση είναι αυτή της παροχής του ρεύματος $\sigma_{38} \equiv \sigma_{13}$. Η τιμή της υπολογίζεται από ισολογισμό στη δεξαμενή διαρρών λαβυρίνθων. Στην απόκλιση μπορεί

να οδήγησε οποιαδήποτε διαφορά στις τιμές των μεγεθών που συμμετέχουν στον ισολογισμό. Τέλος, παρατηρείται κάποια απόκλιση στην παροχή μάζας της ροής σ_1 , δηλαδή στην παροχή του συμπυκνώματος που εξέρχεται από το κύριο ψυγείο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί (βλ. 5.1.2), η παροχή αυτή προκύπτει με ισολογισμό μάζας στο κύριο ψυγείο και επηρεάζεται από τις \dot{m}_c και $\dot{m}_{d3} = \dot{m}_{d1}$.

Στον Πίνακα 5.3.2.4 σημειώνονται οι θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα για ροές του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού αλλά και οι αποκλίσεις τους από τις δεδομένες του διαγράμματος ροής:

Πίνακας 5.3.2.4 Θερμοκρασίες και αποκλίσεις τους από τις δεδομένες των διαγραμμάτων ροής για ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού σε κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Θερμοκρασία [°C]	Θερμοκρασία από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_3	42,963	42,8	0,3808
σ_{10}	45,854	45,5	0,77802
σ_{12}	45,854	45,5	0,77802
σ_{38}	55,224	52,4	5,3893

Η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται και πάλι στην τιμή της θερμοκρασίας του σημείου σ_{38} , εφόσον προκύπτει με την αυθαίρετη θεώρηση βαθμού απόδοσης στην αντλία P_2 , $\eta_{p2}=0,7$ (βλ. Εξ. (4.2.6.14)). Άλλος παράγοντας σφάλματος ίσως είναι η απόκλιση της ενθαλπίας του σημείου σ_{13} η οποία με τη σειρά της προκύπτει με ισολογισμό στη δεξαμενή διαρροών λαβυρίνθων συνεπώς επηρεάζεται από διάφορα μεγέθη.

Διαφορές σε σχέση με την τιμή του διαγράμματος ροής παρατηρούνται και στη θερμοκρασία του σημείου $\sigma_{10} \equiv \sigma_{12}$. Η θερμοκρασία του ρεύματος αυτού υπολογίζεται με ισολογισμό ενέργειας στο ψυγείο διαρροών λαβυρίνθων, συνεπώς τα αίτια της απόκλισης είναι ανάλογα με αυτά για την απόκλιση της θερμοκρασίας του ρεύματος σ_{38} .

Ροές ατμού απομάστευσης (Αρχείο 'bleed1.dat')

Πίνακας 5.3.2.5 Ιδιότητες των ροών ατμού απομάστευσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
e_1	19,12	359,3	3160,09	7,014	2524,8746	2525	-0,00496
e_2	6,51	234,4	2922,692	7,0787	8634,1602	9221	-6,3642
e_3	1,5	120,9	2713,211	7,2744	7832,6689	7778	0,7028

Όσον αφορά στις ροές απομάστευσης, παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη απόκλιση παροχής σημειώνεται στη ροή e_2 , εφόσον τροποποιώντας τη διάταξη άλλαξαν και οι ανάγκες των καταναλωτών που εξυπηρετούνται από αυτή τη ροή.

Η αμέσως μικρότερη τιμή απόκλισης παρατηρείται και στη ροή e_3 . Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η παροχή μάζας της εν λόγω απομάστευσης υπολογίζεται με ισολογισμό ενέργειας στον προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης, δηλαδή με χρήση της Εξ. (4.2.6.10). Πιθανώς να εισάγεται σφάλμα από τον τρόπο προσδιορισμού των άδηλων απωλειών του εναλλάκτη αυτού. Αποκλίσεις στα άλλα μεγέθη που λαμβάνουν μέρος τον ισολογισμό ενδέχεται να παίζουν ρόλο.

Ροές ατμού διαρροών λαβυρίνθων (Αρχείο 'gland1.dat')

Πίνακας 5.3.2.6 Ιδιότητες των ροών ατμού διαρροών λαβυρίνθων όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 100% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Ενθαλπία [kJ/kg]	Παροχή μάζας \dot{m}
g_{HP}	3237,2179	142
g_{LP}	2683,1550	143
g_1	2959,2144	285
g_2	2922,6921	50
g_3	3307,3321	16
g_4	3177,7051	40
g_5	2991,1413	391

5.4 Κατάσταση Λειτουργίας στο 90% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Φυσικού Αερίου

Από την παράγραφο αυτή και μετά, παραθέτουμε όλες τις καταστάσεις του μερικού φορτίου για τις οποίες έχουμε στοιχεία από τα διαγράμματα ροής (βλ. Παράρτημα 1, Β). Οι υπολογισμοί στο μερικό φορτίο έγιναν θεωρώντας έναν προσεγγιστικό τρόπο προσδιορισμού των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης με τη χρήση διαγραμμάτων και προσεγγίσεων (για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. Παράγραφο 3.5.2.1).

Δεδομένου ότι αυτός ο τρόπος δεν είχε ως αποτέλεσμα μεγάλη ακρίβεια στις τιμές των ενθαλπιών κατά μήκος της γραμμής αποτόνωσης των στρόβιλων, περιμένουμε μεγαλύτερες αποκλίσεις των τιμών στον υπολογισμό καταστάσεων παραγωγής μερικού από ότι ολικού φορτίου.

5.4.1 Δεδομένα

Σημειώνονται τα δεδομένα - απαιτήσεις του χρήστη όπως αυτά έχουν δοθεί στο πρόγραμμα μέσω του αρχείου 'userparam1.dat'.

Ισχύς πρόωσης:	$\dot{W}_T = 24359,7196 \text{ kW}$
Ηλεκτρική ισχύς:	$\dot{W}_G = 1820,000 \text{ kW}$
Παραγωγή γλυκού νερού:	$\dot{m}_{\text{dist}} = 0,69444 \text{ kg/s}$
Κατώτερη θερμογόνοσ ικανότητα των καυσίμων:	$H_{u,\text{FO}} = 43040,30400 \text{ kJ/kg}$ $H_{u,\text{BOG}} = 55558,83600 \text{ kJ/kg}$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση πετρελαίου:	$\pi_{\text{FO}} = 0,000\%$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση φυσικού αερίου:	$\pi_{\text{BOG}} = 100,000\%$

Οι τιμές των στοιχείων στα υπόλοιπα αρχεία δεδομένων (βλ. Παράρτημα 4, Α) είναι ίσες με τις αντίστοιχες στο επισυναπτόμενο διάγραμμα ροής το Παραρτήματος 1, 1.Β.

5.4.2 Αποτελέσματα

Αποτελέσματα (Αρχείο 'results.dat')

Αριθμός επαναλήψεων του κύκλου δοκιμών:	14
Ισχύες	
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Υψηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T1} = 12562,6936 \text{ kW}$
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T2} = 11797,0260 \text{ kW}$
Συνολική ισχύς:	$\dot{W}_T = 24359,7196 \text{ kW}$
Λέβητες	

Παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα:	$\dot{m}_{A1} = 55491,6075 \text{ kg/h}$
Συνολική παροχή αέρα καύσης:	$\dot{m}_A = 110983,2149 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου πετρελαίου:	$\dot{m}_{FO} = 0,000 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου φυσικού αερίου:	$\dot{m}_{BOG} = 5908,2972 \text{ kg/h}$
Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο:	$\dot{H}_f = 91182,8091 \text{ kW}$
<i>Βαθμοί απόδοσης</i>	
Βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα:	$\eta_B = 84,0264\%$
Βαθμός απόδοσης μηχανικής ισχύος:	$\eta_{SP} = 26,7153\%$
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{SG} = 1,9960\%$
Ηλεκτρομηχανικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{SPG} = 28,7112\%$
Θερμικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_\theta = 0,6278\%$
Βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης:	$\eta_{plant} = 29,3391\%$

Τιμές του διαγράμματος ροής – Συμπεράσματα

Ισχύς πρόωσης

Η τιμή της συνολικής ισχύος που σημειώνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα ροής είναι ίση με, $\dot{W}_T = 24359,7196 \text{ kW}$ και συνεπώς η απόκλιση είναι μηδενική.

Παροχή μάζας καυσίμου (Φυσικού Αερίου)

Όσον αφορά την παροχή μάζας καυσίμου περιμένουμε αποκλίσεις της υπολογισθείσας από τη δεδομένη του διαγράμματος ροής για τους ίδιους λόγους που έχουν αναφερθεί και στις προηγούμενες Παραγράφους του κεφαλαίου, δηλαδή λόγω της διαφορετικής σύνθεσης καυσίμου και της παραδοχής ότι καίγεται αποκλειστικά αέριο φυσικής εξάτμισης (βλ, Παράγραφο 5.1.2).

Εξετάζοντας το διάγραμμα ροής που αναφέρεται στην παραγωγή του 90% της ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου, παρατηρούμε ότι η παροχή μάζας καυσίμου δίνεται ίση με $\dot{m}_{BOG\text{διαγ.ροής}} = 5985 \text{ kg/h}$ και αποτελεί το άθροισμα φυσικού αερίου εξαναγκασμένης και φυσικής εξάτμισης. Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από αυτή που προσδιορίστηκε από το πρόγραμμα και έχουμε ότι $dev_{BOG} = -1,2816\%$. Η διαφορά αυτή μπορεί να είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι έχουμε δει μέχρι τώρα για τις αποκλίσεις των παροχών των καυσίμων, ωστόσο είναι μέσα στα αποδεκτά όρια, δεδομένων και των παραδοχών που έχουν γίνει για τη μελέτη σε μερικό φορτίο.

Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο

Από πράξεις που βασίζονται στο διάγραμμα ροής εξάγουμε ότι, $\dot{H}_{f\text{διαγ.ροής}} = 92366,565 \text{ kW}$ και $dev_{Hf} = -1,2818\%$.

Παροχή αέρα καύσης

Όπως βλέπουμε και στην Παράγραφο 5.1.2, ο τρόπος που το σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης 'αποφασίζει' για την τιμή της παροχής αέρα καύσης είναι χρησιμοποιώντας την Εξ. (5.1.2.1). Συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που εξάγονται για την παροχή αέρα με τον

τρόπο αυτό με αυτά που εξάγονται αν χρησιμοποιήσουμε τη σύνθεση του καυσίμου που έχουμε (βλ. Παράγραφο 3.3.2).

Έτσι για την παροχή \dot{m}_{BOG} που υπολόγισε το πρόγραμμα και που αναφέραμε προηγουμένως και για $\lambda_{\alpha}=1,1$ έχουμε ότι, $\dot{m}_{\text{A_εγχειριδίου}} = 115013,745 \text{ kg/h}$ και η απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο τρόπων υπολογισμού είναι ίση με, $\text{dev}_{\text{A}} = -3,5044\%$. Όπως και στα προηγούμενα δηλαδή, παρατηρούμε ότι με τον τρόπο της Παραγράφου 3.3.2 έχουμε ακριβώς την παροχή αέρα καύσης που είναι απαραίτητη για την επίτευξη της καύσης.

Βαθμός απόδοσης λέβητα

Στο διάγραμμα ροής σημειώνεται ότι για τη δεδομένη σύνθεση καυσίμου και παραγωγή ισχύος έχουμε ότι $\eta_{\text{B διαγ.ροής}}=84,0\%$ συνεπώς έχουμε απόκλιση από τον αντίστοιχο που προέκυψε ως αποτέλεσμα της υπολογιστικής διαδικασίας, ίση με, $\text{dev}_{\eta_{\text{B}}}=0,03143\%$. Οι διαφορές είναι πολύ μικρές και οι λόγοι τους έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες παραγράφους.

Βαθμός απόδοσης εγκατάστασης

Στο διάγραμμα ροής βλέπουμε ότι $\eta_{\text{plant}}=31,2\%$ και συνεπώς έχουμε απόκλιση της τάξεως του $\text{dev}_{\eta_{\text{plant}}}=-5,9644\%$. Η απόκλιση αυτή, εκτός των λοιπών διαφορών οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στον διαφορετικό ορισμό του βαθμού απόδοσης αυτού βάσει του οποίου υπολογίστηκε ο η_{plant} για το διάγραμμα ροής και αυτού που θεωρήσαμε εμείς, στερούμενοι άλλων στοιχείων με την Εξ. (4.1.32).

Ροές υπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'sup1.dat')

Πίνακας 5.4.2.1 Ιδιότητες των ροών υπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και αποκλίσεις από τις αντίστοιχες των διαγραμμάτων ροής.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
B	61,29	515,000	3457,1388	6,9168	98058,2104	99444,0	-1,3935
0	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	86312,3199	87633,0	-1,5071
1	53,84	510,000	3446,9017	6,9610	86312,3199	87633,0	-1,5071
2	5,70	217,765	2890,5766	7,0743	82410,1565	83755,0	-1,6057
3	5,70	217,765	2890,5766	7,0743	73939,7336	74696,0	-1,0125
4	0,05	307,151	2277,9639	0,4916	67926,1847	68647,0	-1,0500
5	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	7304,6245	7400,0	-1,2889
6	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	4441,2660	4411,0	0,6861
c	0,05	307,151	2285,7264	0,4916	67783,1847	68503,0	-1,0508

Οι αποκλίσεις στις τιμές των παροχών μάζας είναι, γενικά, μεγαλύτερες από αυτές που παρατηρήθηκαν στις συγκρίσεις για τις καταστάσεις παραγωγής πλήρους φορτίου και αυτό

οφείλεται κυρίως στον προσεγγιστικό υπολογισμό των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης κατά τμήματα των στροβίλων πρόωσης, κινούνται όμως μέσα στα αποδεκτά πλαίσια.

Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις σημειώνονται στις παροχές $\dot{m}_0 = \dot{m}_1$ και \dot{m}_2 . Παρατηρούμε ότι η παροχή μάζας \dot{m}_0 υπολογίζεται μέσω της Εξ. (4.1.17), συνεπώς η τιμή της επηρεάζεται από τις παροχές των ρευμάτων 4, e_1 , e_2 , e_3 . Οι όποιες αποκλίσεις των παροχών αυτών μεταφέρονται και στην \dot{m}_0 .

Αντίστοιχα η παροχή \dot{m}_2 υπολογίζεται με τη βοήθεια της Εξ. (3.1.2.6), δηλαδή επηρεάζεται από την \dot{m}_0 και όσοι παράγοντες συντελούν στην απόκλιση της παροχής μάζας του ρεύματος 0, προκαλούν απόκλιση και στην παροχή του 2.

Απόκλιση παρατηρείται επίσης στην παροχή του ρεύματος Β από τον λέβητα. Δεδομένου ότι η \dot{m}_B υπολογίζεται με βάση την Εξ. (4.1.18), οποιαδήποτε απόκλιση στις τιμές των ρευμάτων υπέρθερμου ατμού 5,6 ή και 0 συντέλεσε ώστε η τιμή της \dot{m}_B να απέχει από την αντίστοιχη του διαγράμματος ροής.

Η αμέσως μικρότερη ποσοστιαία διαφορά σε σχέση με τη δεδομένη τιμή του διαγράμματος ροής, παρατηρείται στην παροχή μάζας \dot{m}_5 . Η τιμή της \dot{m}_5 προκύπτει από την Εξ. (4.1.4) της οποίας τα διάφορα μεγέθη υπολογίζονται από πίνακες και διαγράμματα. Τα διαγράμματα αυτά και οι πίνακες είναι αποτελέσματα μετατροπών άλλων, δεδομένων από το εγχειρίδιο, στοιχείων. Είναι λογικό μετά από τις μετατροπές αυτές αλλά και τις μετρήσεις των σημείων των διαγραμμάτων, να μειώθηκε η ακρίβεια στους υπολογισμούς.

Τέλος, αποκλίσεις παρατηρούνται και στις τιμές των παροχών των ροών 3 και 4 για λόγους ανάλογους με αυτούς που εξηγήθηκαν προηγουμένως.

Ροές αφυπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'des1.dat')

Πίνακας 5.4.2.2 Ιδιότητες των ροών αφυπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και αποκλίσεις παροχών μάζας από τις αντίστοιχες των διαγραμμάτων ροής.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διαγράμματα ροής	Απόκλιση %
d ₁	0,05	0,000	2457,4880	0,0000	7264,6245	7360	-1,2959
d ₂	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃	0,00	0,000	0,0000	0,0000	7264,6245	7360	-1,2959
d ₄	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₅	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₆	0,05		2676,8542		50,0000	50	*
d ₇	3,56	138,900	584,4836	1,7279	3966,0703	4036	-1,7326
d ₈	5,70	217,765	2890,5766	7,0743	1468,8847	1450	1,3024
d ₉	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₀	5,70	217,765	2890,5766	7,0743	6859,5381	7467	-8,1353

d ₁₁	5,70	217,765	2890,5766	7,0743	2893,4678	7826	- ¹
d ₁₂	3,43		3102,4104		4425,2660	4395	0,6886
d ₁₃	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₄	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₅	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₆	61,29	287,000	2828,6558	5,9620	1329,2932	1343	-1,0206
d ₁₇			2828,6558		63,0000	63	*
d ₁₈			2828,6558		3902,1635	3878	0,6231
d ₁₉			2828,6558		75,0000	75	*
d ₂₀			2828,6558		300,0000	300	*
d ₂₁			2828,6558		0,0000	0	*
d ₂₂			2828,6558		0,0000	0	*
d ₂₃			2828,6558		891,2932	905	-1,5146
d ₂₄	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	3976,0000	3976	*
d ₂₅	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	244,0000	244	*
d ₂₆	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	890,0000	890	*
d ₂₇	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	20,0000	20	*
d ₂₈	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	10,0000	10	*
d ₂₉	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	95,0000	95	*
d ₃₀	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₁	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	655,0000	655	*
d ₃₂	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₃	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	1324,0000	1324	*
d ₃₄	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₅	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₆	8,83	175,000	2773,5082	6,6307		0	*
d ₃₇	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃₈	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	3976,0000	3976	*
d ₃₉	16,87	0,000	3123,1679	0,0000	3902,1635	3878	0,6231
d ₄₀	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₁	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₂	5,70	217,765	2890,5766	7,0743	3966,0703	4036	-1,7326

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Οι παροχές πολλών σημείων του αφυπέρθερου ατμού θεωρούνται δεδομένες από τα διαγράμματα ροής και για το λόγο αυτό δεν αναφέρονται οι αποκλίσεις τους.

Μεγάλη απόκλιση παρατηρείται στην τιμή της παροχής μάζας $\dot{m}_{d7} = \dot{m}_{d42}$. Η παροχή αυτή υπολογίζεται με ισολογισμό στον προθερμαντήρα αέρα, και οι διαφορές πιθανώς οφείλονται στη διαφορετική παροχή αέρα καύσης και στην προσέγγιση της τιμής $c_{pa} = 1,005 \text{ kJ/kgK}$. Το γεγονός ότι θεωρούμε σταθερές και δεδομένες από το εγχειρίδιο

¹ Στο σημείο d₁₁ δεν σημειώνεται η απόκλιση γιατί δεν τίθεται θέμα σύγκρισης μετά την τροποποίηση του διαγράμματος ροής.

τιμές για τις ιδιότητες των σημείων d_{42} και d_7 (βλ. Παράγραφο 4.2.6.2) είναι ένα από τα αίτια της απόκλισης αυτής.

Σημαντικές διαφορές παρατηρούμε και στην τιμή που προκύπτει για την παροχή των απωλειών του συστήματος ατμού, \dot{m}_{d23} . Όπως βλέπουμε και στην Παράγραφο 3.5.5.3, για τον υπολογισμό των απωλειών του συστήματος χρησιμοποιούμε έναν συντελεστή που δείχνει τη σχέση μεταξύ απωλειών και συνολικής ατμοπαραγωγής. Με βάση τα στοιχεία των διαγραμμάτων ροής, έχει συμπληρωθεί ο Πίνακας 3.5.5.3.1, ο οποίος συσχετίζει τον εν λόγω συντελεστή με την ατμοπαραγωγή. Στη συνέχεια, με χρήση του προγράμματος Matlab, δημιουργήθηκε εξίσωση που προσεγγίζει τις τιμές του πίνακα για χρήση από το πρόγραμμα προσομοίωσης. Είναι λογικό η ανωτέρω διαδικασία να εισάγει σφάλμα στους υπολογισμούς μας.

Απόκλιση σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του διαγράμματος ροής παρατηρείται και στην παροχή μάζας του ρεύματος d_8 . Για τον υπολογισμό της παροχής αυτής χρησιμοποιήθηκε η ειδική κατανάλωση ενέργειας του αποστακτήρα, q_w και οι εξισώσεις (4.2.4.3) έως (4.2.4.5). Η ειδική κατανάλωση ενέργειας έχει προσδιοριστεί με υπολογισμούς σε καταστάσεις λειτουργίας στο πλήρες φορτίο πρόωσης, για τις οποίες έχουμε δεδομένα από τα διαγράμματα ροής. Έχει γίνει η παραδοχή ότι η q_w μένει σταθερή σε όλες τις καταστάσεις. Πράγματι, δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην τιμή της, γενικά. Ωστόσο, η διαφορά μεταξύ της υπολογισθείσας σε σχέση με την ενθαλπία h_{e2} που σημειώνεται στο διάγραμμα ροής, είναι επόμενο να έπαιξε ρόλο.

Η απόκλιση της τιμής της παροχής μάζας της ροής εξόδου του στροβίλου της γεννήτριας d_1 , οφείλεται στην ανάλογη απόκλιση της ροής υπέρθερμου ατμού, 5.

Ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού (Αρχείο 'cond1.dat')

Πίνακας 5.4.2.3 Ιδιότητες των ροών κορεσμένου και υπόψυκτου νερού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και αποκλίσεις παροχών μάζας από τις αντίστοιχες των διαγραμμάτων ροής.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_1	0,05	33,100	138,7036	0,4793	75097,8092	75913	-1,0738
σ_2	3,43	32,500	136,5019	0,4710	75097,8092	75913	-1,0738
σ_3	3,43	44,280	185,6667	0,6290	75097,8092	75913	-1,0738
σ_4	1,00	90,000	376,9915	1,1926	391,0000	391	*
σ_5	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_6	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_7	0,05	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_8	1,00	90,000	376,9915	1,1926	1468,8847	1450	1,3024
σ_9	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{10}	3,43	47,508	199,1605	0,6713	75097,8092	75913	-1,0738

σ_{11}	1,00	54,898	229,8842	0,7666	9929,6192	10036	-1,0600
σ_{12}	3,43	47,508	199,1605	0,6713	75097,8092	75913	-1,0738
σ_{13}	1,00		241,8777	0,8031	13118,7971	13220	-0,7655
σ_{14}	3,43	96,898	406,2092	1,2716	75097,8092	75913	-1,0738
σ_{15}	3,43		381,8257		88216,6063	89133	-1,0281
σ_{16}	3,43	138,150	581,2630	1,7201	99387,5036	100787	-1,3886
σ_{17}	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{18}	75,51	140,537	596,1759	1,7374	99387,5036	100787	-1,3886
σ_{19}	75,51	140,537	596,1759	1,7374	99387,5036	100787	-1,3886
σ_{20}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	244,0000	244	*
σ_{21}	8,83	120,000	504,2653	1,5272	890,0000	890	*
σ_{22}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	20,0000	20	*
σ_{23}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	10,0000	10	*
σ_{24}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	95,0000	95	*
σ_{25}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{26}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	655,0000	655	*
σ_{27}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{28}			619,2863		1914,0000	1914	*
σ_{29}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	1324,0000	1324	*
σ_{30}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{31}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	738,0000	738	*
σ_{32}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{33}			719,2558		2062,0000	2062	*
σ_{34}					2062,0000	2062	*
σ_{35}	0,00	0,000	0,0000	0,0000	1914,0000	1914	*
σ_{36}	1,00	80,000	334,9905	1,0754	3976,0000	3976	*
σ_{37}	8,83	80,124	336,1395	1,0763	3976,0000	3976	*
σ_{38}	3,43	57,809	242,2434	0,8035	13118,7971	13220	-0,7655
σ_{39}	1,00	30,000	125,8325	0,4368	1254,2932	1268	-1,0810
σ_{40}	11,28	100,000	419,8701	1,3062	75,0000	75	*
σ_{41}	16,87	140	590,0596	1,7379	3902,1635	3878	0,6231

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Με μια ματιά στον ανωτέρω πίνακα, παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη απόκλιση σημειώνεται στην τιμή της παροχής $\dot{m}_{\sigma_{16}}$, η οποία υπολογίζεται με τοπικό κύκλο δοκιμών στο υποσύστημα προθερμαντήρα / απαερωτή – στροβίλου τροφοδοτικής αντλίας και με ισολογισμό ενέργειας στον απαερωτή (Εξ. (4.1.14) και (4.1.15)). Κατά συνέπεια, οι όποιες αποκλίσεις οφείλονται στις αντίστοιχες των παροχών μάζας των ροών που σημειώνονται στις εν λόγω εξισώσεις αλλά και στον τρόπο προσδιορισμού των απωλειών θερμότητας το απαερωτή.

Η δεύτερη μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στην παροχή \dot{m}_{σ_8} και είναι συνέπεια της απόκλισης στην \dot{m}_{d8} .

Διαφορές στην τιμή σε σχέση με το διάγραμμα ροής παρατηρούνται στην παροχή του συμπυκνώματος που εξέρχεται από το κύριο ψυγείο, \dot{m}_{σ_1} . Γνωρίζουμε ότι αυτή

προσδιορίζεται με τη βοήθεια της Εξ. (3.1.2.71) και συνεπώς η τιμή της επηρεάζεται από τις $\dot{m}_c, \dot{m}_{d3} = \dot{m}_{d1}$.

Η απόκλιση της $\dot{m}_{\sigma39}$ που αποτελεί την παροχή μάζας του νερού που έρχεται να αναπληρώσει τις απώλειες (d_{23}), την παροχή ατμού προς τους εκκαπνιστές (d_{20}) και τους διασκορπιστές καυσίμου (d_{17}), υπολογίζεται ως άθροισμα των παροχών των ροών αυτών. Αποκλίσεις στις τιμές των παροχών μάζας των ροών που αναφέρθηκαν, μπορούν να οδηγήσουν σε αποκλίσεις της $\dot{m}_{\sigma39}$.

Διαφορά σημειώνεται και στην τιμή της παροχή μάζας του ρεύματος σ_{11} . Η παροχή μάζας του ρεύματος αυτού προκύπτει από ισολογισμό μάζας στον προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης, δηλαδή επηρεάζεται από τις παροχές των ρευμάτων d_7, e_3 και d_6 . Αποκλίσεις στις τιμές των παροχών των ρευμάτων αυτών μεταβιβάζονται στην τιμή της $\dot{m}_{\sigma11}$.

Στον Πίνακα 5.4.2.4 σημειώνονται οι θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα για ροές του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού και οι αποκλίσεις τους από τις δεδομένες τιμές που σημειώνονται στο διάγραμμα ροής:

Πίνακας 5.4.2.4 Θερμοκρασίες και αποκλίσεις τους από τις δεδομένες των διαγραμμάτων ροής για ροές συμπυκνωμένου και υπόψυκτου νερού σε κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου.

Σημείο	Θερμοκρασία [°C]	Θερμοκρασία από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_3	44,280	43,9	0,8656
σ_{10}	47,508	46,9	1,2964
σ_{12}	47,508	46,9	1,2964
σ_{38}	57,809	54,8	5,4909

Αρκετά μεγάλη απόκλιση παρατηρείται στην τιμή της θερμοκρασίας της ροής σ_{38} . Όπως έχει ήδη ειπωθεί, η διαδικασία υπολογισμού της είναι η εξής: Μετά τον υπολογισμό της ενθαλπίας του σ_{13} μέσω ισολογισμού στη δεξαμενή υγρών αποστραγγίσεων, θεωρείται προσεγγιστικά ένας ισεντροπικός βαθμός απόδοσης για την αντλία P_2 ίσος με $\eta_{p2}=0,7$ και τέλος λύνεται η Εξ. (4.2.6.14) για την εύρεση της $h_{\sigma38}$. Η αυθαίρετη και προσεγγιστική θεώρηση της τιμής του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης αλλά και η πιθανή απόκλιση στην τιμή της $h_{\sigma13}$ συνετέλεσαν στην διαφορά της υπολογισθείσας θερμοκρασίας σε σχέση με αυτή του διαγράμματος ροής.

Διαφορές παρατηρούνται και στις θερμοκρασίες των σημείων σ_{10} και σ_{12} . Εφόσον η θερμοκρασία των σημείων αυτών υπολογίζεται με ισολογισμό ενέργειας στο ψυγείο διαρροών λαβυρίθων, τα αίτια της απόκλισης μπορεί να κρύβονται σε οποιαδήποτε απόκλιση των μεγεθών που συμμετέχουν σε αυτόν.

Αποκλίσεις και μικροσφάλματα στη διαδικασία ισολογισμού στο Κύριο ψυγείο και αποκλίσεις στις ιδιότητες και τις παροχές μάζας των ρευμάτων που συμμετείχαν σε αυτόν, οδήγησαν και στη διαφορά στην τιμή της $T_{\sigma3}$.

Ροές ατμού απομάστευσης (Αρχείο 'bleed1.dat')

Πίνακας 5.4.2.5 Ιδιότητες των ροών ατμού απομάστευσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και αποκλίσεις των παροχών μάζας από τις αντίστοιχες των διαγραμμάτων ροής.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
e ₁	19,12	340,443	3123,1679	7,0108	3902,1635	3878	0,6231
e ₂	6,51	217,765	2890,5766	7,0743	8328,4228	8917	-6,6006
e ₃	1,5	100,814	2674,5562	7,2727	6013,5489	6049	-0,5861

Όπως ήταν αναμενόμενο, παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη απόκλιση σε τιμή παροχής μάζας σημειώνεται στη ροή e₂, πράγμα που είναι λογικό αφού, αλλάζοντας τη διάταξη του διαγράμματος ροής, άλλαξαν και οι ανάγκες των καταναλωτών που εξυπηρετούνται από αυτή.

Μικρότερης τάξεως αποκλίσεις παρατηρούνται και στα παροχές των ροών e₁ και e₃. Για την \dot{m}_{e_1} , εφόσον υπολογίζεται με χρήση της Εξ. (4.2.6.24), δηλαδή με ισολογισμό στην Ατμογεννήτρια Χαμηλής πίεσης, η όποια απόκλιση στην τιμή της επηρεάζεται από αποκλίσεις στις ιδιότητες και τις παροχές μάζας των ροών που συμμετέχουν στον ισολογισμό αλλά κυρίως στον τρόπο προσδιορισμού των θερμικών απωλειών της Ατμογεννήτριας:

Στην Παράγραφο 3.5.1.3, μετά από υπολογισμούς πάνω στις καταστάσεις πλήρους φορτίου που περιγράφουν τα διαγράμματα ροής, καταλήξαμε σε ένα μέσο όρο του συντελεστή απωλειών, τον π_{LPSG} , ο οποίος ισούται με το πηλίκο των θερμικών απωλειών δια της ενέργειας που παρέχεται στο ρεύμα $\sigma_{37-d_{38}}$ από την ατμογεννήτρια χαμηλής πίεσης. Η παραδοχή ότι αυτό το ποσοστό παραμένει σταθερό σε όλες τις καταστάσεις ευθύνεται για την εισχώρηση αποκλίσεων στα αποτελέσματα.

Σημειώνονται οι αποκλίσεις στις ενθαλπίες που υπολογίστηκαν σε σχέση με αυτές που αποτυπώνονται στο διάγραμμα ροής:

Πίνακας 5.4.2.6 Ενθαλπίες των ροών απομάστευσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% του της μέγιστης ισχύος πρόωσης και αποκλίσεις τους από τις δεδομένες του διαγράμματος ροής.

Σημείο	Ενθαλπία [kJ/kg]	Τιμή ενθαλπίας από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
e ₁	3123,1679	3138,8	-0,49802
e ₂	2890,5766	2910,2	-0,6743
e ₃	2674,5562	2700,48558	-0,96017

Παρατηρούμε ότι οι τιμές αποκλίσεων κυμαίνονται σε λογικά πλαίσια. Τα αίτιά τους βρίσκονται στον τρόπο προσδιορισμού των κατά τμήματα ισεντροπικών βαθμών απόδοσης των στροβίλων πρόωσης με τη διαδικασία που περιγράφηκε στην Παράγραφο 3.5.2.1. Εκεί βασιζόμενοι στο δεδομένο Διάγραμμα 3.5.2.1.1 του ολικού ισεντροπικού βαθμού απόδοσης η_{SL} συναρτήσεως της συνολικά παραγόμενης ισχύος πρόωσης, κατασκευάσαμε ένα άλλο που να συνδέει τον αδιάστατο βαθμό απόδοσης με την αδιάστατη ισχύ και θεωρήσαμε ότι αυτό αντιπροσωπεύει όλα τα τμήματα των στροβίλων και ότι αρκεί να πολλαπλασιάσουμε τον αδιάστατο η_{SL}^* που προκύπτει από το διάγραμμα με τις τιμές των ονομαστικών ισεντροπικών βαθμών απόδοσης, για να καταλήξουμε στις τιμές τους για κάθε κατάσταση ισχύος.

Είναι φανερό ότι ο τρόπος αυτός είναι πολύ προσεγγιστικός και το γεγονός ότι, παρ' όλες τις παραδοχές που κάναμε, καταλήγουμε σε τόσο μικρές αποκλίσεις, είναι κάτι που πρέπει να μας ικανοποιεί.

Είναι γεγονός επίσης, ότι δεν είμαστε σίγουροι για την ορθότητα των δεδομένων από τα διαγράμματα ροής, ενθαλπών κατά μήκος των στροβίλων και κατ' επέκταση των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης που προκύπτουν με βάση τις τιμές αυτές. Πράγματι, στην Παράγραφο 3.5.2.2 παρατηρούμε μία ασυνέπεια των εν λόγω μεγεθών όσον αφορά τις τιμές που παίρνουν στις διάφορες ισχύες πρόωσης.

Αυτό μας κάνει να έχουμε αμφιβολίες και σε σχέση με τις άλλες τιμές του διαγράμματος ροής στις υπόλοιπες ροές (θερμοκρασίες, παροχές μάζας, ενθαλπίες και λοιπά). Παρόλα αυτά δεν έχουμε παρατηρήσει ακόμη κάποια ασυνέπεια σε αυτές.

Ροές ατμού διαρροών λαβυρίθων (Αρχείο 'gland1.dat')

Πίνακας 5.4.2.7 Ιδιότητες των ροών ατμού διαρροών λαβυρίθων όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου.

Σημείο	Ενθαλπία [kJ/kg]	Παροχή μάζας ṁ
g_{HP}	3224,3716	142
g_{LP}	2645,5315	143
g_1	2933,9360	285
g_2	2890,5766	50
g_3	3309,1052	16
g_4	3177,8118	40
g_5	2968,6925	391

5.5 Κατάσταση Λειτουργίας στο 90% της Μέγιστης Ισχύος Πρώωσης με καύση Πετρελαίου

5.5.1 Δεδομένα

Σημειώνονται τα δεδομένα- απαιτήσεις του χρήστη όπως αυτά έχουν δοθεί στο πρόγραμμα μέσω του αρχείου 'userparam1.dat'.

Ισχύς πρώωσης:	$\dot{W}_T = 24359,7196 \text{ kW}$
Ηλεκτρική ισχύς:	$\dot{W}_G = 1600,000 \text{ kW}$
Παραγωγή γλυκού νερού:	$\dot{m}_{\text{dist}} = 0,69444 \text{ kg/s}$
Κατώτερη θερμογόνοος ικανότητα των καυσίμων:	$H_{u,\text{FO}} = 43040,30400 \text{ kJ/kg}$ $H_{u,\text{BOG}} = 55558,83600 \text{ kJ/kg}$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση πετρελαίου:	$\pi_{\text{FO}} = 100,000\%$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση φυσικού αερίου:	$\pi_{\text{BOG}} = 0,000\%$

5.5.2 Αποτελέσματα

Αποτελέσματα (Αρχείο 'results.dat')

Αριθμός επαναλήψεων του κύκλου δοκιμών:	13
<i>Ισχύες</i>	
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Υψηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T1} = 12458,1862 \text{ kW}$
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T2} = 11901,5334 \text{ kW}$
Συνολική ισχύς:	$\dot{W}_T = 24359,7196 \text{ kW}$
<i>Λέβητες</i>	
Παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα:	$\dot{m}_{A1} = 53045,4567 \text{ kg/h}$
Συνολική παροχή αέρα καύσης:	$\dot{m}_A = 106090,9135 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου πετρελαίου:	$\dot{m}_{\text{FO}} = 7895,5343 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου φυσικού αερίου:	$\dot{m}_{\text{BOG}} = 0,000 \text{ kg/h}$
Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο:	$\dot{H}_f = 84565,6565 \text{ kW}$
<i>Βαθμοί απόδοσης</i>	
Βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα:	$\eta_B = 88,5068\%$
Βαθμός απόδοσης μηχανικής ισχύος:	$\eta_{\text{SP}} = 28,8057\%$
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{\text{SG}} = 1,8920\%$
Ηλεκτρομηχανικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{\text{SPG}} = 30,6977\%$
Θερμικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_\theta = 0,1998\%$
Βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης:	$\eta_{\text{plant}} = 30,8976\%$

Τιμές του διαγράμματος ροής – Συμπεράσματα

Ισχύς πρόωσης

Η τιμή της συνολικής ισχύος που σημειώνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα ροής είναι ίση με, $\dot{W}_{T.δισαγ.ροής} = 24359,7196 \text{ kW}$, κατά συνέπεια η απόκλιση είναι μηδενική.

Παροχή μάζας καυσίμου (πετρελαίου)

Όπως και στα προηγούμενα, λόγω της διαφορετικής σύνθεσης του καυσίμου Fuel Oil που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς του προγράμματος σε σχέση με αυτή που έχει χρησιμοποιηθεί κατά τη δημιουργία του διαγράμματος ροής, περιμένουμε απόκλιση στην παροχή μάζας καυσίμου.

Στο διάγραμμα ροής βλέπουμε ότι η παροχή μάζας καυσίμου πετρελαίου που ικανοποιεί τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου στη δεδομένη κατάσταση λειτουργίας είναι ίση με, $\dot{m}_{FOδισαγ.ροής} = 7157 \text{ kg/h}$ δηλαδή μικρότερη κατά $dev_{FO} = -1,1697\%$ από αυτή που προσδιορίστηκε από το πρόγραμμα. Η απόκλιση είναι μέσα στα όρια του αποδεκτού.

Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο

Από πράξεις που βασίζονται στο διάγραμμα ροής έχουμε ότι $\dot{H}_{fδισαγ.ροής} = 85566,515 \text{ kW}$ και $dev_{Hf} = -1,1697\%$.

Όπως είδαμε και στην Παράγραφο 5.2.2, η ενέργεια που ζητείται από το πετρέλαιο είναι μικρότερη από αυτή που ζητείται από το φυσικό αέριο για την κάλυψη των ίδιων ενεργειακών αναγκών.

Αυτό οφείλεται στο ότι, καθώς ο λέβητας είναι κατασκευασμένος για καύση πετρελαίου, έχει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης όταν καίει πετρέλαιο παρά φυσικό αέριο.

Παροχή αέρα καύσης

Σύμφωνα με την Εξ. (5.1.1.2.1) για την παροχή καυσίμου που υπολογίστηκε από το πρόγραμμα και για $\lambda_a = 1,1$ προκύπτει ότι η παροχή μάζας αέρα καύσης που υπολογίζει το σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης είναι ίση με, $\dot{m}_{A_εγχειριδίου} = 108928,5982 \text{ kg/h}$ και ότι, $dev_A = -2,6051\%$. Αυτό οφείλεται στο ότι οι υπολογισμοί για τον αέρα καύσης γίνονται με βάση τη σύνθεση του δεδομένου καυσίμου (βλ. Παράγραφο 3.3.2), γεγονός που οδηγεί σε μικρότερες σπατάλες του αέρα καύσης.

Παρατηρούμε ότι σε συμφωνία με τα όσα είπαμε προηγουμένως για το βαθμό απόδοσης του λέβητα, η παροχή αέρα καύσης στον λέβητα είναι μικρότερη από την αντίστοιχη για καύση φυσικού αερίου.

Βαθμός απόδοσης λέβητα

Στο διάγραμμα ροής σημειώνεται ότι $\eta_{Bδισαγ.ροής} = 88,5\%$ συνεπώς έχουμε απόκλιση από τον αντίστοιχο που προέκυψε ως αποτέλεσμα της υπολογιστικής διαδικασίας, ίση με $dev_{\eta B} = 0,007683\%$. Η απόκλιση πιθανώς οφείλεται στη διαφορετική τιμή της ατμοπαραγωγής μεταξύ των αποτελεσμάτων του προγράμματος και των τιμών του εγχειριδίου αλλά και σε πιθανά σφάλματα στη μέτρηση των στοιχείων του διαγράμματος και στην επεξεργασία των τιμών του από το Matlab ωστόσο είναι αρκετά μικρή για να ασχοληθούμε περαιτέρω με το ζήτημα.

Επαληθεύουμε το γεγονός ότι ο βαθμός απόδοσης του λέβητα είναι μεγαλύτερος για καύση πετρελαίου από τον αντίστοιχο για καύση φυσικού αερίου.

Βαθμός απόδοσης εγκατάστασης

Στο σχετικό διάγραμμα ροής βλέπουμε ότι $\eta_{\text{plant}}=31,7\%$ και συνεπώς έχουμε απόκλιση της τάξεως του $\text{dev}_{\eta_{\text{plant}}}=-2,531\%$. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν έχουμε στη διάθεσή μας τον ορισμό που χρησιμοποιήθηκε από το διάγραμμα ροής για το βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης.

Ροές υπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'sup1.dat')

Πίνακας 5.5.2.1 Ιδιότητες των ροών υπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
B	61,29	515,000	3457,1388	6,9168	95574,1365	96839	-1,3062
0	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	84706,3951	85970	-1,4698
1	53,84	510,000	3446,9017	6,9610	84706,3951	85970	-1,4698
2	5,70	217,765	2890,5766	7,0743	82960,4321	84235	-1,5131
3	5,70	217,765	2890,5766	7,0743	74581,7066	75331	-0,9947
4	0,05	307,151	2277,9639	0,4916	68564,6830	69279	-1,0311
5	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	6465,9535	6500	-0,5238
6	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	4401,7879	4369	0,7505
c	0,05	307,151	2285,6540	0,4916	68421,6830	69136	-1,0332

Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται στις τιμές των παροχών μάζας είναι ικανοποιητικές δεδομένου του πλήθους των παραδοχών που έχουμε κάνει για υπολογισμούς στο μερικό φορτίο. Η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στην παροχή \dot{m}_2 και ακολουθεί η $\dot{m}_0 = \dot{m}_1$ και η \dot{m}_B .

Μικρές διαφορές σε σχέση με το διάγραμμα ροής παρατηρούμε και στην παροχή ατμού προς το στρόβιλο της γεννήτριας (ροή 5). Αυτή όπως εξηγήθηκε και παραπάνω στην Παράγραφο 5.1.2, πιθανώς οφείλεται σε μικρά σφάλματα σε πίνακες, αποτύπωση διαγραμμάτων σε εξισώσεις και λοιπά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της εν λόγω παροχής.

Απόκλιση που επίσης οφείλεται σε μικρά σφάλματα στην ακρίβεια μέτρησης των διαγραμμάτων του στροβίλου, παρατηρείται και στην τιμή της παροχής ατμού προς το στρόβιλο, της αντλίας (ροή 6). Αιτίες μπορούν να αναζητηθούν και στο γεγονός ότι τα διαγράμματα αυτά (3.5.6.1 και 3.5.6.2) ισχύουν για δεδομένες συνθήκες εισόδου στον στρόβιλο οι οποίες διαφέρουν από αυτές που ισχύουν στην κατάσταση που εξετάζουμε.

Οι παραπάνω αποκλίσεις αλλά και οι αντίστοιχες που παρατηρούνται στις παροχές μάζας των απομαστεύσεων, επηρεάζουν τις τιμές των παροχών \dot{m}_B , \dot{m}_0 , \dot{m}_1 , \dot{m}_2 , \dot{m}_3 , \dot{m}_4 , \dot{m}_c (βλ. Εξ. (4.1.18), (4.1.17), (3.1.2.6) και (3.1.2.7)).

Συγκεκριμένα η παροχή \dot{m}_2 , όπου σημειώνεται η μεγαλύτερη διαφορά τιμής, επηρεάζεται από την παροχή της απομάστευσης e_1 αλλά και την παροχή της ροής 0 του υπέρθερμου ατμού.

Ροές αφυπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'des1.dat')

Πίνακας 5.5.2.2 Ιδιότητες των ροών αφυπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διαγραμμα ροής	Απόκλιση %
d ₁	0,05	0,0000	2460,5553	0,0000	6425,9535	6460	-0,52704
d ₂	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	6425,9535	6460	-0,52704
d ₄	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₅	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₆	0,05		2676,8542		50,0000	50	*
d ₇	3,56	138,9000	584,4836	1,7279	3791,2401	3817	-0,6749
d ₈	5,70	217,7650	2890,5766	7,0743	1468,7594	1450	1,2938
d ₉	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₀	5,70	217,7650	2890,5766	7,0743	6767,9661	7312	-7,4403
d ₁₁	5,70	217,7650	2890,5766	7,0743	2976,7260	7848	⁻¹
d ₁₂	3,43		3103,2682		4385,7879	4353	0,7532
d ₁₃	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₄	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₅	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₆	61,29	288,0000	2832,8558	5,9695	1677,0342	1691	-0,8259
d ₁₇			2832,8558		125,0000	125	*
d ₁₈			2832,8558		1745,9630	1735	0,6319
d ₁₉			2832,8558		75,0000	75	*
d ₂₀			2832,8558		604,8993	600	0,8166
d ₂₁			2832,8558		0,0000	0	*
d ₂₂			2832,8558		0,0000	0	*
d ₂₃			2832,8558		872,1349	891	-2,1173
d ₂₄	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	1779,0000	1779	*
d ₂₅	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	244,0000	244	*
d ₂₆	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	890,0000	890	*
d ₂₇	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	540,0000	540	*
d ₂₈	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	10,0000	10	*
d ₂₉	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	95,0000	95	*

¹ Στο σημείο d₁₁ δεν σημειώνεται η απόκλιση γιατί δεν τίθεται θέμα σύγκρισης μετά την τροποποίηση του διαγράμματος ροής.

d ₃₀	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₁	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₂	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₃	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₄	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₅	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₆	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₇	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃₈	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	1779,0000	1779	*
d ₃₉	16,87	0,0000	3123,1679	0,0000	1745,9630	1735	0,6319
d ₄₀	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₁	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₂	5,70	217,7650	2890,5766	7,0743	3791,2401	3817	-0,6749

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Σημαντική απόκλιση σημειώνεται στην τιμή της παροχής \dot{m}_{d23} . Η απόκλιση αυτή οφείλεται στον τρόπο προσδιορισμού των απωλειών με συντελεστή ο οποίος συσχετίζει τις απώλειες με την ατμοπαραγωγή και τις προσδιορίζεται βάσει της παραγόμενης ισχύος πρόωσης από τον Πίνακα 3.5.5.3.1. Όπως αναφέρθηκε και στην Παράγραφο 5.4.2, ο πίνακας αυτός προκύπτει ως αποτέλεσμα υπολογισμών πάνω στα διαγράμματα ροής (βλ. Κεφάλαιο 3). Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο τρόπος υπολογισμού των απωλειών του συστήματος είναι αρκετά προσεγγιστικός και είναι φυσικό να υπάρχουν αποκλίσεις στις τιμές.

Άξια αναφοράς είναι και η απόκλιση στην τιμή της παροχής μάζας του ρεύματος d₈. Ο τρόπος υπολογισμού της μέσω θεώρησης σταθερής τιμής για την ειδική κατανάλωση ενέργειας του αποστακτήρα, q_w και η διαφορά στην τιμή της ενθαλπίας της απομάστευσης e₂ από αυτή που είναι σημειωμένη στο διάγραμμα ροής, είναι επόμενο να οδήγησε σε αποκλίσεις.

Στις υπόλοιπες ροές, οι αποκλίσεις των τιμών των παροχών μάζας είναι μικρότερες της μονάδας συνεπώς δεν κρίνεται αναγκαίο να ασχοληθούμε με τον σχολιασμό τους.

Ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού (Αρχείο 'cond1.dat')

Πίνακας 5.5.2.3 Ιδιότητες των ροών κορεσμένου και υπόψυκτου νερού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ ₁	0,05	33,100	138,7036	0,4793	74897,6365	75646	-0,9893
σ ₂	3,43	32,500	136,5019	0,4710	74897,6365	75646	-0,9893
σ ₃	3,43	44,310	185,7939	0,6294	74897,6365	75646	-0,9893
σ ₄	1,00	90,000	376,9915	1,1926	391,0000	391	*

σ_5	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_6	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_7	0,05	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_8	1,00	90,000	376,9915	1,1926	1468,7594	1450	1,2938
σ_9	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{10}	3,43	47,547	199,3248	0,6718	74897,6365	75646	-0,9893
σ_{11}	1,00	54,898	229,8842	0,7666	9758,2637	9819	-0,6186
σ_{12}	3,43	47,547	199,3248	0,6718	74897,6365	75646	-0,9893
σ_{13}	1,00		238,9957	0,7944	13295,0573	13351	-0,4190
σ_{14}	3,43	96,898	406,2092	1,2716	74897,6365	75646	-0,9893
σ_{15}	3,43		381,0571		88192,6938	88996	-0,9026
σ_{16}	3,43	138,150	581,2630	1,7201	97251,1707	98530	-1,2979
σ_{17}	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{18}	75,51	140,537	596,1759	1,7374	97251,1707	98530	-1,2979
σ_{19}	75,51	140,537	596,1759	1,7374	97251,1707	98530	-1,2979
σ_{20}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	244,0000	244	*
σ_{21}	8,83	120,000	504,2653	1,5272	890,0000	890	*
σ_{22}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	540,0000	540	*
σ_{23}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	10,0000	10	*
σ_{24}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	95,0000	95	*
σ_{25}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{26}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{27}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{28}			611,7001		1779,0000	0	*
σ_{29}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{30}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{31}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{32}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{33}	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{34}	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{35}					1779,0000	1779,0000	*
σ_{36}	1,00	80,000	334,9905	1,0754	1779,0000	1779,0000	*
σ_{37}	8,83	80,124	336,1395	1,0763	1779,0000	1779,0000	*
σ_{38}	3,43	57,121	239,3630	0,7947	13295,0573	13351	-0,4190
σ_{39}	1,00	30,000	125,8325	0,4368	1602,0342	1616	-0,8642
σ_{40}	11,28	100,000	419,8701	1,3062	75,0000	75	*
σ_{41}	16,87	140,000	590,0596	1,7379	1745,9630	1735	0,6319

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Γενικά, οι αποκλίσεις που σημειώνονται στον ανωτέρω πίνακα είναι ικανοποιητικές. Σημαντική απόκλιση παρατηρείται στην τιμή της παροχής $\dot{m}_{\sigma 8}$ και είναι απόρροια της απόκλισης της \dot{m}_{d8} , αφού $\dot{m}_{d8} = \dot{m}_{\sigma 8}$.

Απόκλιση παρατηρούμε και στην τιμή της $\dot{m}_{\sigma 16}$. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η παροχή αυτή υπολογίζεται με τοπικό κύκλο δοκιμών στο υποσύστημα προθερμαντήρα / απαερωτή – στροβίλου τροφοδοτικής αντλίας και συγκεκριμένα με την Εξ. (4.1.14) και την (4.1.15),

δηλαδή οι όποιες αποκλίσεις οφείλονται στις αντίστοιχες των παροχών των ροών $\sigma_{15}, \sigma_{14}, \sigma_{41}, d_{11}, d_{12}$ αλλά και στον τρόπο προσδιορισμού των απωλειών θερμότητας του απαερωτή. Για τις άδηλες απώλειες θεωρείται το ποσοστό $\pi_D = \dot{Q}_{ID} / \dot{m}_{d11} h_{d11}$ που έχει προσδιοριστεί σύμφωνα με την Παράγραφο 3.5.1.2.

Τέλος, για λόγους που εξηγήθηκαν ήδη στην Παράγραφο 5.4.2, απόκλιση αλλά μικρότερης κλίμακας παρατηρείται στην τιμή της $\dot{m}_{\sigma 39}$.

Ο Πίνακας 5.5.2.4 περιέχει τις θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα για ροές του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού αλλά και τις αποκλίσεις τους:

Πίνακας 5.5.2.4 Θερμοκρασίες και αποκλίσεις τους από τις δεδομένες των διαγραμμάτων ροής για για ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού σε κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Θερμοκρασία [°C]	Θερμοκρασία από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_3	44,310	43,9	0,9339
σ_{10}	47,547	47,0	1,1638
σ_{12}	47,547	47,0	1,1638
σ_{38}	57,121	54,2	5,3893

Όπως και στα προηγούμενα, η μεγαλύτερη διαφορά τιμών παρατηρείται στη θερμοκρασία του σημείου σ_{38} . Έχει ήδη ειπωθεί ότι η θερμοκρασία αυτή προκύπτει με θεώρηση ισεντροπικού βαθμού απόδοσης στην αντλία P_2 , $\eta_{p2}=0,7$ και με τη βοήθεια της εξίσωσης Εξ. (4.2.6.14). Άλλος παράγοντας σφάλματος ίσως είναι η απόκλιση της $h_{\sigma 13}$.

Διαφορές σε σχέση με το διάγραμμα ροής αλλά σε μικρότερη κλίμακα, παρατηρούνται και στις θερμοκρασίες των σημείων σ_{10} και σ_{12} . Η θερμοκρασία του ρεύματος αυτού υπολογίζεται με ισολογισμό ενέργειας στο ψυγείο διαρροών λαβυρίνθων, συνεπώς οποιοδήποτε από τα ρεύματα που συμμετέχουν στον ισολογισμό ίσως έπαιξε ρόλο στην απόκλιση.

Ροές ατμού απομάστευσης (Αρχείο 'bleed1.dat')

Πίνακας 5.5.2.5 Ιδιότητες των ροών ατμού απομάστευσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
e_1	16,87	340,443	3123,1679	7,0108	1745,963	1735	0,631873199
e_2	5,7	217,765	2890,5766	7,0743	8236,7255	8762	-5,9949
e_3	1,21	100,814	2674,5562	7,2727	6017,0236	6052	-0,5779

Όπως είναι επόμενο λόγω της τροποποίησης του διαγράμματος ροής, η μεγαλύτερη απόκλιση παροχής σημειώνεται στη ροή e_2 .

Αποκλίσεις μικρότερης κλίμακας παρατηρούνται και στις υπόλοιπες παροχές. Οι λόγοι είναι ανάλογοι με αυτούς που αναφέρονται στην Παράγραφο 5.4.2. Ειδικότερα, εφόσον η \dot{m}_{e1} υπολογίζεται με ισολογισμό στην Ατμογεννήτρια Χαμηλής πίεσης, η τιμή της επηρεάζεται από αποκλίσεις στις ιδιότητες και τις παροχές μάζας των ροών που συμμετέχουν στον ισολογισμό αλλά και στον τρόπο προσδιορισμού των θερμικών απωλειών της Ατμογεννήτριας (βλ. Παράγραφο 3.5.1.3).

Η απόκλιση στην τιμή της \dot{m}_{e3} οφείλεται σε αποκλίσεις των ιδιοτήτων και των παροχών μάζας των ροών που συμμετέχουν στον ισολογισμό στον Προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης αλλά και στον τρόπο προσδιορισμού των άδηλων απωλειών του (βλ. Παράγραφο 3.5.1.1).

Σημείωση

Οι ενθαλπίες των απομαστεύσεων, εφόσον τα αποτελέσματα αφορούν στο 90% του φορτίου, είναι ίδιες με αυτές του Πίνακα 5.4.2.6 και για λόγους οικονομίας χώρου δεν τις επανα- σημειώνουμε.

Ροές ατμού διαρροών λαβυρίθων (Αρχείο 'gland1.dat')

Πίνακας 5.5.2.6 Ιδιότητες των ροών ατμού διαρροών λαβυρίθων όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Ενθαλπία [kJ/kg]	Παροχή μάζας \dot{m}
g_{HP}	3224,3716	142
g_{LP}	2645,5315	143
g_1	2933,9360	285
g_2	2890,5766	50
g_3	3309,4483	16
g_4	3179,6557	40
g_5	2968,8951	391

5.6 Κατάσταση Λειτουργίας στο 90% της Μέγιστης Ισχύος Πρώσης με καύση Φυσικού Αερίου και Πετρελαίου

5.6.1 Δεδομένα

Σημειώνονται τα δεδομένα- απαιτήσεις του χρήστη όπως αυτά έχουν δοθεί στο πρόγραμμα μέσω του αρχείου 'userparam1.dat'.

Ισχύς πρώσης:	$\dot{W}_T = 24359,7196 \text{ kW}$
Ηλεκτρική ισχύς:	$\dot{W}_G = 1820,000 \text{ kW}$
Παραγωγή γλυκού νερού:	$\dot{m}_{\text{dist}} = 0,69444 \text{ kg/s}$
Κατώτερη θερμογόνοος ικανότητα των καυσίμων:	$H_{u,\text{FO}} = 43040,30400 \text{ kJ/kg}$ $H_{u,\text{BOG}} = 55558,83600 \text{ kJ/kg}$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση πετρελαίου:	$\pi_{\text{FO}} = 45,251\%$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση φυσικού αερίου:	$\pi_{\text{BOG}} = 54,749 \%$

5.6.2 Αποτελέσματα

Αποτελέσματα (Αρχείο 'results.dat')

Αριθμός επαναλήψεων του κύκλου δοκιμών:	13
<i>Ισχύες</i>	
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Υψηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T1} = 12510,8370 \text{ kW}$
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T2} = 11848,8826 \text{ kW}$
Συνολική ισχύς:	$\dot{W}_T = 24359,7196 \text{ kW}$
<i>Λέβητες</i>	
Παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα:	$\dot{m}_{A1} = 54677,8755 \text{ kg/h}$
Συνολική παροχή αέρα καύσης:	$\dot{m}_A = 109355,7511 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου πετρελαίου:	$\dot{m}_{\text{FO}} = 3353,9567 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου φυσικού αερίου:	$\dot{m}_{\text{BOG}} = 3143,6027 \text{ kg/h}$
Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο:	$\dot{H}_f = 88613,9505 \text{ kW}$
<i>Βαθμοί απόδοσης</i>	
Βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα:	$\eta_B = 86,0561\%$
Βαθμός απόδοσης μηχανικής ισχύος:	$\eta_{\text{SP}} = 27,4897\%$
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{\text{SG}} = 2,0539\%$
Ηλεκτρομηχανικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{\text{SPG}} = 29,5436\%$
Θερμικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_\theta = 0,6243\%$

Βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης:

$$\eta_{\text{plant}} = 30,1679\%$$

Τιμές του διαγράμματος ροής – Συμπεράσματα

Ισχύς πρόωσης

Η τιμή της παραγόμενης ισχύος πρόωσης που σημειώνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα ροής είναι ίση με, $\dot{W}_{\text{T.διαγ.ροής}} = 24359,720 \text{ kW}$ συνεπώς η απόκλιση είναι μηδενική.

Παροχή μάζας καυσίμου (πετρελαίου)

Όπως και προηγουμένως, περιμένουμε απόκλιση της υπολογισθείσας παροχής μάζας καυσίμου από τη δεδομένη του διαγράμματος ροής γιατί δεν είναι γνωστή η σύνθεση του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις του διαγράμματος ροής.

Στο διάγραμμα ροής, βλέπουμε ότι η παροχή μάζας καυσίμου πετρελαίου που ικανοποιεί τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου είναι ίση με $\dot{m}_{\text{FOδιαγ.ροής}} = 3444 \text{ kg/h}$. Αυτό σημαίνει ότι η απόκλιση της υπολογισθείσας σε σχέση με την τιμή που σημειώνεται στο διάγραμμα είναι ίση με, $\text{dev}_{\text{FO}} = -2,41456\%$.

Η απόκλιση είναι μεν μεγαλύτερης τάξης από τις προηγούμενες (βλ. Παραγράφους 5.1.2, 5.2.2., 5.3.2), αλλά είναι λογική αν λάβουμε υπόψη το πλήθος των παραδοχών που έχουμε κάνει. Μία από αυτές είναι και αυτή που αναφέρθηκε στην 5.3.2, δηλαδή η παραδοχή ότι το ποσοστό της ενέργειας που παρέχεται από το κάθε καύσιμο είναι ίσο με το ποσοστό ατμοπαραγωγής που οφείλεται στην καύση του.

Ο προσεγγιστικός τρόπος υπολογισμού των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης των στροβίλων πρόωσης κατά τμήματα (βλ. Παράγραφο 3.5.2.1) μπορεί επίσης να επηρέασε το αποτέλεσμα όπως και άλλες παραδοχές που θα αναφερθούν στη συνέχεια.

Παροχή μάζας καυσίμου (φυσικού αερίου)

Για τους ίδιους λόγους με προηγουμένως, περιμένουμε απόκλιση της υπολογισθείσας τιμής της παροχής φυσικού αερίου από τη δεδομένη του διαγράμματος ροής.

Πράγματι στο διάγραμμα ροής βλέπουμε ότι η παροχή μάζας καυσίμου φυσικού αερίου που ικανοποιεί τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου είναι ίση με $\dot{m}_{\text{BOGδιαγ.ροής}} = 3228 \text{ kg/h}$ δηλαδή μικρότερη από αυτή που προσδιορίστηκε από το πρόγραμμα κατά $\text{dev}_{\text{BOG}} = -2,61454\%$.

Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο

Από πράξεις που βασίζονται στα δεδομένα του διαγράμματος ροής και για την ίδια θερμογόνο ικανότητα, έχουμε ότι $\dot{H}_{\text{f.διαγ.ροής}} = 90992,98 \text{ kW}$ και $\text{dev}_{\text{Hf}} = -2,61452\%$.

Παροχή αέρα καύσης

Σύμφωνα με την Εξ. (5.1.2.1) για τις παροχές καυσίμου που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα και για $\lambda_a = 1,1$ προκύπτει ότι η παροχή μάζας αέρα καύσης που υπολογίζει το σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης είναι ίση με, $\dot{m}_{\text{A.εγχειριδίου}} = 112061,5 \text{ kg/h}$ και ότι

$dev_A = -2,4146\%$. Η απόκλιση οφείλεται στο διαφορετικό τρόπο υπολογισμού της παροχής αέρα (βλ. Παράγραφο 3.3.2).

Βαθμός απόδοσης λέβητα

Στο διάγραμμα ροής σημειώνεται ότι $\eta_{B \text{ διαγ.ροής}} = 86,0\%$ συνεπώς έχουμε απόκλιση από τον αντίστοιχο που προέκυψε ως αποτέλεσμα της υπολογιστικής διαδικασίας, ίση με $dev_{\eta_B} = 0,06523\%$. Η απόκλιση είναι μικρή και όπως και προηγουμένως, οφείλεται στη διαφορετική τιμή της ατμοπαραγωγής μεταξύ των αποτελεσμάτων του προγράμματος και των τιμών του εγχειριδίου αλλά και σε πιθανά σφάλματα στη μέτρηση των στοιχείων του διαγράμματος και στην επεξεργασία των τιμών του από το Matlab.

Βαθμός απόδοσης εγκατάστασης

Στο διάγραμμα ροής βλέπουμε ότι $\eta_{\text{plant}} = 30,6\%$ και συνεπώς έχουμε απόκλιση της τάξεως του $dev_{\eta_{\text{plant}}} = -1,4121\%$. Όπως προείπαμε η απόκλιση αυτή, εκτός των λοιπών διαφορών, οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στον διαφορετικό ορισμό του βαθμού απόδοσης.

Ροές υπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'sup1.dat')

Πίνακας 5.6.2.1 Ιδιότητες των ροών υπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
B	61,29	515,000	3457,1388	6,9168	97119,1210	98507	-1,4089
0	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	85378,4746	86700	-1,5243
1	53,84	510,000	3446,9017	6,9610	85378,4746	86700	-1,5243
2	5,7	217,765	2890,5766	7,0743	82873,8666	84211	-1,5878
3	5,7	217,765	2890,5766	7,0743	74285,0400	75005	-0,9599
4	0,05	307,151	2277,9639	0,4916	68228,4324	68924	-1,0092
5	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	7304,6245	7400	-1,2889
6	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	4436,0220	4407	0,6585
c	0,05	307,151	2285,6920	0,4916	68085,4324	68780	-1,0098

Οι αποκλίσεις των τιμών των παροχών μάζας που παρατηρούνται είναι γενικά μεγαλύτερες από ότι για τις καταστάσεις του 100% του φορτίου (βλ. συγκεκριμένα Παράγραφο 5.3.2) αλλά ικανοποιητικές, αν λάβουμε υπόψη τον αριθμό των παραδοχών που έχουμε κάνει.

Κατά φθίνουσα σειρά, αποκλίσεις σημειώνονται στις παροχές \dot{m}_2 , $\dot{m}_0 = \dot{m}_1$, \dot{m}_B , \dot{m}_5 και \dot{m}_4 . Τα αίτια είναι τα ίδια με αυτά που αναλύθηκαν στις προηγούμενες Παραγράφους και ιδιαίτερα στις 5.4.2 και 5.5.2.

Ροές αφυπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'des1.dat')

Πίνακας 5.6.2.2 Ιδιότητες των ροών αφυπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας ṁ	Παροχή μάζας ṁ από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
d ₁	0,05	0,000	2457,4880	0,0000	7264,6245	7360	-1,2959
d ₂	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃	0,00	0,000	0,0000	0,0000	7264,6245	7360	-1,2959
d ₄	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₅	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₆	0,05	0,000	2676,8542	0,0000	50,0000	50	*
d ₇	3,56	138,900	584,4836	1,7279	3907,9116	4015	-2,6672
d ₈	5,7	217,765	2890,5766	7,0743	1468,8847	1450	1,3024
d ₉	0	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₀	5,7	217,765	2890,5766	7,0743	6977,9419	7614	-8,3538
d ₁₁	5,7	217,765	2890,5766	7,0743	3070,0303	7990	⁻¹
d ₁₂	3,43	0,000	3102,5239	0,0000	4420,0220	4391	0,6609
d ₁₃	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₄	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₅	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₆	61,29	287,000	2828,6558	5,962	1983,8097	1991	-0,3611
d ₁₇	0,00	0,000	2828,6558	0,0000	125,0000	125	*
d ₁₈	0,00	0,000	2828,6558	0,0000	2504,6079	2489	0,6271
d ₁₉	0,00	0,000	2828,6558	0,0000	75,0000	75	0,0000
d ₂₀	0,00	0,000	2828,6558	0,0000	895,0685	888	0,7960
d ₂₁	0,00	0,000	2828,6558	0,0000	0,0000	0	*
d ₂₂	0,00	0,000	2828,6558	0,0000	0,0000	0	*
d ₂₃	0,00	0,000	2828,6558	0,0000	888,7412	903	-1,5790
d ₂₄	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	2552,0000	2552	*
d ₂₅	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	244,0000	244	*
d ₂₆	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	890,0000	890	*
d ₂₇	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	260,0000	260	*
d ₂₈	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	10,0000	10	*
d ₂₉	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	95,0000	95	*
d ₃₀	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₁	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	655,0000	655	*
d ₃₂	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₃	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₄	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*

¹ Στο σημείο d₁₁ δεν σημειώνεται απόκλιση γιατί δεν τίθεται θέμα σύγκρισης μετά την τροποποίηση του διαγράμματος ροής

d ₃₅	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	398,0000	398	*
d ₃₆	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₇	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃₈	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	2552,0000	2552	*
d ₃₉	16,87	0,000	3123,1679	0,0000	2504,6079	2489	0,6271
d ₄₀	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₁	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₂	5,7	217,765	2890,5766	7,0743	3907,9116	4015	-2,6672

* Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Λόγω της τροποποίησης του διαγράμματος ροής παρατηρούμε σημαντική απόκλιση στην παροχή μάζας του σημείου d₁₀.

Η δεύτερη μεγαλύτερη απόκλιση σημειώνεται στην τιμή της παροχής μάζας $\dot{m}_{d7} = \dot{m}_{d42}$ και οφείλεται κυρίως στη διαφορετική παροχή αέρα καύσης \dot{m}_A που αντιστοιχεί στο διάγραμμα ροής και σε αυτή που υπολογίστηκε. Μπορεί επίσης να οφείλεται στην θεώρηση προσεγγιστικών τιμών για το c_{pa} του αέρα και για τις ιδιότητες των σημείων d₄₂ και d₇.

Απόκλιση παρατηρούμε και στην τιμή \dot{m}_{d23} δηλαδή στην παροχή απωλειών. Αιτία είναι ο τρόπος υπολογισμού των απωλειών ως ποσοστό της ατμοπαραγωγής του λέβητα (βλ. Παράγραφο 3.5.5.3). Το ποσοστό αυτό βλέπουμε ότι εξαρτάται από την παραγωγή ισχύος πρόωσης και ορίζεται με βάση τα διαγράμματα ροής. Οι διαφορές στην τιμή της \dot{m}_{d23} οφείλονται στις διαφορές της ατμοπαραγωγής που υπολογίστηκε από το πρόγραμμα σε σχέση με αυτή που αποτυπώνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα ροής.

Η τιμή της \dot{m}_{d8} παρουσιάζει επίσης διαφορές σε σχέση με το διάγραμμα ροής οι οποίες οφείλονται στη διαφορά της υπολογισθείσας ενθαλπίας του ρεύματος e₂ που παρέχεται στον αποστακτήρα σε σχέση με το διάγραμμα ροής και στη θεώρηση ότι η ειδική κατανάλωση ενέργειας του παραμένει σταθερή σε όλες τις καταστάσεις (βλ. Παράγραφο 3.5.2.1 και 3.5.4).

Αναφέρουμε τέλος την απόκλιση της τιμής της παροχής μάζας της ροής d₁≡d₃, η οποία αποτελεί συνέπεια της απόκλισης της \dot{m}_5 . Οι υπόλοιπες διαφορές στις τιμές είναι αρκετά μικρές και δεν κρίνονται άξιες σχολιασμού.

Ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού (Αρχείο 'cond1.dat')

Πίνακας 5.6.2.3 Ιδιότητες των ροών κορεσμένου και υπόψυκτου νερού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ ₁	0,05	33,100	138,7036	0,4793	75400,0568	76190	-1,0368
σ ₂	3,43	32,500	136,5019	0,4710	75400,0568	76190	-1,0368

σ_3	3,43	44,233	185,4696	0,6284	75400,0568	76190	-1,0368
σ_4	1,00	90,000	376,9915	1,1926	391,0000	391	*
σ_5	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_6	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_7	0,05	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_8	1,00	90,000	376,9915	1,1926	1468,8847	1450	1,3024
σ_9	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{10}	3,43	47,448	198,9093	0,6705	75400,0568	76190	-1,0368
σ_{11}	1,00	54,898	229,8842	0,7666	9914,5192	10046	-1,3088
σ_{12}	3,43	47,448	198,9093	0,6705	75400,0568	76190	-1,0368
σ_{13}	1,00		236,3702	0,7864	13758,2136	13878	-0,8631
σ_{14}	3,43	96,898	406,2092	1,2716	75400,0568	76190	-1,0368
σ_{15}	3,43		380,0579		89158,2705	90068	-1,0100
σ_{16}	3,43	138,150	581,2630	1,7201	99102,9307	100498	-1,3882
σ_{17}	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{18}	75,51	140,537	596,1759	1,7374	99102,9307	100498	-1,3882
σ_{19}	75,51	140,537	596,1759	1,7374	99102,9307	100498	-1,3882
σ_{20}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	244,0000	244	*
σ_{21}	8,83	120,000	504,2653	1,5272	890,0000	890	*
σ_{22}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	260,0000	260	*
σ_{23}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	10,0000	10	*
σ_{24}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	95,0000	95	*
σ_{25}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{26}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	655,0000	655	*
σ_{27}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{28}			630,4250		2154,0000	2154	*
σ_{29}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{30}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{31}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	398,0000	398	*
σ_{32}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{33}			719,2558		398,0000	398	*
σ_{34}					398,0000	398	*
σ_{35}					2154,0000	2154	*
σ_{36}	1,00	80,000	334,9905	1,0754	2552,0000	2552	*
σ_{37}	8,83	80,124	336,1395	1,0763	2552,0000	2552	*
σ_{38}	3,43	56,494	236,7389	0,7868	13758,2136	13878	-0,8631
σ_{39}	1,00	30,000	125,8325	0,4368	1908,8097	1916	-0,3753
σ_{40}	11,28	100,000	419,8701	1,3062	75,0000	75	*
σ_{41}	16,87	140	590,0596	1,7379	2504,6079	2489	0,6271

* Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στην παροχή μάζας της ροής σ_{16} για τους λόγους που αναλύθηκαν στην Παράγραφο 5.4.2.

Στην τιμή της παροχής μάζας του ρεύματος σ_8 παρατηρούμε επίσης διαφορές για τους ίδιους λόγους που παρατηρείται στην \dot{m}_{d8} .

Απόκλιση παρατηρείται τέλος στην παροχή μάζας της ροής σ_1 , δηλαδή στην παροχή του συμπυκνώματος που εξέρχεται από το κύριο ψυγείο. Η παροχή αυτή προκύπτει με ισολογισμό μάζας στο κύριο ψυγείο και επηρεάζεται από τις \dot{m}_c και $\dot{m}_{d3} = \dot{m}_{d1}$ δηλαδή οι όποιες αποκλίσεις τους μεταφέρονται και στην τιμή της \dot{m}_{σ_1} .

Στον Πίνακα 5.6.2.4 σημειώνονται οι θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα για ροές του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού:

Πίνακας 5.6.2.4 Θερμοκρασίες και αποκλίσεις τους από τις δεδομένες των διαγραμμάτων ροής για ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού σε κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Θερμοκρασία [°C]	Θερμοκρασία από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_3	44,233	43,9	0,7585
σ_{10}	47,448	46,8	1,3846
σ_{12}	47,448	46,8	1,3846
σ_{38}	56,494	53,5	5,5963

Όπως και στα προηγούμενα, η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται στη θερμοκρασία του σημείου σ_{38} , για λόγους οι οποίοι ήδη έχουν αναλυθεί και στην Παράγραφο 5.1.2.

Διαφορές σε σχέση με το διάγραμμα ροής αλλά σε μικρότερη κλίμακα, παρατηρούνται και στις θερμοκρασίες των σημείων σ_{10} και σ_{12} δηλαδή στο ρεύμα που εξέρχεται από το ψυγείο διαρροών λαβυρίνθων. Οι αιτίες μπορούν να αναζητηθούν στον τρόπο υπολογισμού τους, δηλαδή στον ισολογισμό ενέργειας στο ψυγείο διαρροών λαβυρίνθων.

Ροές ατμού απομάστευσης (Αρχείο 'bleed1.dat')

Πίνακας 5.6.2.5 Ιδιότητες των ροών ατμού απομάστευσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση του 90% σε κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
e_1	16,87	340,443	3123,1679	7,0108	2504,6079	2489	0,6271
e_2	5,7	217,765	2890,5766	7,0743	8446,8266	9064	-6,8091
e_3	1,21	100,814	2674,5562	7,2727	6056,6077	6081	-0,4011

Όσον αφορά στις παροχές μάζας των ροών απομάστευσης, η μεγαλύτερη απόκλιση παροχής σημειώνεται στη ροή e_2 , εφόσον τροποποιώντας τη διάταξη άλλαξαν και οι ανάγκες των καταναλωτών που εξυπηρετούνται από αυτή τη ροή.

Απόκλιση αλλά μικρότερης τάξεως παρατηρείται στην παροχή μάζας της ροής e_1 . Ισχύει ότι, $\dot{m}_{e1} = \dot{m}_{\sigma 41} = \dot{m}_{d39}$. Η παροχή \dot{m}_{d39} υπολογίζεται με ισολογισμό ενέργειας και προσέγγιση των απωλειών της ατμογεννήτριας Χαμηλής Πίεσης (LPSG). Αυτό εισάγει προφανώς έναν παράγοντα λάθους στα αποτελέσματα.

Τέλος η απόκλιση της \dot{m}_{e3} οφείλεται στον τρόπο υπολογισμού της με την Εξ. (4.2.6.10). Αναλυτικότερη εξήγηση μπορεί να αναζητηθεί στην Παράγραφο 5.1.2.

Σημαντικό ρόλο στα παραπάνω έπαιξαν και οι σε σχέση με το διάγραμμα ροής, διαφορές στις ενθαλπίες των απομαστεύσεων που έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με την Παράγραφο 3.5.2.1. και σημειώνονται στον Πίνακα 5.4.2.5.

Σημείωση

Οι ενθαλπίες των απομαστεύσεων, εφόσον τα αποτελέσματα αφορούν στο 90% του πλήρους φορτίου, είναι ίδιες με αυτές του Πίνακα 5.4.2.6 και για λόγους οικονομίας χώρου δεν τις επανα-σημειώνουμε.

Ροές ατμού διαρροών λαβυρίνθων (Αρχείο 'gland1.dat')

Πίνακας 5.6.2.6 Ιδιότητες των ροών ατμού διαρροών λαβυρίνθων όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 90% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.

Σημείο	Ενθαλπία [kJ/kg]	Παροχή μάζας \dot{m}
g_{HP}	3224,3716	142
g_{LP}	2645,5315	143
g_1	2933,9360	285
g_2	2890,5766	50
g_3	3309,1506	16
g_4	3177,8118	40
g_5	2968,6943	391

5.7 Κατάσταση Λειτουργίας στο 80% της Μέγιστης Ισχύος Πρώσης με καύση Πετρελαίου

5.7.1 Δεδομένα

Σημειώνονται τα δεδομένα- απαιτήσεις του χρήστη όπως αυτά έχουν δοθεί στο πρόγραμμα μέσω του αρχείου 'userparam1.dat'.

Ισχύς πρώσης:	$\dot{W}_T = 21653,0850 \text{ kW}$
Ηλεκτρική ισχύς:	$\dot{W}_G = 1500,000 \text{ kW}$
Παραγωγή γλυκού νερού:	$\dot{m}_{\text{dist}} = 0,69444 \text{ kg/s}$
Κατώτερη θερμογόνοος ικανότητα των καυσίμων:	$H_{u,\text{FO}} = 43040,30400 \text{ kJ/kg}$ $H_{u,\text{BOG}} = 55558,83600 \text{ kJ/kg}$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση πετρελαίου:	$\pi_{\text{FO}} = 100,000\%$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση φυσικού αερίου:	$\pi_{\text{BOG}} = 0,000 \%$

5.7.2 Αποτελέσματα

Αποτελέσματα (Αρχείο 'results.dat')

Αριθμός επαναλήψεων του κύκλου δοκιμών:	12
<i>Ισχύες</i>	
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Υψηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T1} = 11474,5339 \text{ kW}$
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T2} = 10178,5511 \text{ kW}$
Συνολική ισχύς:	$\dot{W}_T = 21653,0850 \text{ kW}$
<i>Λέβητες</i>	
Παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα:	$\dot{m}_{A1} = 48199,9728 \text{ kg/h}$
Συνολική παροχή αέρα καύσης:	$\dot{m}_A = 96399,9456 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου πετρελαίου:	$\dot{m}_{\text{FO}} = 6390,5591 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου φυσικού αερίου:	$\dot{m}_{\text{BOG}} = 0,0000 \text{ kg/h}$
Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο:	$\dot{H}_f = 76403,2245 \text{ kW}$
<i>Βαθμοί απόδοσης</i>	
Βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα:	$\eta_B = 88,4856\%$
Βαθμός απόδοσης μηχανικής ισχύος:	$\eta_{\text{SP}} = 28,3405\%$
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{\text{SG}} = 1,9633\%$
Ηλεκτρομηχανικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{\text{SPG}} = 30,3088\%$
Θερμικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_\theta = 0,2202\%$

Βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης:

$$\eta_{\text{plant}} = 30,5241\%$$

Τιμές του διαγράμματος ροής – Συμπεράσματα

Ισχύς πρόωσης

Η τιμή της συνολικής ισχύος που σημειώνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα ροής είναι ίση με $\dot{W}_{\text{T,διαγ.ροής}} = 21653,0850 \text{ kW}$ και, όπως ήταν αναμενόμενο, η απόκλιση είναι μηδενική.

Παροχή μάζας καυσίμου (πετρελαίου)

Για τη δεδομένη κατάσταση λειτουργίας η απαραίτητη παροχή μάζας καυσίμου είναι όπως φαίνεται στο εγχειρίδιο ίση με, $\dot{m}_{\text{FO,διαγ.ροής}} = 6444 \text{ kg/h}$ δηλαδή μικρότερη από αυτή που προσδιορίστηκε από το πρόγραμμα κατά $\text{dev}_{\text{FO}} = -0,829\%$. Η απόκλιση αυτή είναι ικανοποιητικά μικρή και θεωρείται ότι οφείλεται στη διαφορετική σύνθεση του καυσίμου Fuel Oil που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς του προγράμματος σε σχέση με αυτή που έχει χρησιμοποιηθεί κατά τη δημιουργία του διαγράμματος ροής.

Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο

Από πράξεις που βασίζονται στο διάγραμμα ροής έχουμε για την ίδια θερμογόνο ικανότητα ότι $\dot{H}_{\text{f,διαγ.ροής}} = 77042,144 \text{ kW}$ και $\text{dev}_{\text{Hf}} = -0,6077\%$.

Παροχή αέρα καύσης

Για την παροχή καυσίμου που υπολογίστηκε από το πρόγραμμα και για $\lambda_{\alpha} = 1,1061$, η παροχή μάζας αέρα καύσης που υπολογίζει το σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης είναι ίση με $\dot{m}_{\text{A,εγχειρίδιου}} = 98978,4214 \text{ kg/h}$ και έχουμε απόκλιση σε σχέση με αυτή που υπολογίζει το πρόγραμμα ίση με $\text{dev}_{\text{A}} = -2,6051\%$. Επαληθεύεται λοιπόν για ακόμη μια φορά το γεγονός ότι οι υπολογισμοί στον αέρα καύσης που βασίζονται στη σύνθεση του καυσίμου (βλ. Παράγραφο 3.3.2) δίνουν καλύτερα αποτελέσματα απ' ότι η χρήση γενικών προσεγγιστικών συντελεστών.

Βαθμός απόδοσης λέβητα

Στο διάγραμμα ροής σημειώνεται για το βαθμό απόδοσης του λέβητα ότι $\eta_{\text{B, διαγ.ροής}} = 88,4\%$ και κατά συνέπεια έχουμε απόκλιση από αυτόν που υπολογίστηκε ανωτέρω ίση με $\text{dev}_{\eta_{\text{B}}} = 0,09683\%$. Η απόκλιση αυτή είναι αρκετά μικρή και τα διάφορα αίτια που έχουν εξηγηθεί και ανωτέρω περιλαμβάνουν τη διαφορετική τιμή της ατμοπαραγωγής και πιθανά σφάλματα στη μέτρηση των στοιχείων του σχετικού διαγράμματος του εγχειρίδιου (Διάγραμμα 2.1 του Παραρτήματος 2).

Βαθμός απόδοσης εγκατάστασης

Στο διάγραμμα ροής είναι σημειωμένος ο βαθμός απόδοσης $\eta_{\text{plant}} = 31,5\%$ και συνεπώς έχουμε απόκλιση της τάξεως του $\text{dev}_{\eta_{\text{plant}}} = -3,0981\%$ από τον υπολογισθέντα. Όπως έχει ήδη ειπωθεί, αυτό οφείλεται στην άγνοια του ορισμού του βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης που χρησιμοποιείται το εγχειρίδιο και τα διαγράμματα ροής.

Ροές υπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'sup1.dat')

Πίνακας 5.7.2.1 Ιδιότητες των ροών υπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 80% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας ḡ	Παροχή μάζας ḡ από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
B	61,29	515,000	3457,1388	6,9168	86250,6216	87022	-0,8864
0	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	75931,6255	76684	-0,9811
1	53,84	510,000	3446,9017	6,9610	75931,6255	76684	-0,9811
2	5,12	209,299	2875,1816	7,0909	74222,2524	74993	-1,0278
3	5,12	209,299	2875,1816	7,0909	66557,8286	66861	-0,4534
4	0,05	307,151	2290,5428	0,4916	61494,8404	61788	-0,4745
5	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	6092,8216	6150	-0,9297
6	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	4226,1744	4188	0,9115
c	0,05	307,151	2298,1662	0,4916	61351,8404	61645	-0,4756

Οι αποκλίσεις των παροχών μάζας των ροών υπέρθερμου ατμού είναι αρκετά ικανοποιητικές και όλες μικρότερες της μονάδας εκτός από αυτή της ροής 2 οποία επηρεάζεται από την παροχή της απομάστευσης e_1 αλλά και την παροχή της ροής 0 του υπέρθερμου ατμού.

Τα αίτια των αποκλίσεων έχουν αναλυθεί σε προηγούμενες Παραγράφους και δεν κρίνεται σκόπιμο να τα επαναλάβουμε εδώ.

Ροές αφυπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'des1.dat')

Πίνακας 5.7.2.2 Ιδιότητες των ροών αφυπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για την κατάσταση λειτουργίας στο 80% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας ḡ	Παροχή μάζας ḡ από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
d ₁	0,05	0,0000	2463,7735	0,0000	6052,8216	6110	-0,9358
d ₂	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	6052,8216	6110	-0,9358
d ₄	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₅	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₆	0,05		2672,9330		50,0000	50	*
d ₇	3,56	138,9000	584,4836	1,7279	3468,0781	3476	-0,2279
d ₈	5,12	209,2990	2875,1816	7,0909	1477,8106	1450	1,9180
d ₉	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*

d ₁₀	5,12	209,2990	2875,1816	7,0909	6044,6133	6540	-7,5747
d ₁₁	5,12	209,2990	2875,1816	7,0909	2576,5352	7236	- ¹
d ₁₂	3,43		3107,2437		4210,1744	4172	0,9150
d ₁₃	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₄	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₅	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₆	61,29	288,0000	2832,8558	5,9695	1657,4607	1665	-0,4528
d ₁₇			2832,8558		125,0000	125	*
d ₁₈			2832,8558		1709,3731	1691	1,0865
d ₁₉			2832,8558		75,0000	75	*
d ₂₀			2832,8558		636,4662	600	6,0777
d ₂₁			2832,8558		0,0000	0	*
d ₂₂			2832,8558		0,0000	0	*
d ₂₃			2832,8558		820,9945	829	-0,9657
d ₂₄	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	1725,0000	1725	*
d ₂₅	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	244,0000	244	*
d ₂₆	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	890,0000	890	*
d ₂₇	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	486,0000	486	*
d ₂₈	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	10,0000	10	*
d ₂₉	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	95,0000	95	*
d ₃₀	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₁	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₂	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₃	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₄	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₅	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₆	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₇	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃₈	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	1725,0000	1725	*
d ₃₉	15,00	0,0000	3098,7331	0,0000	1709,3731	1691	1,0865
d ₄₀	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₁	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₂	5,12	209,2990	2875,1816	7,0909	3468,0781	3476	-0,2279

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Όπως και στις προηγούμενες καταστάσεις, η μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρείται στην παροχή μάζας του σημείου d₁₀ εφόσον d₁₀=d_{e2}-d₈.

Αρκετά σημαντική είναι και η διαφορά στην τιμή της παροχής του ρεύματος d₂₀ δηλαδή της παροχής ατμού προς τους διασκορπιστές καυσίμου. Όπως έχουμε δει και στην Παράγραφο 3.5.5.1 της ενότητας των Συμπληρωματικών Υπολογισμών, η παροχή αυτή υπολογίζεται από τα διαγράμματα 3.5.5.1.1 (Πίεση παροχής καυσίμου σε κάθε

¹ Στο σημείο d₁₁ δεν σημειώνεται η απόκλιση γιατί δεν τίθεται θέμα σύγκρισης μετά την τροποποίηση του διαγράμματος ροής.

διασκορπιστή συναρτήσει της Παροχής καυσίμου στο λέβητα ανά διασκορπιστή) και 3.5.5.1.2 (Κατανάλωση ατμού ανά διασκορπιστή συναρτήσει της Πίεσης παροχής καυσίμου σε αυτόν). Τα διαγράμματα αυτά υπέστησαν στατιστική ανάλυση προσαρμογής σε εξισώσεις από το Matlab αφού μετρήθηκαν μέσω προγράμματος γραφικών οι τιμές των σημείων τους. Η διαδικασία αυτή είναι πιθανό να εισάγει σφάλμα. Η διαφορά στην παροχή μάζας καυσίμου του διαγράμματος ροής σε σχέση με το αποτέλεσμα του προγράμματος ενδέχεται να παίζει ρόλο.

Απόκλιση σε σχέση με το διάγραμμα ροής σημειώνεται τέλος στην παροχή $\dot{m}_{d39} = \dot{m}_{d18} = \dot{m}_{e1}$. Γνωρίζουμε ότι η παροχή αυτή υπολογίζεται με χρήση της Εξ. (4.2.6.24), δηλαδή με ισολογισμό στην Ατμογεννήτρια Χαμηλής πίεσης και συνεπώς επηρεάζεται από τις ιδιότητες και τις παροχές μάζας των ροών που συμμετέχουν στον ισολογισμό. Μεγαλύτερη επιρροή στην τιμή της \dot{m}_{d39} έχει βέβαια ο προσεγγιστικός τρόπος προσδιορισμού των θερμικών απωλειών της Ατμογεννήτριας (βλ. Παράγραφο 3.5.1.3).

Τέλος, άξια σχολιασμού είναι η διαφορά στην τιμή της παροχής \dot{m}_{d8} που συμβαίνει για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν και στην Παράγραφο 5.4.2.

Ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού (Αρχείο 'cond1.dat')

Πίνακας 5.7.2.3 Ιδιότητες των ροών κορεσμένου και υπόψυκτου νερού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 80% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_1	0,05	33,100	138,7036	0,4793	67454,6620	67805	-0,5167
σ_2	3,43	32,500	136,5019	0,4710	67454,6620	67805	-0,5167
σ_3	3,43	45,611	191,2328	0,6465	67454,6620	67805	-0,5167
σ_4	1,00	90,000	376,9915	1,1926	391,0000	391	*
σ_5	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_6	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_7	0,05	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_8	1,00	90,000	376,9915	1,1926	1477,8106	1450	1,9180
σ_9	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{10}	3,43	49,197	206,2246	0,6932	67454,6620	67805	-0,5167
σ_{11}	1,00	56,598	236,9956	0,7883	8481,0663	8499	-0,2110
σ_{12}	3,43	49,197	206,2246	0,6932	67454,6620	67805	-0,5167
σ_{13}	1,00		245,2764	0,8134	12007,3375	12004	0,0278
σ_{14}	3,43	95,301	399,4844	1,2534	67454,6620	67805	-0,5167
σ_{15}	3,43		376,2374		79461,9996	79809	-0,4348
σ_{16}	3,43	138,150	581,2630	1,7201	87908,0822	88687	-0,8783
σ_{17}	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{18}	75,51	140,687	596,8162	1,7390	87908,0822	88687	-0,8783
σ_{19}	75,51	140,687	596,8162	1,7390	87908,0822	88687	-0,8783

σ_{20}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	244,0000	244	*
σ_{21}	8,83	120,000	504,2653	1,5272	890,0000	890	*
σ_{22}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	486,0000	486	*
σ_{23}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	10,0000	10	*
σ_{24}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	95,0000	95	*
σ_{25}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{26}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{27}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{28}			608,3331		1725,0000	1725	*
σ_{29}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{30}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{31}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{32}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{33}	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{34}	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{35}					1725,0000	1725	*
σ_{36}	1,00	80,000	334,9905	1,0754	1725,0000	1725,0000	*
σ_{37}	8,83	80,124	336,1395	1,0763	1725,0000	1725,0000	*
σ_{38}	3,43	58,621	245,6403	0,8137	12007,3375	12004	0,0278
σ_{39}	1,00	30,000	125,8325	0,4368	1582,4607	1590	-0,4742
σ_{40}	11,28	100,000	419,8701	1,3062	75,0000	75	*
σ_{41}	15,00	140,000	589,9387	1,7381	1709,3731	1691	1,0865

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Γενικά οι αποκλίσεις που σημειώνονται στον ανωτέρω πίνακα είναι αρκετά ικανοποιητικές. Η πιο σημαντική παρατηρείται στην τιμή της παροχής $\dot{m}_{\sigma 8}$ και είναι απόρροια της απόκλισης της \dot{m}_{d8} , αφού $\dot{m}_{d8} = \dot{m}_{\sigma 8}$ αλλά και η $\dot{m}_{\sigma 41}$ εφόσον $\dot{m}_{\sigma 41} = \dot{m}_{d39}$.

Οι υπόλοιπες αποκλίσεις είναι μικρότερες και έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες Παραγράφους.

Ο Πίνακας 5.7.2.4 περιέχει τις θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα για ροές του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού και τις αποκλίσεις τους από τις δεδομένες του διαγράμματος ροής:

Πίνακας 5.7.2.4 Θερμοκρασίες και αποκλίσεις τους από τις δεδομένες των διαγραμμάτων ροής για ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού σε κατάσταση λειτουργίας στο 80% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Θερμοκρασία [°C]	Θερμοκρασία από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_3	45,611	45,3	0,6865
σ_{10}	49,197	48,6	1,2284
σ_{12}	49,197	48,6	1,2284
σ_{38}	58,621	55,5	5,6234

Όπως στα προηγούμενα η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στην τιμή της θερμοκρασίας του σημείου σ_{38} η οποία προκύπτει από την Εξ. (4.2.6.14) με προσέγγιση του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης της αντλίας P_2 , $\eta_{p2}=0,7$.

Διαφορές παρατηρούνται και στις θερμοκρασίες των σ_{10} και σ_{12} οι οποίες προκύπτουν με ισολογισμό ενέργειας στο ψυγείο διαρρών λαβυρίθων, αλλά και στην T_{o3} που προκύπτει με ισολογισμό ενέργειας στον αποστακτήρα γλυκού νερού.

Ροές ατμού απομάστευσης (Αρχείο 'bleed1.dat')

Πίνακας 5.7.2.5 Ιδιότητες των ροών ατμού απομάστευσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 80% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
e ₁	15,00	327,41	3098,7331	7,0228	1709,3731	1691	1,0865
e ₂	5,12	209,299	2875,1816	7,0909	7522,4238	7990	-5,8520
e ₃	1,14	98,333	2670,2771	7,2877	5062,9882	5073	-0,1974

Η μεγαλύτερη απόκλιση παροχής σημειώνεται στη ροή e₂ η οποία εξυπηρετεί τον απαερωτή (d₁₁), τον αποστακτήρα (d₈) και τον προθερμαντήρα αέρα (d₄₂). Η απόκλιση οφείλεται κυρίως στη μετατροπή του διαγράμματος ροής που έχουμε ήδη αναφέρει, δηλαδή στην εξυπηρέτηση του απαερωτή και από το ρεύμα d₁₂ αλλά και στις αποκλίσεις των τιμών των παροχών μάζας των ρευμάτων d₄₂ και d₈.

Εφόσον $\dot{m}_{e1} = \dot{m}_{d39}$ η απόκλιση της παροχής της ροής e₁ έχει εξηγηθεί ανωτέρω. Η αντίστοιχη τιμή για την e₃ λίγο απέχει από την αντίστοιχη του διαγράμματος ροής.

Στον κατωτέρω Πίνακα 5.7.2.6 σημειώνονται οι αποκλίσεις στις ενθαλπίες που υπολογίστηκαν σε σχέση με αυτές που αποτυπώνονται στο διάγραμμα ροής.

Πίνακας 5.7.2.6 Ενθαλπίες των ροών απομάστευσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 80% της μέγιστης ισχύος πρόωσης και αποκλίσεις τους από τις δεδομένες του διαγράμματος ροής.

Σημείο	Ενθαλπία [kJ/kg]	Τιμή ενθαλπίας από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
e ₁	3126,89845	3098,7331	0,9089
e ₂	2897,6669	2875,1816	0,78205
e ₃	2692,00129	2670,2771	0,81356

Παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις αυτές είναι ικανοποιητικές αν λάβουμε υπόψη και τον αρκετά προσεγγιστικό τρόπο προσδιορισμού τους (βλ. Παράγραφο 3.5.2.1).

Επιπλέον, όπως ειπώθηκε και στην Παράγραφο 5.4.2, είναι γεγονός ότι δεν είμαστε σίγουροι για την ορθότητα των δεδομένων από τα διαγράμματα ροής ενθαλπιών κατά μήκος των στροβίλων και κατ' επέκταση των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης που προκύπτουν με βάση τις τιμές αυτές. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι είμαστε ικανοποιημένοι από το αποτέλεσμα.

Ροές ατμού διαρροών λαβυρίνθων (Αρχείο 'gland1.dat')

Πίνακας 5.7.2.6 Ιδιότητες των ροών ατμού διαρροών λαβυρίνθων όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 80% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Ενθαλπία [kJ/kg]	Παροχή μάζας ḡ
g _{HP}	3218,2136	142
g _{LP}	2641,3261	143
g ₁	2928,7578	285
g ₂	2875,1816	50
g ₃	3311,0385	16
g ₄	3181,0150	40
g ₅	2963,3562	391

5.8 Κατάσταση Λειτουργίας στο 50% της Μέγιστης Ισχύος Πρόωσης με καύση Πετρελαίου

5.8.1 Δεδομένα

Σημειώνονται τα δεδομένα- απαιτήσεις του χρήστη όπως αυτά έχουν δοθεί στο πρόγραμμα μέσω του αρχείου 'userparam1.dat'.

Ισχύς πρόωσης:	$\dot{W}_T = 13533,1779 \text{ kW}$
Ηλεκτρική ισχύς:	$\dot{W}_G = 1500,000 \text{ kW}$
Παραγωγή γλυκού νερού:	$\dot{m}_{\text{dist}} = 0,69444 \text{ kg/s}$
Κατώτερη θερμογόνοος ικανότητα των καυσίμων:	$H_{u,\text{FO}} = 43040,30400 \text{ kJ/kg}$ $H_{u,\text{BOG}} = 55558,83600 \text{ kJ/kg}$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση πετρελαίου:	$\pi_{\text{FO}} = 100,000\%$
Ποσοστό (%) της ατμοπαραγωγής που οφείλεται σε καύση φυσικού αερίου:	$\pi_{\text{BOG}} = 0,000 \%$

5.8.2 Αποτελέσματα

Αποτελέσματα (Αρχείο 'results.dat')

Αριθμός επαναλήψεων του κύκλου δοκιμών:	15
<i>Ισχύες</i>	
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Υψηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T1} = 8139,0354 \text{ kW}$
Ισχύς που παρέχεται από το στρόβιλο Χαμηλής Πίεσης:	$\dot{W}_{T2} = 5394,1426 \text{ kW}$
Συνολική ισχύς:	$\dot{W}_T = 13533,1779 \text{ kW}$
<i>Λέβητες</i>	
Παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα:	$\dot{m}_{A1} = 35500,4643 \text{ kg/h}$
Συνολική παροχή αέρα καύσης:	$\dot{m}_A = 71000,9286 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου πετρελαίου:	$\dot{m}_{\text{FO}} = 4506,2063 \text{ kg/h}$
Παροχή καυσίμου φυσικού αερίου:	$\dot{m}_{\text{BOG}} = 0,0000 \text{ kg/h}$
Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο:	$\dot{H}_f = 53874,5798 \text{ kW}$
<i>Βαθμοί απόδοσης</i>	
Βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα:	$\eta_B = 88,1717\%$
Βαθμός απόδοσης μηχανικής ισχύος:	$\eta_{\text{SP}} = 25,1198\%$
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{\text{SG}} = 2,7842\%$
Ηλεκτρομηχανικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_{\text{SPG}} = 27,9040\%$
Θερμικός βαθμός απόδοσης:	$\eta_\theta = 0,3088\%$
Βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης:	$\eta_{\text{plant}} = 28,2128\%$

Τιμές του διαγράμματος ροής – Συμπεράσματα

Ισχύς πρόωσης

Η τιμή της συνολικής ισχύος που σημειώνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα ροής είναι ίση με $\dot{W}_{T, \text{διαγ.ροής}} = 13533,1779 \text{ kW}$ συνεπώς η απόκλιση σε σχέση με τα αποτελέσματα του προγράμματος είναι μηδενική.

Παροχή μάζας καυσίμου (πετρελαίου)

Μετά από επισκόπηση του διαγράμματος ροής βλέπουμε ότι η απαραίτητη παροχή καυσίμου για την συγκεκριμένη κατάσταση είναι ίση με, $\dot{m}_{FO, \text{διαγ.ροής}} = 4550 \text{ kg/h}$ και διαφέρει από αυτή που προέκυψε ως αποτέλεσμα του προγράμματος κατά $\text{dev}_{FO} = -0,9625\%$. Η απόκλιση αυτή είναι αρκετά μικρή και προφανώς οφείλεται στη διαφορετική σύνθεση του καυσίμου Fuel Oil που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς του προγράμματος σε σχέση με αυτή που έχει χρησιμοποιηθεί κατά τη δημιουργία του διαγράμματος ροής.

Ενέργεια που παρέχεται από το καύσιμο

Από πράξεις που βασίζονται στο διάγραμμα ροής προκύπτει ότι $\dot{H}_{f, \text{διαγ.ροής}} = 54398,162 \text{ kW}$ και $\text{dev}_{Hf} = -0,96249\%$.

Παροχή αέρα καύσης

Για την παροχή καυσίμου που υπολογίστηκε από το πρόγραμμα και για $\lambda_a = 1,1555$ η παροχή μάζας αέρα καύσης που υπολογίζει το σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης είναι ίση με $\dot{m}_{A, \text{εγχειρίδιου}} = 72900,0405 \text{ kg/h}$ συνεπώς έχουμε απόκλιση της τάξεως των $\text{dev}_A = -2,6051\%$. Επισημαίνεται ότι οι υπολογισμοί στον αέρα καύσης που βασίζονται στη σύνθεση του καυσίμου (βλ. Παράγραφο 3.3.2) δίνουν καλύτερα αποτελέσματα απ' ό,τι η χρήση γενικών προσεγγιστικών συντελεστών.

Κάνοντας μια επισκόπηση στις προηγούμενες καταστάσεις καύσης αποκλειστικά πετρελαίου, παρατηρούμε ότι η απόκλιση στην παροχή αέρα καύσης παραμένει παντού ίση με, $\text{dev}_A = -2,6051$, και μεταφράζεται σε απόκλιση μεταξύ των δύο μεθόδων (σταθερού συντελεστή για το εγχειρίδιο και ανηγμένου στη χημεία του καυσίμου για το πρόγραμμα που κατασκευάσαμε) που χρησιμοποιούνται.

Βαθμός απόδοσης λέβητα

Στο διάγραμμα ροής σημειώνεται ότι ο βαθμός απόδοσης λέβητα ίσος με $\eta_{B, \text{διαγ.ροής}} = 88,2\%$ συνεπώς έχουμε απόκλιση από αυτόν που υπολογίστηκε $\text{dev}_{\eta B} = -0,03209\%$. Η απόκλιση αυτή είναι αρκετά μικρή για να ασχοληθούμε περαιτέρω με τη δικαιολόγηση της. Τα σχετικά αίτια μπορούν να αναζητηθούν στις προηγούμενες Παραγράφους του κεφαλαίου.

Βαθμός απόδοσης εγκατάστασης

Στο διάγραμμα ροής είναι σημειωμένος ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης $\eta_{\text{plant}} = 29,6\%$ και συνεπώς έχουμε απόκλιση από τον υπολογισθέντα της τάξεως του

$dev_{\eta plant} = -3,3143\%$. Αυτό οφείλεται στο ότι, αγνοώντας τον ορισμό του βαθμού απόδοσης που χρησιμοποιήθηκε από το διάγραμμα ροής, υποθέσαμε έναν πιθανότατα διαφορετικό που περιγράφεται στην Εξ. (4.1.32) .

Ροές υπέρθερμου ατμού (Αρχείο 'sup1.dat')

Πίνακας 5.8.2.1 Ιδιότητες των ροών υπέρθερμου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 50% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
B	61,29	515,000	3457,1388	6,9168	60400,2931	61435	-1,6842
0	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	50577,5427	51560	-1,9055
1	53,84	510,000	3446,9017	6,9610	50577,5427	51560	-1,9055
2	3,34	187,019	2837,2816	7,2025	48966,4421	50014	-2,0945
3	3,34	187,019	2837,2816	7,2025	43439,7516	44223	-1,7711
4	0,05	307,151	2370,2757	0,4916	40886,3632	41569	-1,6422
5	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	6092,8216	6150	-0,9297
6	59,82	510,000	3446,9017	6,9145	3729,9288	3725	0,1323
c	0,05	307,151	2377,4503	0,4916	40743,3632	41427	-1,6502

Οι διαφορές στις παροχές μάζας του υπέρθερμου ατμού κινούνται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Η μεγαλύτερη παρατηρείται στην τιμή της παροχής μάζας \dot{m}_2 που επηρεάζεται από την παροχή της απομάστευσης e_1 αλλά και την παροχή της ροής 0 του υπέρθερμου ατμού.

Ακολουθεί η $\dot{m}_0 = \dot{m}_1$ η οποία, εφόσον υπολογίζεται με βάση την Εξ. (4.1.17), αποκλίνει λόγω των διαφορών στις παροχές μάζας των απομαστεύσεων (σημειώνεται ότι οι εν λόγω παροχές επηρεάζονται από τον προσεγγιστικό τρόπο υπολογισμού των ενθαλπιών των απομαστεύσεων) αλλά και στις παροχές μάζας 5 και 6, οι οποίες υπολογίζονται βάσει διαγραμμάτων. Όπως έχουμε προαναφέρει, οι υπολογισμοί μέσω διαγραμμάτων συνεπάγονται μικρή ακρίβεια.

Κατά αναλογία, απόκλιση παρατηρούμε στην \dot{m}_3 που υπολογίζεται από την Εξ. (3.1.2.7), την \dot{m}_4 που υπολογίζεται με βάση την Εξ. (3.1.2.8) και την \dot{m}_B , της οποίας η τιμή προσδιορίζεται με βάση την Εξ. (4.1.18).

Ροές αφυπέρθερου ατμού (Αρχείο 'des1.dat')

Πίνακας 5.8.2.2 Ιδιότητες των ροών αφυπέρθερου ατμού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 50% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας ḡ	Παροχή μάζας ḡ από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
d ₁	0,05	0,0000	2463,7735	0,0000	6052,8216	6110	-0,9358
d ₂	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	6052,8216	6110	-0,9358
d ₄	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₅	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₆	0,05		2679,9306		50,0000	50	*
d ₇	3,56	138,9000	584,4836	1,7279	2597,2975	2513	3,3545
d ₈	3,34	187,0190	2837,2816	7,2025	1500,5758	1450	3,4880
d ₉	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₀	3,34	187,0190	2837,2816	7,2025	3884,1147	4199	-7,4991
d ₁₁	3,34	187,0190	2837,2816	7,2025	1286,8172	5394	- ¹
d ₁₂	3,43		3119,8086		3713,9288	3709	0,1329
d ₁₃	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₄	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₅	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₁₆	61,29	288,0000	2832,8558	5,9695	1628,2086	1635	-0,4154
d ₁₇			2832,8558		125,0000	125	*
d ₁₈			2832,8558		1611,1006	1546	4,2109
d ₁₉			2832,8558		75,0000	75	*
d ₂₀			2832,8558		774,2387	768	0,8123
d ₂₁			2832,8558		0,0000	0	*
d ₂₂			2832,8558		0,0000	0	*
d ₂₃			2832,8558		653,9699	667	-1,9535
d ₂₄	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	1582,0000	1582	*
d ₂₅	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	244,0000	244	*
d ₂₆	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	890,0000	890	*
d ₂₇	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	343,0000	343	*
d ₂₈	8,83	175,0000	2773,5082	6,6307	10	10	*
d ₂₉	8,83	175	2773,5082	6,6307	95,0000	95	*
d ₃₀	8,83	175	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₁	8,83	175	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₂	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*

¹ Στο σημείο d₁₁ δεν σημειώνεται η απόκλιση γιατί δεν τίθεται θέμα σύγκρισης μετά την τροποποίηση του διαγράμματος ροής

d ₃₃	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₄	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₅	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₆	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	0,0000	0	*
d ₃₇	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₃₈	8,83	175,000	2773,5082	6,6307	1582,0000	1582	*
d ₃₉	9,65	0,0000	3030,7536	0,0000	1611,1006	1546	4,2109
d ₄₀	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₁	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
d ₄₂	3,34	187,019	2837,2816	7,2025	2597,2975	2513	3,3545

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Όπως και στα προηγούμενα η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στο σημείο d₁₀, πράγμα που είναι συνέπεια της αλλαγής της ροής στην περιοχή εκείνη (βλ. προηγούμενες Παραγράφους).

Η αμέσως μικρότερη διαφορά τιμών σε σχέση με το διάγραμμα ροής, σημειώνεται στην παροχή $\dot{m}_{d39} = \dot{m}_{d18} = \dot{m}_{e1}$ για τους ίδιους λόγους με αυτούς που αναλύθηκαν στην Παράγραφο 5.7.2.

Σημαντική απόκλιση παρατηρούμε και στην παροχή μάζας $\dot{m}_{d7} = \dot{m}_{d42}$. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, εφόσον η τιμή της παροχής υπολογίζεται με ισολογισμό στον προθερμαντήρα αέρα, επηρεάζεται από τα μεγέθη που συμμετέχουν σε αυτόν (βλ. Παράγραφο 5.4.2).

Όπως συμβαίνει σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας σε μερικό φορτίο πρόωσης, η παραδοχή ότι η α_w μένει σταθερή σε όλες τις καταστάσεις και οι διαφορές στην ενθαλπία της απομάστευσης e_2 , έχουν σαν αποτέλεσμα απόκλιση της τιμής της παροχής μάζας του ρεύματος d_8 .

Ροές κορεσμένου και υπόψυκτου νερού (Αρχείο 'cond1.dat')

Πίνακας 5.8.2.3 Ιδιότητες των ροών κορεσμένου και υπόψυκτου νερού όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 50% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_1	0,05	33,100	138,7036	0,4793	46846,1848	47587	-1,5568
σ_2	3,43	32,500	136,5019	0,4710	46846,1848	47587	-1,5568
σ_3	3,43	51,370	215,3099	0,7213	46846,1848	47587	-1,5568
σ_4	1,00	90,000	376,9915	1,1926	391,0000	391	*
σ_5	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_6	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_7	0,05	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_8	1,00	90,000	376,9915	1,1926	1500,5758	1450	3,4880
σ_9	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*

σ_{10}	3,43	56,518	236,8401	0,7871	46846,1848	47587	-1,5568
σ_{11}	1,00	63,497	265,8515	0,8749	5100,6859	5117	-0,3188
σ_{12}	3,43	56,518	236,8401	0,7871	46846,1848	47587	-1,5568
σ_{13}	1,00		266,3506	0,8764	8620,4702	8593	0,3197
σ_{14}	3,43	90,590	379,6594	1,1993	46846,1848	47587	-1,5568
σ_{15}	3,43		362,1045	0,0000	55466,6551	56180	-1,2697
σ_{16}	3,43	138,150	581,2630	1,7201	62028,5017	63070	-1,6513
σ_{17}	3,43	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{18}	75,51	141,588	600,6586	1,7482	62028,5017	63070	-1,6513
σ_{19}	75,51	141,588	600,6586	1,7482	62028,5017	63070	-1,6513
σ_{20}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	244,0000	244	*
σ_{21}	8,83	120,000	504,2653	1,5272	890,0000	890	*
σ_{22}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	343,0000	343	*
σ_{23}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	10,0000	10	*
σ_{24}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	95,0000	95	*
σ_{25}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{26}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{27}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{28}			598,3066		1582,0000	1582	*
σ_{29}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{30}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{31}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{32}	8,83	170,000	719,2558	2,0418	0,0000	0	*
σ_{33}	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{34}	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0	*
σ_{35}					1582,0000	1582	*
σ_{36}	1,00	80,000	334,9905	1,0754	1582,0000	1582,0000	*
σ_{37}	8,83	80,124	336,1395	1,0763	1582,0000	1582,0000	*
σ_{38}	3,43	63,655	266,7058	0,8767	8620,4702	8593	0,3197
σ_{39}	1,00	30,000	125,8325	0,4368	1553,2086	1560	-0,4353
σ_{40}	11,28	100,000	419,8701	1,3062	75,0000	75	*
σ_{41}	9,65	140,000	589,5914	1,7387	1611,1006	1546	4,2109

*Η παροχή μάζας στο σημείο αυτό αποτελεί δεδομένο του προγράμματος.

Η μεγαλύτερη απόκλιση σε σχέση με τα δεδομένα του διαγράμματος ροής παρατηρείται στην τιμή της παροχής $\dot{m}_{\sigma_{41}}$, αφού $\dot{m}_{\sigma_{41}} = \dot{m}_{d_{39}}$.

Απόκλιση παρατηρούμε και στην \dot{m}_{σ_1} η οποία υπολογίζεται με ισολογισμό στο κύριο ψυγείο, δηλαδή με χρήση της Εξ. (4.1.11) και προφανώς επηρεάζεται από τα διάφορα μεγέθη που συμμετέχουν στην εξίσωση (παροχές μάζας και ιδιότητες ροών).

Τέλος, διαφορές στην παροχή της σ_8 είναι λογικό να παρατηρούνται εφ' όσον $\dot{m}_{\sigma_8} = \dot{m}_{d_8}$.

Οι υπόλοιπες αποκλίσεις είναι πιο μικρές και αναλυτικότερος σχολιασμός τους μπορεί να αναζητηθεί στην Παράγραφο 5.4.2.

Ο Πίνακας 5.8.2.4 περιέχει τις θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα για ροές του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού και τις αποκλίσεις τους από τις δεδομένες του διαγράμματος ροής.

Πίνακας 5.8.2.4 Θερμοκρασίες και αποκλίσεις τους από τις δεδομένες των διαγραμμάτων ροής για ροές κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού σε κατάσταση λειτουργίας στο 50% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Θερμοκρασία [°C]	Θερμοκρασία από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
σ_3	51,370	50,7	1,3215
σ_{10}	56,518	55,5	1,8342
σ_{12}	56,518	55,5	1,8342
σ_{38}	63,655	60,2	5,7392

Για μια ακόμα φορά παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη απόκλιση σημειώνεται στην τιμή της θερμοκρασίας του σημείου σ_{38} . Ακολουθούν οι υπόλοιπες θερμοκρασίες. Τα αίτια των διαφορών έχουν εξηγηθεί σε προηγούμενες παραγράφους του κεφαλαίου και δεν κρίνεται σκόπιμη η επανάληψη τους.

Ροές ατμού απομάστευσης (Αρχείο 'bleed1.dat')

Πίνακας 5.7.2.5 Ιδιότητες των ροών ατμού απομάστευσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 80% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Εντροπία [kJ/kgK]	Παροχή μάζας \dot{m}	Παροχή μάζας \dot{m} από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
e_1	9,65	289,773	3030,7536	7,1039	1611,1006	1546	4,21091
e_2	3,34	187,019	2837,2816	7,2025	5384,6905	5649	-4,67887
e_3	0,96	102,775	2682,0206	7,3958	2553,3885	2654	-3,79094

Παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις των παροχών μάζας των απομαστεύσεων είναι αρκετά πιο μεγάλες από όσες αντίστοιχες έχουμε παρατηρήσει μέχρι τώρα. Η απόκλιση της \dot{m}_{e2} είναι λογική και αναμενόμενη λόγω της μεταβολής του διαγράμματος ροής, όμως για τις υπόλοιπες είχαμε συνηθίσει σε μικρότερες διαφορές.

Για την απομάστευση του στροβίλου Υψηλής Πίεσης εφόσον $\dot{m}_{e1} = \dot{m}_{d39} = \dot{m}_{d18}$, τα αίτια έχουν σημειωθεί στα συμπεράσματα κάτω από τον Πίνακα 5.8.2.2.

Η παροχή μάζας της απομάστευσης \dot{m}_{e3} του στροβίλου Χαμηλής Πίεσης υπολογίζεται με ισολογισμό ενέργειας στον Προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης, δηλαδή με την Εξ. (4.2.6.10). Η απόκλιση λοιπόν μπορεί να οφείλεται σε οποιαδήποτε από τις ποσότητες που εμφανίζεται στην εν λόγω εξίσωση και κυρίως στο γεγονός ότι έχουμε προσεγγιστικά θεωρήσει σταθερό ποσοστό π_{LP} των άδηλων απωλειών του εναλλάκτη. Επίσης σημαντικό

ρόλο παίζει η απόκλιση της ενθαλπίας της απομάστευσης, h_{e3} της οποίας ο υπολογισμός ήταν αποτέλεσμα παραδοχών και προσεγγίσεων (βλ. Παράγραφο 3.5.2.1).

Στο Πίνακα 5.8.2.6 σημειώνονται οι αποκλίσεις στις ενθαλπίες που υπολογίστηκαν σε σχέση με αυτές που αποτυπώνονται στο διάγραμμα ροής.

Πίνακας 5.8.2.6 Ενθαλπίες των ροών απομάστευσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 50% της μέγιστης ισχύος πρόωσης και αποκλίσεις τους από τις δεδομένες του διαγράμματος ροής.

Σημείο	Ενθαλπία [kJ/kg]	Τιμή ενθαλπίας από διάγραμμα ροής	Απόκλιση %
e ₁	3135,5445	3030,7536	3,4576
e ₂	2914,6749	2837,2816	2,7277
e ₃	2708,94054	2682,0206	1,00372

Όσον αφορά τώρα στις αποκλίσεις μεταξύ των ενθαλπιών των απομαστεύσεων που σημειώνονται στο διάγραμμα ροής και αυτών που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα με βάση την Παράγραφο 3.5.2.1, παρατηρούμε ότι μεγαλώνουν όσο μικραίνει η παραγωγή ισχύος.

Πράγματι, αν συγκρίνουμε τους πίνακες 5.4.2.6 για το 90% του φορτίου, 5.7.2.6 για το 80% του φορτίου και 5.8.2.6 για το 50% μεταξύ τους, προκύπτει ότι οι αποκλίσεις του πίνακα 5.8.2.6 είναι και οι μεγαλύτερες.

Αυτό είναι λογικό εφόσον όσο μετακινούμαστε σε μικρότερα φορτία, τόσο οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης που υπολογίζονται με τη βοήθεια του Διαγράμματος 3.5.2.1.1 απομακρύνονται από τους ονομαστικούς που σημειώνονται στον Πίνακα 3.5.2.1.2 και που έχουν υπολογιστεί με βάση στοιχεία μετρήσεων των διαγραμμάτων ροής για το 100% του φορτίου. Εξήγηση για το γεγονός αυτό μπορεί να αναζητηθεί και στην Παράγραφο 3.5.2.2 όπου παρατηρούμε ότι οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης που υπολογίζονται από τα δεδομένα των διαγραμμάτων ροής μεταξύ των διαφόρων καταστάσεων φόρτισης δεν ακολουθούν φθίνουσα πορεία όπως θα ήταν λογικό. Αυτό μας κάνει να αναρωτιόμαστε για την ορθότητα των στοιχείων των διαγραμμάτων ροής.

Το γεγονός ότι οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης αποκλίνουν περισσότερο όσο μικραίνει το φορτίο, οδηγεί και σε μεγαλύτερες αποκλίσεις των τιμών των υπόλοιπων μεγεθών των μετρήσεων για το 50% του MCR.

Ροές ατμού διαρρών λαβυρίθων (Αρχείο 'gland1.dat')

Πίνακας 5.8.2.7 Ιδιότητες των ρών ατμού διαρρών λαβυρίθων όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς του προγράμματος για κατάσταση λειτουργίας στο 50% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση πετρελαίου.

Σημείο	Ενθαλπία [kJ/kg]	Παροχή μάζας \dot{m}
g_{HP}	3203,0536	142
g_{LP}	2650,4792	143
g_1	2925,797	285
g_2	2837,2816	50
g_3	3316,0644	16
g_4	3181,015	40
g_5	2956,5572	391

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Γενικά συμπεράσματα και προτάσεις για τη βελτίωση και τη συνέχιση της μελέτης

6.1 Συμπεράσματα και Παραδοχές – Άρση των παραδοχών που θεωρήθηκαν κατά τη διάρκεια των υπολογισμών

Στην ενότητα αυτή σημειώνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα του προγράμματος και όλες οι παραδοχές που κρίθηκε αναγκαίο να γίνουν κατά την υπολογιστική διαδικασία, ώστε να μπορέσουμε να προχωρήσουμε με τους υπολογισμούς. Οι εν λόγω παραδοχές έχουν αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, όμως για εποπτικούς λόγους κρίνεται σκόπιμο να συγκεντρωθούν εδώ μαζί με προτάσεις για την άρση τους.

6.1.1 Αλλαγή στη διάταξη του διαγράμματος ροής

Για λόγους διευκόλυνσης των υπολογισμών και εφόσον θεωρήθηκε πιο λογική διάταξη, τροποποιήσαμε την πορεία της ροής του ρεύματος εξόδου του στροβίλου της αντλίας (d_{12}) ώστε να παρέχει ενέργεια στον Απαερωτή αντί για τους Προθερμαντήρες Αέρα (βλ. Παράρτημα 1, Β.1). Αυτό οδήγησε σε μερική μείωση των αναγκών που εξυπηρετεί η απομάστευση e_2 , οι οποίες περιλάμβαναν τους Προθερμαντήρες Αέρα, τον Αποστακτήρα και τον Απαερωτή και οδήγησε σε αποκλίσεις των τιμών των παροχών μάζας των ρευμάτων e_2 , d_{10} και d_{11} . Παρ' όλα αυτά δεν κρίνεται σκόπιμο να αλλάξουμε τη διάταξη ξανά, εφόσον δεν αλλάζει κάτι ουσιαστικό στη λειτουργία του συστήματος.

6.1.2 Προσδιορισμός της παροχής μάζας των καυσίμων

Κατά τη διάρκεια των υπολογισμών αντιμετωπίστηκε το πρόβλημα της διαχείρισης δύο καυσίμων (πετρελαίου και φυσικού αερίου) για καύση στο λέβητα και παραγωγή ατμού. Όταν έχουμε καύση ενός και μόνο καυσίμου είναι προφανές ότι αυτό είναι 'υπεύθυνο' για το σύνολο της ατμοπαραγωγής αλλά και της ενέργειας που παρέχει στο σύστημα. Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα προκύπτει με βάση τα Διαγράμματα 2.1 και 2.2 του Παραρτήματος 2, που δίνουν το βαθμό απόδοσης συναρτήσει της ατμοπαραγωγής ανά λέβητα για κάθε ένα από τα δύο είδη καυσίμου. Δεν είναι όμως προφανής ο τρόπος χειρισμού δύο διαφορετικών καυσίμων.

Για τους υπολογισμούς μας στηριχθήκαμε στην παραδοχή ότι το ποσοστό ενέργειας που παρέχεται από το κάθε καύσιμο είναι ίσο με το ποσοστό της ατμοπαραγωγής που παρέχεται από αυτό, μία αρκετά προσεγγιστική αντιμετώπιση, που όμως έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Πιο συγκεκριμένα, ο βαθμός απόδοσης του λέβητα προσεγγίστηκε ως εξής: Για το σύνολο της ατμοπαραγωγής (ανά λέβητα) προσδιορίστηκε από το Διάγραμμα 2.1 του

Παραρτήματος 2 ο βαθμός απόδοσης που αντιστοιχεί στην καύση πετρελαίου ενώ από το Διάγραμμα 2.2, ο αντίστοιχος που αντιστοιχεί στην καύση του φυσικού αερίου. Στη συνέχεια, με βάση το ποσοστό της ενέργειας που παρέχεται από το καθένα, υπολογίστηκε ο συνολικός βαθμός απόδοσης με την Εξ. (4.1.24). Η διαδικασία αυτή, όπως είδαμε και στις Ενότητες 5.3 και 5.6 έδωσε μία αρκετά ικανοποιητική προσέγγιση της τιμής του βαθμού απόδοσης του λέβητα.

Στη συνέχεια, η παροχή μάζας του κάθε ενός από τα δύο καύσιμα προσδιορίστηκε με χρήση των Εξ. (4.1.27) και (4.1.28) δηλαδή με υπολογισμό της συνολικής ενέργειας που παρέχεται ανά λέβητα από τα δύο καύσιμα και τον επιμερισμό της ανά είδος καυσίμου ανάλογα με το ποσοστό του κάθε ενός.

Η παραπάνω πορεία, όπως έχουμε παρατηρήσει και στις Παραγράφους του Κεφαλαίου 5, δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα που είναι κοντά στις τιμές των διαγραμμάτων ροής. Παρ' όλα αυτά, μια ενδελεχής μελέτη του τρόπου και της φύσης της καύσης δύο καυσίμων σε κοινό λέβητα και μία αναλυτική μοντελοποίησή του, θα μπορούσε να δώσει καλύτερα αποτελέσματα.

Παραθέτουμε εδώ τις παραδοχές που αφορούν μόνο στο φυσικό αέριο:

Πρώτον, κάναμε την υπόθεση ότι σε καταστάσεις αποκλειστικής καύσης φυσικού αερίου καίγεται μόνο όσο εξατμίζεται φυσικά και δε γίνεται εξαναγκασμένη εξάτμιση. Αυτό είναι αδύνατο καθώς μελετώντας τους μηχανισμούς εξάτμισης του φυσικού αερίου, καταλαβαίνουμε ότι δεν υπάρχει δυνατότητα εξάτμισης επαρκούς ποσότητας για την παραγωγή όλου του φορτίου πρόωσης ειδικά σε καταστάσεις πλήρους φορτίου ή του 90% (βλ. και Παράρτημα 1,Β).

Είναι γνωστό ότι κατά τη φυσική εξάτμιση του Φυσικού Αερίου, εξατμίζονται μόνο τα ελαφρύτερα συστατικά του δηλαδή το μεθάνιο και το άζωτο, ενώ κατά την εξαναγκασμένη εξατμίζονται και τα πιο βαριά όπως το αιθάνιο, το προπάνιο, το βουτάνιο ή και το πεντάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα, ανάλογα με την ποιότητα και τον τρόπο υγροποίησης του ορυκτού φυσικού αερίου. Κατά συνέπεια, ανάλογα με τον τρόπο εξάτμισης, διαφέρει και η σύνθεση του καυσίμου.

Προκειμένου να λάβουμε υπόψη και αυτή τη διαφορά και να είναι σε θέση το μοντέλο να προσδιορίσει πόσο φυσικό αέριο θα καίγεται με εξαναγκασμένη εξάτμιση, θα πρέπει να μελετηθούν οι μηχανισμοί εξάτμισης του φυσικού αερίου ώστε να βρεθεί η ποσότητα που είναι δυνατό να εξατμιστεί κάθε φορά ανάλογα με τη σύνθεση, ώστε να υπολογιστεί πρώτον η ποσότητα του φυσικού αερίου που πρέπει να εξατμιστεί τεχνικά και τελικά οι χημικές ιδιότητες του συνόλου του καυσίμου.

Δεύτερον, δε λάβαμε υπόψη την αλλαγή της σύνθεσης του φυσικού αερίου κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Είναι αναγκαία η χρήση δυναμικού μοντέλου εξάτμισης που θα λαμβάνει υπόψη την αλλαγή της παροχής μάζας, της σύνθεσης αλλά και των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του εξατμιζόμενου φυσικού αερίου κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού. Ένα τέτοιο μοντέλο έχει αναπτύξει ο Γιώργος Δημόπουλος [6].

Ο συνδυασμός αυτού του μοντέλου με τη μελέτη των μηχανισμών της εξάτμισης που προαναφέραμε, μπορεί να οδηγήσει σε μια αναλυτική προσομοίωση των ιδιοτήτων και της σύνθεσης του καυσίμου φυσικού αερίου για κάθε κατάσταση λειτουργίας.

6.1.3 Προσδιορισμός της παροχής μάζας αέρα καύσης

Όσον αφορά στον προσδιορισμό της παροχής αέρα καύσης, ενώ το εγχειρίδιο ανέφερε τον προσδιορισμό της με βάση στατιστικούς και σταθερούς στοιχειομετρικούς συντελεστές, δηλαδή με βάση την Εξ. (5.1.2.1), προτιμήσαμε να χρησιμοποιήσουμε τη χημική σύνθεση του καυσίμου και να υπολογίζουμε συντελεστές που αντιστοιχούν στη συγκεκριμένη σύνθεση του καυσίμου που δίνει ο χρήστης (βλ. Παράγραφο 3.3.2). Με άλλα λόγια, από μία γενικότερη αντιμετώπιση που θεωρεί τα πράγματα σταθερά, προτιμήθηκε η εφαρμογή της χημείας της καύσης.

Αυτός πιστεύεται ότι είναι και ο ορθότερος τρόπος, καθώς η παροχή που υπολογίζεται είναι ακριβώς αυτή που χρειάζεται το συγκεκριμένο καύσιμο για την καύση σε κάθε δεδομένη στιγμή. Μικρότερη παροχή αέρα θα μπορούσε να οδηγήσει σε μικρότερη ποσότητα του οξυγόνου από αυτή που απαιτείται για την τέλεια καύση με τα επακόλουθα προβλήματα. Αντιθέτως, μεγαλύτερη οδηγεί σε πτώση της θερμοκρασίας του καυσαερίου με αποτέλεσμα μικρότερο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας στις διάφορες επιφάνειες συναλλαγής και πτώση της θερμοκρασίας του λέβητα. Σε χαμηλά φορτία και με καύση Φυσικού Αερίου, μπορεί να παρατηρηθεί το φαινόμενο του σβησίματος κάποιου καυστήρα.

Για την αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων υπάρχει εγκατεστημένος αισθητήρας οξυγόνου, όμως βοηθάει βέβαια και ο εξ αρχής σωστός υπολογισμός του αέρα.

6.1.4 Προσδιορισμός ενθαλιών κατά μήκος της γραμμής αποτόνωσης

Όσον αφορά στις ενθαλπίες των διαφόρων σημείων κατά μήκος της γραμμής αποτόνωσης, αυτές προσδιορίζονται με διαφορετικό τρόπο για το πλήρες και το μερικό φορτίο.

Στο πλήρες φορτίο τις ενθαλπίες των σημείων e_1 , $e_2 \equiv 2 \equiv 3$ και e_3 τις θεωρούμε σταθερές και ίσες με αυτές που σημειώνονται στα αντίστοιχα διαγράμματα ροής του Παραρτήματος 1, 1.B.

Η ενθαλία του σημείου εξόδου του Στροβίλου Χαμηλής Πίεσης, αφού δεν δίνεται, υπολογίζεται με βάση τον ονομαστικό ισεντροπικό βαθμό απόδοσης $\eta_{sl2.2}$. Συγκεκριμένα, με βάση την Εξ. (4.2.6.5) υπολογίζεται η ενθαλία στην τελευταία βαθμίδα του στροβίλου h_i ενώ από την Εξ. (3.1.2.17) και το Σχήμα 7 της 'Μεθόδου για την Κατάστροψη Θερμικού Ισολογισμού Ναυτικών Προωπηρίων Εγκαταστάσεων Ατμού', [1] υπολογίζονται οι απώλειες εξαγωγής του στροβίλου Χαμηλής Πίεσης και τελικά η h_4 από την Εξ. (3.1.2.18). Είναι προφανές ότι ο προσδιορισμός των απωλειών του στροβίλου με βάση ένα γενικευμένο σχήμα που αφορά όλους τους στροβίλους και μάλιστα χρονολογείται τουλάχιστον από το 1998 (ημερομηνία έκδοσης του εγχειριδίου) εισάγει από μόνη της έναν παράγοντα αοριστίας στους υπολογισμούς.

Στο μερικό φορτίο καταστρώνουμε την πορεία που αναλύεται στην Παράγραφο 3.5.2.1, όπου θεωρείται μία καμπύλη που έχει αύξουσα πορεία και συνδέει τους αδιάστατους βαθμούς απόδοσης των στροβίλων κατά τμήματα με την αδιάσταση ισχύ πρόωσης. Η

καμπύλη αυτή έχει προκύψει από αντίστοιχη του εγχειριδίου που δίνει τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης και των δύο στροβίλων (από το σημείο εισόδου 1 του στροβίλου Υψηλής έως το 4 της εξόδου του στροβίλου Χαμηλής Πίεσης). Έχει γίνει η παραδοχή ότι η εν λόγω καμπύλη (Διάγραμμα 3.5.2.1.2) αντιπροσωπεύει τους ισεντροπικούς βαθμούς απόδοσης όλων των τμημάτων των στροβίλων και αρκεί να πολλαπλασιαστεί η αδιάστατη τιμή που προκύπτει από αυτή με τους ονομαστικούς βαθμούς απόδοσης του Πίνακα 3.5.2.1.2 για να προκύψουν οι τιμές στη συγκεκριμένη κατάσταση ισχύος που εξετάζουμε κάθε φορά.

Όσον αφορά τώρα στην ενθαλπία εξόδου του στροβίλου χαμηλής πίεσης, αυτή προσεγγίζεται με βάση τον βαθμό απόδοσης η_{SL} και το Διάγραμμα 3.5.2.1.2. Δεν χρησιμοποιείται ο βαθμός απόδοσης $\eta_{SL2.2}$, καθώς αυτός αναφέρεται στην ενθαλπία h_i του τελευταίου σταδίου του στροβίλου Χ.Π. και όχι στην h_4 .

Στο πλήρες φορτίο δεν ακολουθείται η ίδια πορεία με αυτή που περιγράφεται στην Παράγραφο 3.5.2.1, καθώς τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε αυτή (π.χ. $\eta_{SL2.2}$ και απώλειες εξαγωγής του στροβίλου Χ.Π) εφόσον βασίζονται σε υπολογισμούς, δίνουν ακριβέστερα αποτελέσματα.

Λόγω της αρκετά προσεγγιστικής πορείας που ακολουθήθηκε, τα αποτελέσματα των υπολογισμών για μερικό φορτίο δεν έχουν την ίδια ακρίβεια με αυτά για το ολικό. Μία λύση θα ήταν να πραγματοποιήσουμε τους ίδιους υπολογισμούς που κάναμε για το ολικό φορτίο και σε όλες τις καταστάσεις του μερικού που βασίζονται στα διαγράμματα ροής και να ακολουθήσουμε την ίδια πορεία υπολογισμών με την εισαγωγή καμπυλών που θα συνδέουν τους δεδομένους βαθμούς απόδοσης σε κάθε φορτίο. Παρ' όλα αυτά ανακαλύψαμε ότι τα σχετικά δεδομένα των διαγραμμάτων ροής δεν πρέπει να είναι ορθά καθώς η τιμή των ισεντροπικών βαθμών απόδοσης που προκύπτουν δεν φθίνει με την πτώση του φορτίου (βλ. Παράγραφο 3.5.2.2).

Λεπτομερέστερη μοντελοποίηση των στροβίλων που θα λαμβάνει υπόψη τη γεωμετρία των πτερυγίων, την ταχύτητα ροής του ρευστού και αναλυτική μελέτη της συμπεριφοράς τους, θα μπορούσε να δώσει λύση στα προβλήματα αυτά και μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα των υπολογισμών, όμως αυτό αποτελεί αντικείμενο ξεχωριστής μελέτης.

6.1.5 Μηχανικοί βαθμοί απόδοσης των στροβίλων πρόωσης

Από υπολογισμούς πάνω στα διαγράμματα ροής για το πλήρες φορτίο (Κεφάλαιο 3), έχουμε εξάγει ότι ο μηχανικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου Υψηλής Πίεσης είναι περίπου ίσος με, $\eta_{M1} = 0,96$. Φυσικά αυτή η τιμή είναι αρκετά προσεγγιστική και προφανώς δεν ισχύει για όλες τις καταστάσεις, όμως ελλείψεις άλλων στοιχείων τη χρησιμοποιούμε ως σταθερή τιμή του προγράμματος. Θα έπρεπε κατ' ελάχιστο να γίνει υπολογισμός του βαθμού απόδοσης σε διάφορα επίπεδα ισχύος, όμως αυτό είναι αδύνατο καθώς δεν ξέρουμε την κατανομή ισχύος μεταξύ των στροβίλων σε άλλες καταστάσεις εκτός από αυτές του 100% MCR. Πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα και αυτά τα στοιχεία που έχουμε για την κατανομή της ισχύος στο 100% MCR, δεν είναι αρκετά αξιόπιστα, καθώς έχουν αντληθεί από άλλη πηγή, δηλαδή από το εγχειρίδιο και όχι από τα ίδια τα διαγράμματα ροής.

Στο Κεφάλαιο 3 υποθέσαμε ότι και για τους δύο στροβίλους πρόωσης μαζί θα ισχύει,

$$\eta_{ML} = \eta_M \cdot \eta_L = 0,982 \quad (6.1.5.1)$$

όπου η_M είναι ο μηχανικός βαθμός απόδοσης των στροβίλων και η_L ο εξωτερικός.

Αυτή η υπόθεση μπορεί μεν να βασίζεται σε στοιχεία, παρ' όλα αυτά δεν παύει να παραμένει υπόθεση που μπορεί να οδηγήσει σε αποκλίσεις στα αποτελέσματα του προγράμματος.

Έχουμε παρατηρήσει ότι, γενικά, οι τιμές που εξάγει το πρόγραμμα δεν απέχουν πολύ από τις αντίστοιχες των διαγραμμάτων ροής. Παρ' όλα αυτά, αν θέλουμε να πετύχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια και επειδή οι εν λόγω βαθμοί απόδοσης είναι σημαντικοί για την περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος, για να μπορούμε να τους προσδιορίσουμε καλύτερα θα πρέπει να γίνει λεπτομερέστερη μελέτη και μοντελοποίηση των στροβίλων.

Με παρόμοια διαδικασία θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί ο τρόπος προσδιορισμού του συντελεστή απωλειών r_{RL} , ο οποίος μέχρι τώρα γίνεται με βάση διάγραμμα του εγχειριδίου [1]. Είναι σημαντικό να πετύχουμε ακρίβεια στον προσδιορισμό του συντελεστή αυτού, καθώς και αυτός συμμετέχει στην Εξ. (3.1.2.23), βάσει της οποίας υπολογίζεται η ισχύς στον άξονα των στροβίλων πρόωσης.

6.1.6 Πίεση εισαγωγής του ατμού στο στρόβιλο Υψηλής Πίεσης, P_1

Είναι γνωστό ότι πριν την εισαγωγή του στο στρόβιλο (σημείο 1), ο ατμός υπόκειται σε μείωση της πίεσής του λόγω της ρύθμισης της ισχύος με στραγγαλισμό ή με βαλβίδες ακροφυσίων.

Στην παρούσα μελέτη έχουμε υποθέσει ότι $P_1=0,9 \cdot P_0$. Για μεγαλύτερη ακρίβεια όμως, θα έπρεπε να βασιστούμε στο σύστημα που χρησιμοποιείται στην παρούσα εγκατάσταση (συνδυασμός ρύθμισης της ισχύος με στραγγαλισμό και με βαλβίδες ακροφυσίων) και να το μοντελοποιήσουμε ώστε να υπολογίζεται το ποσοστό πτώσης της πίεσης για κάθε επίπεδο ισχύος.

6.1.7 Θερμικές και άδηλες απώλειες

Από υπολογισμούς στα διαγράμματα ροής (Κεφάλαιο 3) παρατηρήσαμε ότι ορισμένοι εναλλάκτες, όπως ο Απαερωτής, η Ατμογεννήτρια Χαμηλής Πίεσης και ο Προθερμαντήρας Χαμηλής Πίεσης, έχουν άδηλες απώλειες. Εφόσον δεν στάθηκε δυνατόν να τις υπολογίσουμε με άλλο τρόπο, προσπαθήσαμε να τις προσεγγίσουμε με ποσοστά επί της ενέργειας που παρέχεται στον κάθε εναλλάκτη.

Συγκεκριμένα για τον Απαερωτή, οι απώλειες προσδιορίζονται ως ποσοστό επί της ενέργειας που παρέχεται σε αυτόν από το ρεύμα d_{11} . Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για λόγους ευκολίας στο πρόγραμμα θεωρήσαμε ότι ο Απαερωτής παίρνει ενέργεια και από το ρεύμα d_{11} και από την έξοδο του στροβίλου της αντλίας, d_{12} . Όμως στα διαγράμματα ροής πάνω στα οποία κάναμε υπολογισμούς, ο Απαερωτής παίρνει ενέργεια μόνο από το ρεύμα d_{11} . Όπως είναι κατανοητό θα χρειαστεί αργότερα να αλλάξει η βάση υπολογισμού των άδηλων απωλειών του εναλλάκτη.

Για το Σύστημα Ατμογεννήτριας Χαμηλής Πίεσης και Ψυγείου Συμπυκνώματος θεωρήσαμε το ποσοστό των θερμικών απωλειών ως προς την ενέργεια που ο εναλλάκτης παρέχει στο ρεύμα $s_{37} - d_{38}$. Υπολογίστηκε η τιμή αυτή για κάθε κατάσταση παραγωγής

πλήρους φορτίου για την οποία έχουμε δεδομένα από τα διαγράμματα ροής και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος τους, ο οποίος εισήχθη ως δεδομένο στο πρόγραμμα. Είναι φανερό ότι η θεώρηση ενός σταθερού μέσου όρου για όλες τις καταστάσεις δεν μπορεί να δώσει και τη μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα.

Για τον Προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης υπολογίστηκε πάλι με τον ίδιο τρόπο ένα σταθερό ποσοστό των άδηλων απωλειών του συναρτήσει της ενέργειας που παρέχεται από το ρεύμα απομάστευσης του στροβίλου Χαμηλής Πίεσης, e_3 .

Λεπτομερέστερη μελέτη στους ανωτέρω εναλλάκτες που θα περιλαμβάνουν υπολογισμούς που αφορούν τις επιφάνειες συναλλαγής, τους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και τον τρόπο που αυτοί επηρεάζονται από την ταχύτητα και τις θερμοκρασίες των ρευστών, θα μπορούσαν να δώσουν ακριβέστερα αποτελέσματα.

6.1.8 Προσέγγιση ιδιοτήτων σημείων

Για ορισμένα από τα σημεία του συστήματος δεν στάθηκε δυνατό να βρούμε δεδομένα από τα διαγράμματα ροής. Παρ' όλα αυτά εφόσον αυτά ήταν απαραίτητα για τους υπολογισμούς, χρειάστηκε να κάνουμε κάποιες προσεγγίσεις. Τα σημεία αυτά είναι τα ακόλουθα:

Πρώτα απ' όλα, είναι οι ροές εισόδου και η εξόδου του προθερμαντήρα αέρα. Από το εγχειρίδιο εξήχθη μία ονομαστική θερμοκρασία των τιμών αυτών και χρησιμοποιήθηκε ως δεδομένο από το πρόγραμμα. Επίσης θεωρήθηκε και μία σταθερή τιμή για το c_p του αέρα. Σε επόμενη φάση θα μπορούσαν οι εν λόγω θερμοκρασίες αλλά και το c_p να προσδιορίζονται με βάση τις συνθήκες του περιβάλλοντος (μηχανοστασίου). Για παράδειγμα, με περαιτέρω ανάλυση των χαρακτηριστικών του προθερμαντήρα, με δεδομένη τη θερμοκρασία εισόδου (μηχανοστασίου) θα μπορούσε να προκύπτει η θερμοκρασία εξόδου και το c_p . Το ίδιο ισχύει και για τις ιδιότητες του ρεύματος ατμού εξόδου του Προθερμαντήρα Αέρα d_7 , οι οποίες παίρνονται ως δεδομένες με θερμοκρασία, μία ονομαστική θερμοκρασία από το εγχειρίδιο και πίεση, την πίεση του Προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης.

Για το ρεύμα d_6 που είναι μίγμα αέρα και ατμού και εξέρχεται από τον Προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης, έχει προσεγγιστικά θεωρηθεί ότι η ενθαλπία του ισούται με την ενθαλπία κορεσμένου ατμού στη θερμοκρασία της απομάστευσης e_3 .

Τέλος η ενθαλπία διαρροών του Απαερωτή g_2 , υποθέτουμε ότι είναι ίση με αυτή του ρεύματος d_{11} , και τελικά του e_2 .

Αναλυτικότερη μοντελοποίηση των εναλλακτών αυτών (Απαερωτή και Προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης) θα μπορούσε να δώσει πιο ακριβή αποτελέσματα.

6.1.9 Στρόβιλος γεννήτριας

Για τη λειτουργία του στροβίλου της γεννήτριας ρεύματος της εγκατάστασης, γνωρίζουμε από το εγχειρίδιο ότι ισχύουν τα διαγράμματα και οι πίνακες της Παραγράφου 3.5.3 για την παροχή μάζας ατμού \dot{m}_5 (Διάγραμμα 3.5.3.1), την ενθαλπία εξόδου h_{d1} (Διάγραμμα 3.5.3.2) και τον ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης, η_6 (Πίνακας 3.5.3.1) συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος.

Τα διαγράμματα 3.5.3.1 και 3.5.3.2 αναφέρονται όπως μπορούμε να δούμε, σε συγκεκριμένες συνθήκες εισόδου. Για να απεξαρτηθούμε από τον περιοριστικό αυτό παράγοντα, με βάση το 3.5.3.2 κατασκευάσαμε το διάγραμμα της διαφοράς ενθαλπίας $\Delta h = h_5 - h_{d1}$ (Διάγραμμα 3.5.3.3) συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος και το διάγραμμα του μηχανικού βαθμού απόδοσης η_M πάλι συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος (Διάγραμμα 3.5.3.4). Η παροχή μάζας υπολογίζεται από την Εξ. (4.1.4).

Είναι φανερό ότι η κατασκευή του Διαγράμματος 3.5.3.4 και η παραδοχή ότι με τη χρήση του 3.5.3.3 λύνεται το πρόβλημα της σταθερής ενθαλπίας στην είσοδο, εισάγει έναν παράγοντα σφάλματος στους υπολογισμούς μας. Μόνο οι διάφοροι υπολογισμοί από διάγραμμα σε διάγραμμα, αλλοιώνουν την ακρίβεια των αναμενόμενων αποτελεσμάτων.

Παρ' όλα αυτά οι αποκλίσεις στην τιμή της παροχής μάζας ατμού προς το στρόβιλο, παραμένουν σε ικανοποιητικά επίπεδα για τις διάφορες καταστάσεις παραγωγής ισχύος με τη μεγαλύτερη να έχει τιμή γύρω στο -1,5738%. Όπως είναι λογικό, παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρούνται για καταστάσεις όπου έχουμε μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος δηλαδή για τις 100% MCR με καύση Φυσικού Αερίου και 100% MCR με καύση Φυσικού Αερίου και Πετρελαίου ($\dot{W}_G=1840$ kW), 90% MCR με καύση Φυσικού Αερίου και 90% MCR με καύση Φυσικού Αερίου και Πετρελαίου ($\dot{W}_G=1820$ kW). Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις οι αποκλίσεις της τιμής της \dot{m}_5 παραμένουν σε ικανοποιητικά χαμηλά επίπεδα.

Όσον αφορά τώρα στην ενθαλπία του ρεύματος διαρροών λαβυρίνθων h_{g4} , αυτή όπως βλέπουμε και σε προηγούμενες Παραγράφους, υπολογίζεται με τη βοήθεια των Εξ. (4.1.5) και (4.1.6). Η Εξ. (4.1.6) έχει προκύψει από το εγχειρίδιο [1] του οποίου τα στοιχεία όπως έχουμε ήδη αναφέρει, αφορούν περισσότερες της μίας εγκαταστάσεις και, αναπόφευκτα κρύβουν γενικεύσεις και παραδοχές.

Περαιτέρω εμβάθυνση στη μελέτη της λειτουργίας της στροβιλογεννήτριας και ίσως αποκάλυψη περισσότερων στοιχείων για τη λειτουργία της που δε θα αφορούν μόνο συγκεκριμένες ιδιότητες στην είσοδο του ατμού, θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ένα λεπτομερέστερο μοντέλο της και συνεπώς σε πιο ακριβή ή και κοντά στις τιμές των διαγραμμάτων ροής, αποτελέσματα.

6.1.10 Στρόβιλος της τροφοδοτικής αντλίας

Όσον αφορά στον στρόβιλο της τροφοδοτικής αντλίας, οι ανάγκες του σε παροχή ατμού \dot{m}_6 υπολογίζονται συναρτήσει της παροχής όγκου νερού με βάση το Διάγραμμα 3.5.6.1 για κλειστή βαλβίδα ή το Διάγραμμα 3.5.6.2 για ανοιχτή. Παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα αυτά αναφέρονται σε συγκεκριμένες συνθήκες εισαγωγής ατμού στο στρόβιλο. Δεν έχει ακόμα βρεθεί τρόπος να παρακάμψουμε αυτόν τον περιορισμό όπως κάναμε στην Παράγραφο 6.1.9.

Παρ' όλα αυτά, παρατηρώντας τα αποτελέσματα των υπολογισμών στο Κεφάλαιο 5, βλέπουμε ότι οι αποκλίσεις των τιμών της παροχής \dot{m}_6 σε κάθε κατάσταση σε σχέση με τις αντίστοιχες που σημειώνονται στα διαγράμματα ροής, κινούνται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη παρατηρείται στην κατάσταση παραγωγής του 80% της μέγιστης ισχύος πρόωσης με καύση Πετρελαίου και είναι ίση με 0,9115%. Η μικρότερη

παρατηρείται στην κατάσταση παραγωγής του 50% της μέγιστης ισχύος πρόωσης και είναι ίση με 0,1323%.

Για την ενθαλπία εξαγωγής του στροβίλου h_{d12} γνωρίζουμε ότι σύμφωνα με το εγχειρίδιο, προσδιορίζεται με βάση τα Διαγράμματα 3.5.6.3 και 3.5.6.4 συναρτήσει της παροχής όγκου νερού στην αντλία, πάλι για συγκεκριμένες συνθήκες εισόδου. Το εμπόδιο αυτό ξεπερνιέται με τη δημιουργία αντίστοιχων διαγραμμάτων της διαφοράς ενθαλπίας μεταξύ εισόδου και εξόδου $\Delta h = h_6 - h_{d12}$.

Τέλος η ενθαλπία των διαρροών λαβυρίνθων προκύπτει με τη βοήθεια της Εξ. (3.1.2.58) που έχει εξαχθεί από το εγχειρίδιο [1] και αυτό ενδεχομένως να οδηγήσει σε αποκλίσεις. Δε διαθέτουμε στοιχεία από τα διαγράμματα ροής για τις τιμές της συγκεκριμένης ενθαλπίας προκειμένου να ποσοτικοποιήσουμε τις αποκλίσεις αυτές.

Περαιτέρω μελέτη των λειτουργικών χαρακτηριστικών του στροβίλου και λεπτομερέστερη μοντελοποίησή του, πιθανώς να οδηγήσουν σε ακριβέστερα αποτελέσματα.

6.1.11 Εκτίμηση της παροχής ατμού προς καταναλωτές

Στο πρόγραμμα υπάρχουν κάποιες καταναλώσεις των οποίων η παροχή μάζας ατμού που τις εξυπηρετεί χάνεται ως απώλεια του συστήματος. Τα ρεύματα που χάνονται ως απώλειες από το σύστημα ατμού και στη συνέχεια αναπληρώνονται από το νερό αναπλήρωσης (make-up water, σ_{39}) είναι τα ακόλουθα:

- Ρεύμα εκκαπνιστών (soot blowers), d_{17}
- Ρεύμα διασκορπιστών καυσίμου (burners' atomizers), d_{20}
- Ρεύμα απωλειών συστήματος (losses), d_{23}

Ο προσδιορισμός των παροχών μάζας των ανωτέρω ρευμάτων έχει μεγάλη σημασία, γιατί συμμετέχει στον προσδιορισμό της παροχής μάζας του αφυπέρθερου ατμού, d_{16} που εξυπηρετεί τους εν λόγω καταναλωτές (βλ. Εξ. (4.1.19)) αλλά και της παροχής του νερού αναπλήρωσης, σ_{39} (Εξ. (4.2.5.2)).

Ο τρόπος που προσδιορίζουμε τις παροχές μάζας των εν λόγω ρευμάτων έχει περιγραφεί στις Παραγράφους της Ενότητας 3.5 των Συμπληρωματικών Υπολογισμών. Εδώ απλά αναφέρουμε τα βασικά του σημεία:

Στους εκκαπνιστές, όταν έχουμε αποκλειστική καύση φυσικού αερίου παρέχεται ρεύμα ατμού παροχής, $\dot{m}_{d17} = 63 \text{ kg/h}$ ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση $\dot{m}_{d17} = 125 \text{ kg/h}$. Αυτά είναι δεδομένα που έχουμε πάρει από τα διαγράμματα ροής. Προκειμένου, όμως να γίνει μια πιο σωστή προσομοίωση, μία λεπτομερέστερη μελέτη των εκκαπνιστών θα έδινε καλύτερα αποτελέσματα.

Όσον αφορά τους διασκορπιστές καυσίμου, υπάρχουν έξι εγκατεστημένοι στο πλοίο και για τους δύο λέβητες. Για τον προσδιορισμό των καταναλώσεων των διασκορπιστών όταν καίγεται και Πετρέλαιο στους λέβητες, έχουμε ως δεδομένα τα Διαγράμματα 3.5.5.1.1 και 3.5.5.1.2 του εγχειριδίου. Το πρώτο δίνει την Πίεση παροχής καυσίμου Πετρελαίου στο διασκορπιστή συναρτήσει της παροχής καυσίμου ανά διασκορπιστή και το δεύτερο δίνει την κατανάλωση ατμού από το διασκορπιστή συναρτήσει της Πίεσης παροχής καυσίμου σε αυτόν. Εφόσον τα διαγράμματα εξήχθησαν από το εγχειρίδιο, χρειάστηκε πρώτα να

μετρηθούν τα σημεία τους και στη συνέχεια να γίνει στατιστική ανάλυση σε αυτά με τη χρήση του προγράμματος Matlab.

Από τα αποτελέσματα για τις διάφορες καταστάσεις (Κεφάλαιο 5) βλέπουμε ότι σε όλες οι αποκλίσεις των τιμών της παροχής μάζας του ρεύματος d_{20} κινούνται σε χαμηλά επίπεδα, εκτός από την κατάσταση του 80% MCR με καύση Πετρελαίου. Εκεί η απόκλιση που σημειώνεται είναι της τάξεως του 6,0777% και πιστεύεται ότι οφείλεται σε σφάλματα στην αποτύπωση των διαγραμμάτων σε εξισώσεις στο σημείο εκείνο.

Προτείνεται αν όχι καλύτερη μοντελοποίηση των διασκορπιστών, τουλάχιστον επαναπροσδιορισμός των εξισώσεων που περιγράφουν τα διαγράμματα με μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

Για τις απώλειες θεωρήθηκε, ότι μία ικανοποιητική προσέγγιση θα ήταν ο προσδιορισμός τους ως ποσοστό επί της συνολικής ατμοπαραγωγής. Από μελέτη στα διαγράμματα ροής είδαμε ότι το εν λόγω ποσοστό μεταβάλλεται ανάλογα με το επίπεδο ισχύος, και μάλιστα αυξάνεται με την αύξηση της ισχύος (Πίνακας 3.5.5.3.1). Με βάση τον πίνακα αυτόν, κατασκευάστηκε εξίσωση στο Matlab που να συνδέει την ισχύ πρόωσης με το ποσοστό των απωλειών επί της συνολικής ατμοπαραγωγής. Είναι φανερό ότι η εν λόγω προσέγγιση είναι αρκετά απλουστευτική και εμβάθυνση στο θέμα των απωλειών των συστημάτων του ατμού θα είχε θετικά αποτελέσματα.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων στο Κεφάλαιο 5, παρατηρούμε ότι οι τιμές των παροχών των απωλειών στις διάφορες καταστάσεις παρουσιάζει μικρές αποκλίσεις για καταστάσεις του 100% του φορτίου και μεγαλύτερες στο μερικό. Οι αποκλίσεις οφείλονται εν μέρει στον προσεγγιστικό τρόπο προσδιορισμού των απωλειών. Το γεγονός ότι αυτές μεγαλώνουν στο μερικό φορτίο όπου έχουμε μεγαλύτερες αποκλίσεις και στην ατμοπαραγωγή, δείχνει ότι μία αιτία είναι και η διαφορά της ατμοπαραγωγής μεταξύ των αποτελεσμάτων του προγράμματος και των τιμών των διαγραμμάτων ροής.

6.1.12 Εκτίμηση παροχής ατμού προς λοιπούς καταναλωτές (εσωτερικούς και εξωτερικούς)

Πρόκειται για τους καταναλωτές που είτε εξυπηρετούν την εσωτερική λειτουργία του συστήματος (εσωτερικοί καταναλωτές) είτε εξυπηρετούν άλλα φορτία (εξωτερικοί καταναλωτές). Για τους καταναλωτές αυτούς έχει γίνει περιγραφή στο Κεφάλαιο 2, Ενότητα 2.12. Ελλείψει άλλων στοιχείων, στο πρόγραμμα οι καταναλώσεις τους σε ατμό θεωρούνται δεδομένες και ίσες με αυτές των εκάστοτε διαγραμμάτων ροής. Όμως τουλάχιστον για τις καταναλώσεις των εσωτερικών καταναλωτών, θα έπρεπε να βρεθεί άλλος τρόπος προσέγγισης. Μελέτη των ίδιων των καταναλωτών αλλά και παρόμοιων συστημάτων ατμού ίσως δώσει μία λύση.

6.1.13 Αποστακτήρας

Στην πραγματική εγκατάσταση υπάρχουν δύο αποστακτήρες: Ένας τύπου εμβαπτισμένων αυλών και ένας τύπου ακαριαίας εξάτμισης. Στο πρόγραμμα μοντελοποιούμε μόνο τον πρώτο (βλ. Παράρτημα 1, Σχήμα 1.Α.1), καθώς έχουμε στοιχεία από τα διαγράμματα ροής για τις καταναλώσεις του.

Στους υπολογισμούς του Κεφαλαίου 3 έχει προσδιοριστεί για κάθε κατάσταση πλήρους φορτίου, η ειδική κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή γλυκού νερού, q_w . Για τους περαιτέρω υπολογισμούς μας χρησιμοποιούμε το μέσο όρο των αποτελεσμάτων αυτών, δηλαδή θεωρούμε μία σταθερή τιμή της q_w και με βάση την παραγωγή γλυκού νερού, προσδιορίζουμε τις παροχές ατμού (d_8) και συμπυκνώματος (σ_8) από και προς τον αποστακτήρα. Είναι φανερό ότι αυτή η προσέγγιση είναι αρκετά απλουστευτική και πράγματι δίνει αποκλίσεις στα μερικά φορτία.

Θα πρέπει λοιπόν και με βάση τα όποια στοιχεία μπορούμε να βρούμε στο εγχειρίδιο, να γίνει μοντελοποίηση του Αποστακτήρα που θα λαμβάνει υπόψη τα κατασκευαστικά και λειτουργικά του στοιχεία, δηλαδή τις επιφάνειες συναλλαγής, τους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και τον τρόπο που αυτοί επηρεάζονται από την ταχύτητα και τις θερμοκρασίες των ρευστών. Ακόμη καλό θα ήταν να κατασκευαστεί μοντέλο και του αποστακτήρα ακαριαίας εξάτμισης, ώστε να επιλέγει ο χρήστης ποιον από τους δύο θα χρησιμοποιήσει, όπως άλλωστε γίνεται και στην πραγματική εγκατάσταση.

6.1.14 Αντλίες

Σε κάποια σημεία, στάθηκε απαραίτητο να προσδιορίσουμε στοιχεία αντλιών προκειμένου να υπολογίσουμε κάποια μεγέθη. Συγκεκριμένα:

Στην αντλία συμπυκνώματος P_2 μετά τη δεξαμενή υγρών αποστραγγίσεων, προκειμένου να υπολογίσουμε την ενθαλπία του σημείου σ_{38} μετά την αντλία βάσει αυτής για το σ_{13} , θεωρήσαμε τιμή του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης ίση με, $\eta_{p2}=0,7$ και στη συνέχεια επιλύθηκε η Εξ. (4.2.6.14). Είναι φανερό ότι δεν μπορούμε να περιμένουμε μεγάλη ακρίβεια στα αποτελέσματα. Πράγματι, αν ρίξουμε μια ματιά στις τιμές της θερμοκρασίας του σημείου σ_{38} για τις διάφορες καταστάσεις, θα δούμε ότι αυτές παρουσιάζουν αποκλίσεις μεταξύ του 5% και του 6%. Οι αποκλίσεις αυτές οφείλονται βέβαια και σε πιθανές αποκλίσεις στις ιδιότητες των ρευμάτων που συμμετέχουν στον ισολογισμό της δεξαμενής υγρών αποστραγγίσεων.

Η ίδια διαδικασία με $\eta_{p4}=0,7$ και με χρήση της Εξ. (4.2.6.19), ακολουθήθηκε στην αντλία P_4 για τον υπολογισμό της ενθαλπίας του ρεύματος σ_{37} βάσει της $h_{\sigma_{36}}$.

Στις εν λόγω αντλίες λοιπόν, θα πρέπει να γίνει καλύτερη μοντελοποίηση και μία πιο ακριβής προσέγγιση των ισεντροπικών βαθμών απόδοσής τους βάσει των λειτουργικών αλλά και των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών τους.

6.1.15 Προσέγγιση θερμοκρασιών σημείων με τη χρήση εμπειρικών εξισώσεων

Οι θερμοκρασίες κάποιων από τα σημεία στα διαγράμματα ροής κρίθηκε απαραίτητο να θεωρηθούν δεδομένες για το πρόγραμμα. Επειδή όμως δε θα ήταν και πολύ πρακτικό να ζητούνται κάθε φορά από το χρήστη οι εν λόγω τιμές, θεωρήθηκε ότι ο σχηματισμός εμπειρικών εξισώσεων βασισμένων στα διαγράμματα ροής θα ήταν μία καλή εναλλακτική λύση.

Τα σημεία αυτά είναι τα σ_{11} , σ_{14} και σ_{19} . Για κάθε ένα κατασκευάστηκε πίνακας που δίνει τη θερμοκρασία του σε κάθε ισχύ πρόωσης που παράγει το σύστημα. Για το σημείο σ_{11} έχουμε τον Πίνακα 3.5.7.1, για το σ_{14} τον Πίνακα 3.5.7.2 και για το σ_{19} τον Πίνακα 3.5.7.3. Τα σημεία των εν λόγω πινάκων έχουν υποστεί επεξεργασία από το Matlab ώστε να σχηματιστούν εξισώσεις που τα περιγράφουν που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το πρόγραμμα. Είναι φανερό ότι αυτός ο τρόπος προσέγγισης είναι αρκετά απλοϊκός και θέλει περεταίρω διερεύνηση. Επιπλέον η επεξεργασία των σημείων στο Matlab και η στατιστική τους ανάλυση, δίνει αποκλίσεις οι οποίες φαίνονται και στα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 5 για το μερικό φορτίο.

6.1.16 Βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης

Προκειμένου να προβούμε σε περεταίρω συγκρίσεις με το διάγραμμα ροής, προχωρήσαμε στον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης (plant efficiency). Υποθέσαμε ότι αυτός δίνεται από την Εξ. (4.1.32), δηλαδή αποτελεί το άθροισμα του θερμικού και του ηλεκτρομηχανικού βαθμού απόδοσης.

Ακόμα, όμως, και σε καταστάσεις όπου όλα τα υπόλοιπα στοιχεία συγκλίνουν ικανοποιητικά, όπως για παράδειγμα για παραγωγή πλήρους φορτίου πρόωσης, η απόκλιση του η_{plant} φτάνει μέχρι και το -7,4096%. Συμπεραίνουμε ότι ο ορισμός που έχουμε υποθέσει για το βαθμό απόδοσης δεν είναι ίδιος με αυτόν που έχει τεθεί στα διαγράμματα ροής. Παρ' όλα αυτά, καθώς θεωρητικά είναι σωστός τον κρατάμε ως έχει. Αν αργότερα βρεθεί κάποιο στοιχείο που να τον φέρνει πιο κοντά στις τιμές των διαγραμμάτων ροής, θα ήταν σκόπιμο να αντικατασταθεί.

6.2 Προτάσεις για συνέχιση, βελτίωση και για μελλοντικές χρήσεις του προγράμματος μοντελοποίησης

Στην ενότητα αυτή σημειώνονται οι όποιες επιπλέον ενέργειες μπορούν να γίνουν προκειμένου βελτιωθεί το πρόγραμμα εκτός της άρσης των παραδοχών της 6.1. Αναφέρονται επίσης οι διάφορες πιθανές χρήσεις του προγράμματος.

6.2.1 Λειτουργία χωρίς απομαστεύσεις

Σε κάθε σύστημα πρόωσης με ατμό υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας χωρίς απομαστεύσεις. Αυτό γίνεται κυρίως σε μερικά φορτία. Μία περιγραφή του εν λόγω τρόπου λειτουργίας μπορούμε να δούμε στο Διάγραμμα 10 του Παραρτήματος 1, 1.B που αναφέρεται στην παραγωγή του 30% του Πλήρους Φορτίου πρόωσης με καύση Πετρελαίου.

Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι οι διάφοροι καταναλωτές που υπό κανονικές συνθήκες παίρνουν ενέργεια από τα ρεύματα απομαστεύσεων, τώρα εξυπηρετούνται από αφυπέρθερο ατμό. Δηλαδή το ρεύμα d_{16} παρέχει ατμό στους Διασκορπιστές (d_{20}), στους Εκκαπνιστές(d_{17}), στον Εκχυτήρα αέρα του Αποστακτήρα (d_{19}), στον Προθερμαντήρα Χαμηλής Πίεσης, στον Απαερωτή, στον Προθερμαντήρα αέρα με Ατμό και στις Απώλειες.

Προκειμένου λοιπόν να είναι ολοκληρωμένη η προσομοίωση του συστήματος, θα χρειαστεί σε επόμενο στάδιο να ενσωματωθεί και η λειτουργία χωρίς απομαστεύσεις στο μοντέλο. Είναι φανερό ότι τέτοιου είδους ενέργεια απαιτεί διαφορετική προσέγγιση και τροποποίηση του προγράμματος ώστε να λαμβάνει υπόψη και αυτή την περίπτωση, κάτι που δε στάθηκε δυνατό να γίνει στην παρούσα μελέτη.

6.2.2 Κύριο Ψυγείο

Προκειμένου να έχουμε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο, θα πρέπει να γίνει λεπτομερέστερη μοντελοποίηση στο Κύριο Ψυγείο. Η μοντελοποίηση αυτή θα λαμβάνει υπόψη τα λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του Ψυγείου, όπως η επιφάνεια συναλλαγής, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας κ.τ.λ. , αλλά και τις συνθήκες του θαλασσινού νερού, όπως η αλατότητα και η θερμοκρασία. Είναι γνωστό για παράδειγμα, ότι η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού και το επίπεδο του φορτίου πρόωσης, επηρεάζουν το κενό του ψυγείου (με μείωση της θερμοκρασίας και του φορτίου μεγαλώνει το κενό).

6.2.3 Προτάσεις για συνέχιση και περαιτέρω εκμετάλλευση του προγράμματος

Μία από τις πιθανές εφαρμογές του εν λόγω προγράμματος είναι για επισκόπηση της κατάστασης και του τρόπου λειτουργίας μηχανημάτων και συσκευών για διάφορες συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης, για διαγνωστική δηλαδή του συστήματος.

Με άλλα λόγια, το μοντέλο προσομοίωσης θα μπορούσε να εφαρμοστεί για δοκιμές και διερεύνηση όλων των πιθανών αποτελεσμάτων σε διάφορες συνθήκες χωρίς να

επηρεάζεται η πραγματική εγκατάσταση. Έτσι θα ήταν δυνατό να βρεθεί το καλύτερο σημείο λειτουργίας αλλά και εάν οι συνθήκες απειλούν τη σωστή λειτουργία και την ακεραιότητα του συστήματος.

Κάτι άλλο που θα μπορούσε σε επόμενο στάδιο να εφαρμοστεί, είναι η βελτιστοποίηση του συστήματος ώστε να πετύχουμε καλύτερη λειτουργία με τις ίδιες απαιτήσεις παραγωγής των διαφόρων μορφών ενέργειας. Η αρχική εφαρμογή θα αφορούσε βελτιστοποίηση λειτουργίας του παρόντος συστήματος που μετέπειτα θα μπορούσε να οδηγήσει σε βελτιστοποίηση σχεδιασμού μίας υπό μελέτη εγκατάστασης.

Η βελτιστοποίηση λειτουργίας θα είχε προφανώς ως δεδομένα την ταχύτητα του πλοίου, τις συνθήκες του περιβάλλοντος, τις καταναλώσεις των βοηθητικών μηχανημάτων, τα θερμικά και τα ηλεκτρικά φορτία. Στόχος μπορούσε για παράδειγμα να είναι η ελάχιστη οικονομική δαπάνη για δεδομένες συνθήκες φόρτισης. Μία τέτοια εφαρμογή, εφόσον η βελτιστοποίηση είχε αποτέλεσμα, θα είχε οικονομικό αλλά και επιστημονικό ενδιαφέρον.

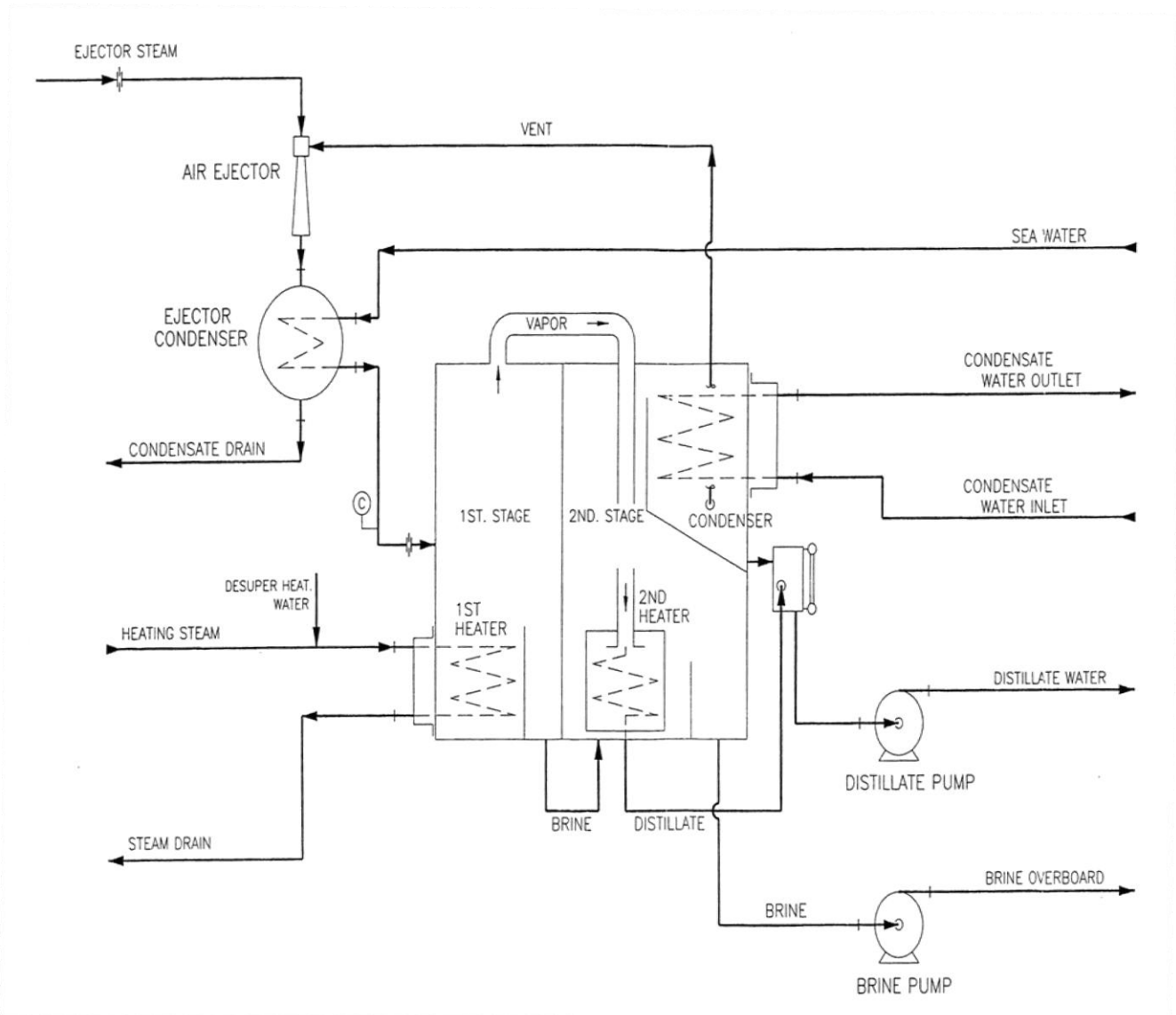
Περεταίρω μελέτη θα μπορούσε να συντελέσει στην προσπάθεια για τη γενικότερη εξέλιξη των συστημάτων πρόωσης με ατμό των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Όλα τα παραπάνω προϋποθέτουν φυσικά την αναλυτική και ακριβή μοντελοποίηση της εγκατάστασης με βάση τις προτάσεις που έχουν αναφερθεί προηγουμένως στο παρόν κεφάλαιο.

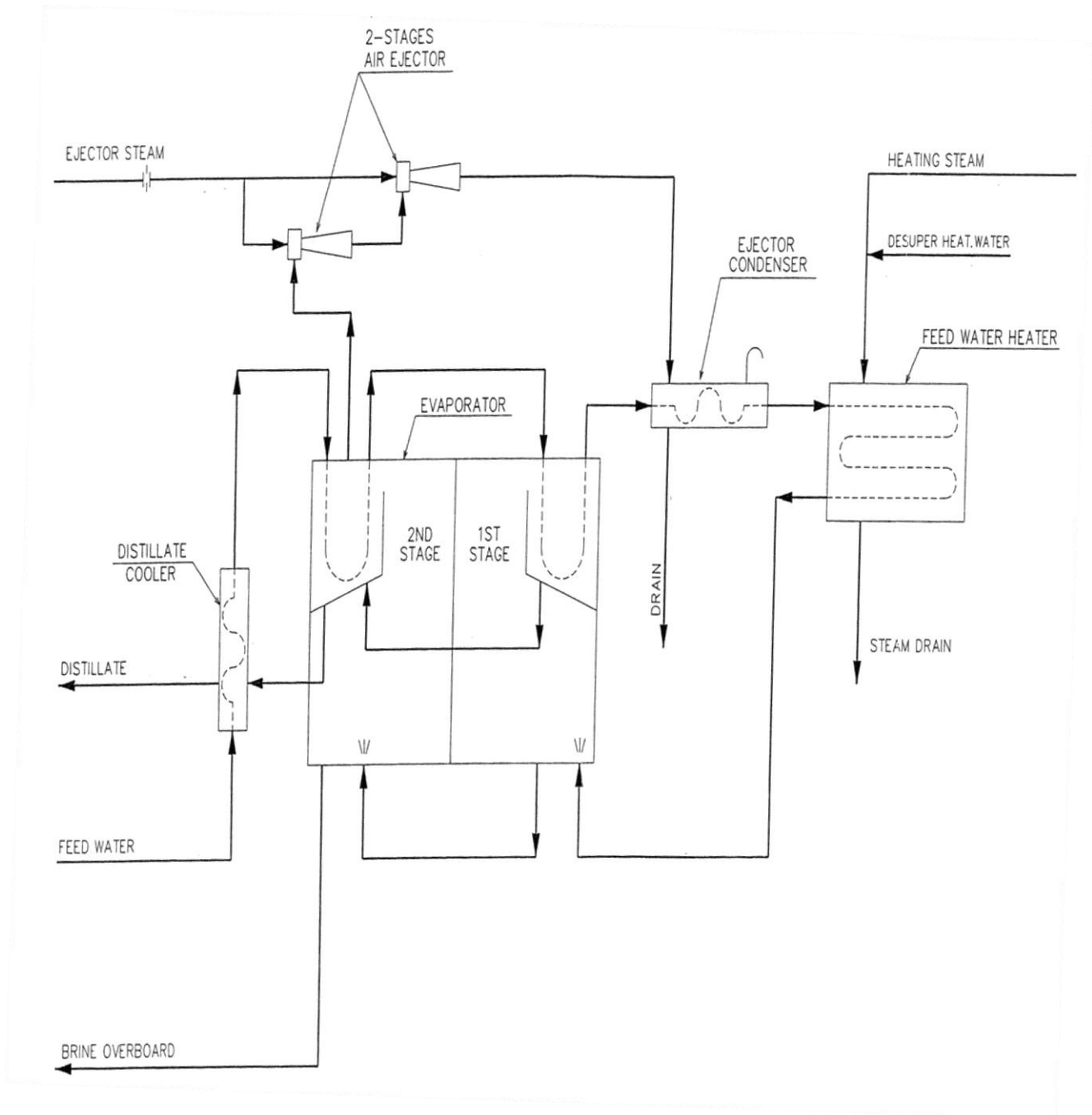
Παράρτημα 1

Αντιπροσωπευτικά σχέδια μηχανημάτων και διαγράμματα ροής.

1.A Σχηματική Απεικόνιση Αποστακτήρων



Σχήμα 1.A.1
Διβάθμιος αποστακτήρας εμβαπτισμένων αυλών (Submerged type)



Σχήμα 1.A.2
 Διβάθμιος αποστακτήρας ακαριαίας εξάτμισης (Flash type)

1.Β Διαγράμματα Ροής

Πρόκειται για διαγράμματα που παρουσιάζουν το κύκλωμα ροής του νερού- ατμού σε διάφορες καταστάσεις λειτουργίας. Για λόγους καλύτερης εποπτείας τα εν λόγω διαγράμματα έχουν τυπωθεί σε μικρότερη κλίμακα από τα άλλα σχέδια και είναι τα ακόλουθα:

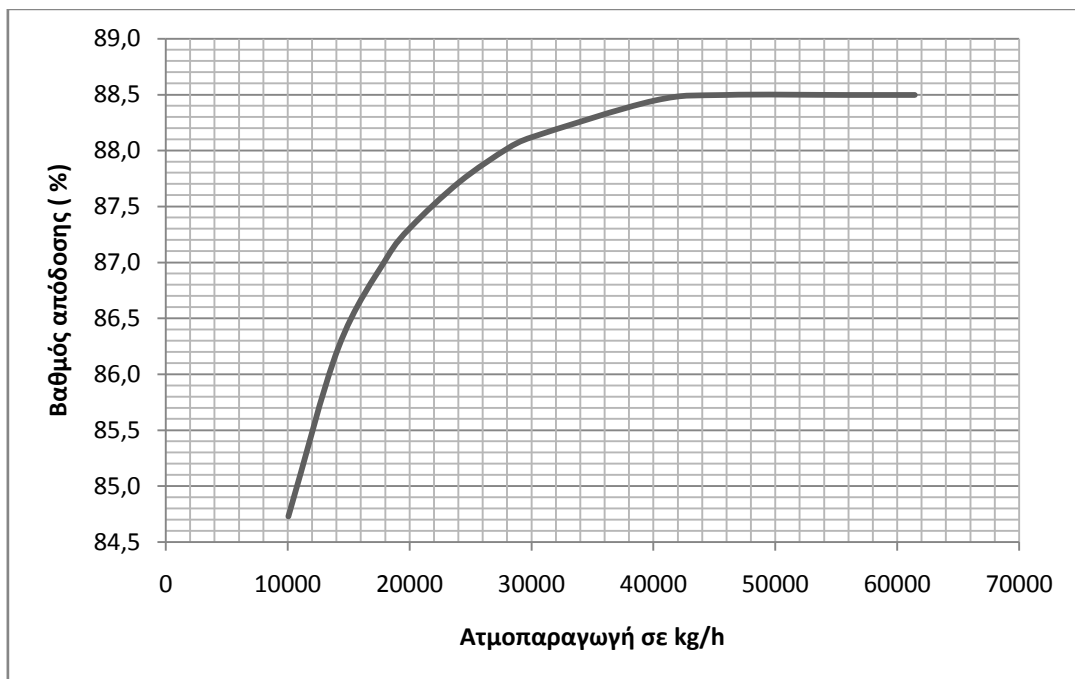
1. Διάγραμμα ροής με τις ονομασίες των γραμμών ροής.
2. Διάγραμμα ροής για την κατάσταση παραγωγής του 100% της ισχύος με καύση φυσικού αερίου.
3. Διάγραμμα ροής για την κατάσταση παραγωγής του 100% της ισχύος με καύση πετρελαίου.
4. Διάγραμμα ροής για την κατάσταση παραγωγής του 100% της ισχύος με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.
5. Διάγραμμα ροής για την κατάσταση παραγωγής του 90% της ισχύος με καύση φυσικού αερίου.
6. Διάγραμμα ροής για την κατάσταση παραγωγής του 90% της ισχύος με καύση πετρελαίου.
7. Διάγραμμα ροής για την κατάσταση παραγωγής του 90% της ισχύος με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου.
8. Διάγραμμα ροής για την κατάσταση παραγωγής του 80% της ισχύος με καύση πετρελαίου.
9. Διάγραμμα ροής για την κατάσταση παραγωγής του 50% της ισχύος με καύση πετρελαίου.
10. Διάγραμμα ροής για την κατάσταση παραγωγής του 30% της ισχύος με καύση πετρελαίου.

Παράρτημα 2

Στοιχεία του εγχειριδίου για τους λέβητες

Εδώ σημειώνονται τα στοιχεία που αφορούν τους λέβητες και είναι δεδομένα από το εγχειρίδιο της εγκατάστασης.

Βαθμός απόδοσης του λέβητα η_B συναρτήσει της ατμοπαραγωγής



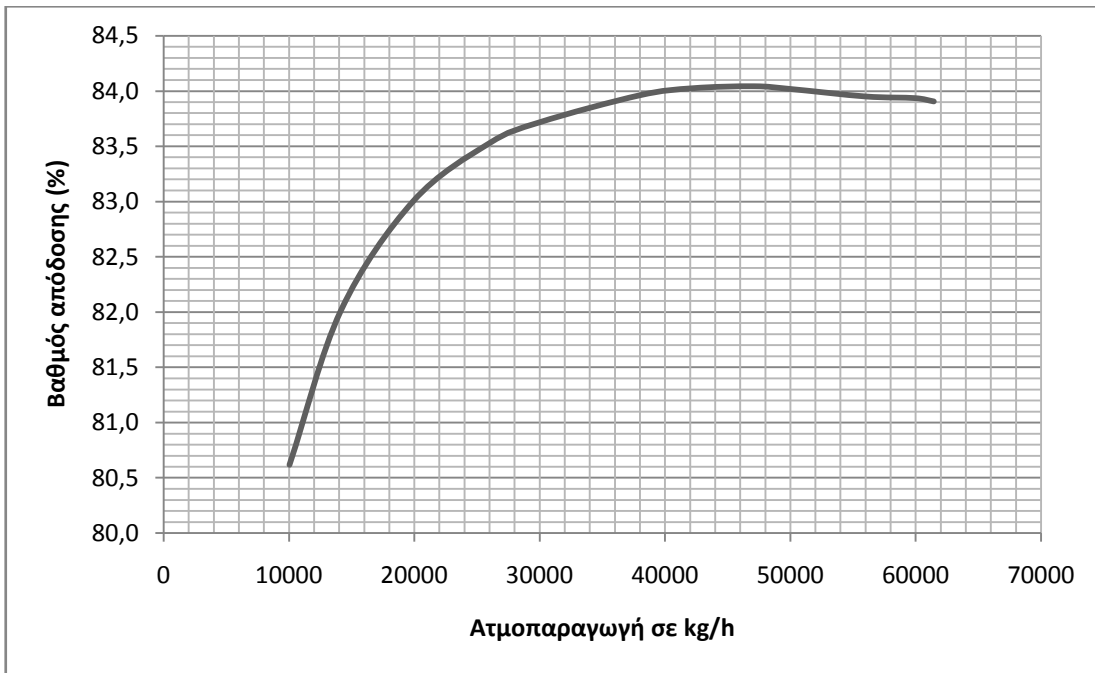
Διάγραμμα 2.1 Βαθμός απόδοσης κάθε λέβητα (%) συναρτήσει της ατμοπαραγωγής ανά λέβητα σε kg/h για λειτουργία με αποκλειστική καύση πετρελαίου.

Το ανωτέρω διάγραμμα μετατράπηκε σε εξίσωση με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab. Η εξίσωση που προέκυψε έχει ως εξής:

$$\eta_{B,FO} = (6,504 \cdot 10^{-5}) \cdot x^8 + 0,0004345 \cdot x^7 - 0,001117 \cdot x^6 - 0,001208 \cdot x^5 + 0,0003262 \cdot x^4 + 0,001485 \cdot x^3 - 0,006284 \cdot x^2 + 0,00767 \cdot x + 0,882 \quad (2.1)$$

$$x = \frac{\dot{m}_{st1,fo} - 8,785}{4,738} \quad (2.2)$$

όπου $\dot{m}_{st1,fo}$ είναι η ατμοπαραγωγή ανά λέβητα που οφείλεται στην καύση πετρελαίου.



Διάγραμμα 2.2 Βαθμός απόδοσης κάθε λέβητα (%) συναρτήσει της ατμοπαραγωγής ανά λέβητα σε kg/h για λειτουργία με αποκλειστική καύση φυσικού αερίου.

Η εξίσωση που περιγράφει το Διάγραμμα 2.2 έχει ως εξής:

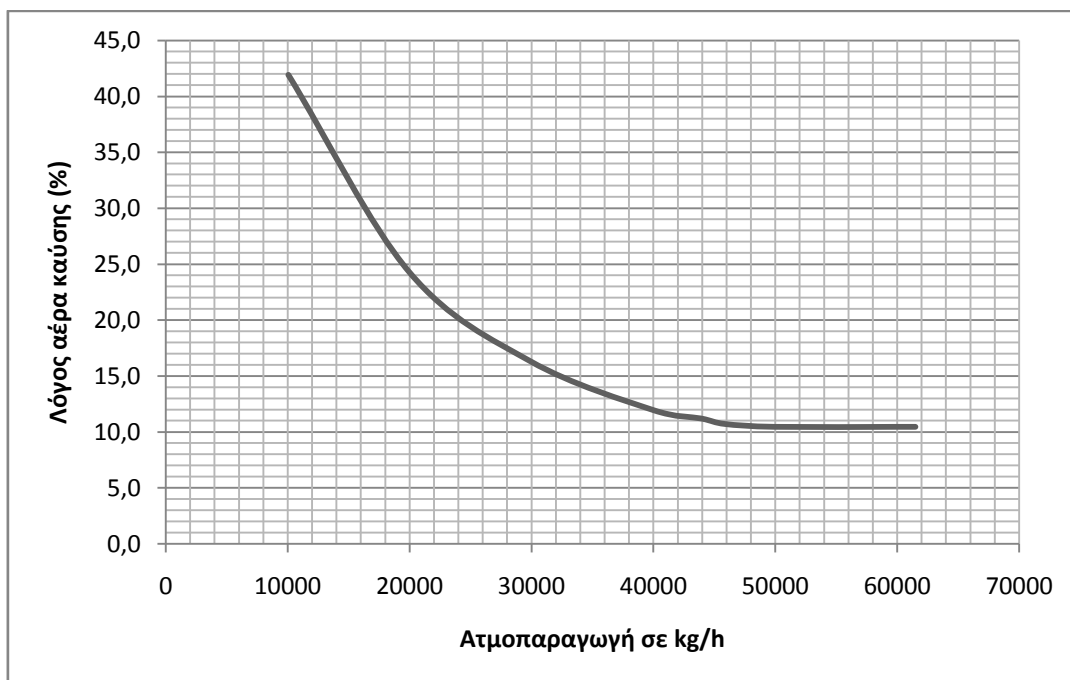
$$\eta_{B.BOG} = -0,0005538 \cdot x^6 + 0,001186 \cdot x^5 - 0,0002858 \cdot x^4 - 0,0001176 \cdot x^3 - 0,004401 \cdot x^2 + 0,003576 \cdot x - 0,8397 \quad (2.3)$$

$$x = \frac{\dot{m}_{st1} - 10,53}{4,946} \quad (2.4)$$

όπου $\dot{m}_{st1.f0}$ είναι η ατμοπαραγωγή ανά λέβητα που οφείλεται στην καύση φυσικού αερίου.

Παρατηρούμε ότι γενικά ο βαθμός απόδοσης του λέβητα για καύση πετρελαίου είναι μεγαλύτερος, για τα ίδια επίπεδα ατμοπαραγωγής από το βαθμό απόδοσης για καύση φυσικού αερίου. Αυτό συμβαίνει γιατί ο λέβητας είναι κατασκευασμένος για καύση πετρελαίου και όχι φυσικού αερίου.

Λόγος αέρα καύσης λ_α συναρτήσει της ατμοπαραγωγής



Διάγραμμα 2.3 Λόγος αέρα καύσης (%) συναρτήσει της ατμοπαραγωγής ανά λέβητα σε kg/h.

Η εξίσωση που περιγράφει το διάγραμμα 2.3 έχει ως εξής:

$$\eta_B = -0,003002 \cdot x^6 + 0,0001125 \cdot x^5 + 0,01801 \cdot x^4 - 0,01705 \cdot x^3 + 0,02355 \cdot x^2 - 0,07317 \cdot x - 1,155 \quad (2.5)$$

$$x = \frac{\dot{m}_{st1} - 8,645}{3,993} \quad (2.6)$$

όπου \dot{m}_{st1} είναι η παραγωγή ατμού ανά λέβητα.

Οι Εξ. (2.5) και (2.6) χρησιμοποιούνται όταν η ατμοπαραγωγή είναι μικρότερη από 47800 kg/h. Σε αντίθετη περίπτωση έχουμε ότι $\lambda_\alpha=1,1$.

Παροχή αέρα καύσης ανά λέβητα συναρτήσει της ατμοπαραγωγής και της παροχής καυσίμου

Στο εγχειρίδιο έχουμε στοιχεία για την παροχή αέρα καύσης για διάφορα επίπεδα ατμοπαραγωγής και παροχής καυσίμου. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται σε εκτιμήσεις και ειδικότερα στους αρχικούς υπολογισμούς του Κεφαλαίου 3 (Ενότητες 3.1 και 3.2) και είναι μόνο ενδεικτικά:

Πίνακας 2.1 Παροχή αέρα καύσης συναρτήσει της ατμοπαραγωγής για ένα λέβητα για λειτουργία με αποκλειστική καύση πετρελαίου.

Κατάσταση	Παροχή αέρα καύσης [kg/h]	Ατμοπαραγωγή [kg/h]	Παροχή καυσίμου πετρελαίου [kg/h]
B.MAX	68061	61500	4444
NOR.	55440	50000	3620
75% NOR	42503	37500	2713
50% NOR	29592	25000	1783
25% NOR	16468	12500	870

Πίνακας 2.2 Παροχή αέρα καύσης συναρτήσει της ατμοπαραγωγής για ένα λέβητα για λειτουργία με αποκλειστική καύση φυσικού αερίου.

Κατάσταση	Παροχή αέρα καύσης [kg/h]	Ατμοπαραγωγή [kg/h]	Παροχή φυσικού αερίου [kg/h]
B.MAX	69967	61500	3649
NOR.	56954	50000	2970
75% NOR	43637	37500	2225
50% NOR	30858	25000	1485
25% NOR	17388	12500	733

Παράρτημα 3

Υπορουτίνες της βιβλιοθήκης ASME Steam Properties for Industrial Use

Γίνεται καταγραφή όλων των υπορουτινών της βιβλιοθήκης οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εύρεση των ιδιοτήτων σε όλες τις καταστάσεις του νερού-ατμού. Πρόκειται στην ουσία για την ψηφιοποίηση του διαγράμματος Mollier.

3.A. Υπορουτίνες για την εύρεση της ενθαλπίας

Πρόκειται για υπορουτίνες οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ενθαλπίας ενός σημείου όταν είναι γνωστές άλλες του ιδιότητες, όπως η θερμοκρασία και η πίεση. Η βιβλιοθήκη της ASME διαθέτει πληθώρα τέτοιων υπορουτινών από τις οποίες χρησιμοποιήσαμε τις ακόλουθες:

Υπορουτίνα HPSSI (P,S)

Η υπορουτίνα αυτή προσδιορίζει την ενθαλπία H σε kJ/kg με δεδομένη την πίεση P σε MPa και την εντροπία S σε kJ/kgK. Δεδομένου ότι η πίεση και η εντροπία ορίζουν μονοσήμαντα ένα σημείο πάνω στο διάγραμμα Mollier, η υπορουτίνα αυτή είναι εφαρμόσιμη σε όλες τις ποιότητες νερού και ατμού.

Υπορουτίνα HPTDSI (P,T)

Χρησιμοποιείται για την εύρεση της ενθαλπίας H σε kJ/kg ξηρού ατμού όταν είναι γνωστή η πίεση P σε MPa και η θερμοκρασία T σε Kelvin. Η ένδειξη SI δείχνει ότι οι μονάδες των μεγεθών ανήκουν στο σύστημα S.I.

Υπορουτίνα HPTLSI (P,T)

Χρησιμοποιείται για την εύρεση της ενθαλπίας H σε kJ/kg κορεσμένου ή και υπόψυκτου νερού, όταν είναι γνωστή η πίεση P σε MPa και η θερμοκρασία T σε Kelvin.

Υπορουτίνα HFPSI (P)

Η υπορουτίνα αυτή υπολογίζει την ενθαλπία κορεσμένου νερού H σε kJ/kg, όταν είναι δεδομένη η πίεση P σε MPa.

Υπορουτίνα HGPSI (P)

Η υπορουτίνα αυτή χρησιμοποιείται για την εύρεση της ενθαλπίας κορεσμένου ατμού H σε kJ/kg, όταν είναι δεδομένη η πίεση P σε MPa.

Υπορουτίνα HGTSI (T)

Με τη χρήση της υπορουτινας αυτής υπολογίζεται η ενθαλπία κορεσμένου ατμού H , σε kJ/kg για γνωστή θερμοκρασία T , σε Kelvin.

3.Β Υπορουτίνες για την εύρεση της εντροπίας

Πρόκειται για υπορουτίνες οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της εντροπίας ενός σημείου όταν είναι γνωστές άλλες ιδιότητές του. Οι σχετικές υπορουτίνες που χρησιμοποιήσαμε έχουν ως εξής:

Υπορουτίνα SPHSI (P,H)

Η υπορουτίνα αυτή προσδιορίζει την εντροπία, S σε kJ/kgK με δεδομένη την πίεση, P σε MPa και την ενθαλπία, H σε kJ/kg . Χρησιμοποιείται σε καταστάσεις ισορροπίας και κυρίως όταν έχουμε ατμό.

Υπορουτίνα SPHLSI (P,H)

Η υπορουτίνα αυτή προσδιορίζει την εντροπία, S σε kJ/kgK με δεδομένη την πίεση, P σε MPa και την ενθαλπία, H σε kJ/kg . Χρησιμοποιείται στην περιοχή του κορεσμένου και υπόψυκτου νερού.

Υπορουτίνα SPHDSI (P,H)

Η υπορουτίνα αυτή προσδιορίζει την εντροπία, S σε kJ/kgK με δεδομένη την πίεση, P σε MPa και την ενθαλπία, H σε kJ/kg . Χρησιμοποιείται στην περιοχή του ξηρού ατμού.

Υπορουτίνα SPTLSI (P,T)

Με την υπορουτίνα αυτή υπολογίζεται η εντροπία, S σε kJ/kgK κορεσμένου και υπόψυκτου νερού όταν είναι γνωστή η πίεση, P σε MPa και η θερμοκρασία T σε Kelvin.

Υπορουτίνα SPTDSI (P,T)

Με την υπορουτίνα αυτή υπολογίζεται η εντροπία, S σε kJ/kgK ατμού όταν είναι γνωστή η πίεση, P σε MPa και η θερμοκρασία T σε Kelvin.

3.Γ Υπορουτίνες για την εύρεση της θερμοκρασίας

Πρόκειται για υπορουτίνες οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας ενός σημείου όταν είναι γνωστές άλλες ιδιότητές του. Οι σχετικές υπορουτίνες που χρησιμοποιήσαμε έχουν ως εξής:

Υπορουτίνα TPHDSI (P,H)

Η υπορουτίνα αυτή προσδιορίζει τη θερμοκρασία T , σε Kelvin στην περιοχή του ξηρού ατμού για δεδομένη πίεση P , σε MPa και ενθαλπία H , σε kJ/kg .

Υπορουτίνα TPHLSI (P,H)

Η υπορουτίνα αυτή προσδιορίζει τη θερμοκρασία T , σε Kelvin στην περιοχή του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού για δεδομένη πίεση P , σε MPa και ενθαλπία H , σε kJ/kg .

Υπορουτίνα TSLHSI (H)

Υπολογίζει την θερμοκρασία κορεσμένου νερού T , σε Kelvin για δοθείσα ενθαλπία H , σε kJ/kg.

3.Δ Υπορουτίνες για την εύρεση του ειδικού όγκου

Πρόκειται για υπορουτίνες οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του ειδικού όγκου ενός σημείου όταν είναι γνωστές κάποιες άλλες ιδιότητές του. Στο πρόγραμμα έγινε χρήση μίας μόνο υπορουτίνας από την ομάδα αυτή (βλ. 4.3.6.9).

Υπορουτίνα VPTLSI (P,T)

Με τη χρήση της παρούσας υπορουτίνας προσδιορίζεται ο ειδικός όγκος V , σε m^3/kg κορεσμένου νερού για δεδομένα πίεση P , σε MPa και θερμοκρασία T , σε Kelvin.

Παράρτημα 4

Αρχεία δεδομένων και αποτελεσμάτων

Εδώ δίνονται οι μορφές των αρχείων δεδομένων και αποτελεσμάτων όπως αυτά χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα, ώστε ο χρήστης να εξοικειωθεί με αυτές. Τα αρχεία δεδομένων τα χωρίζουμε σε Παραγράφους ανάλογα με τη ρουτίνα από την οποία διαβάζονται.

4.A Αρχεία Δεδομένων

4.A.1 Κύριο πρόγραμμα

Αρχείο 'userparam.dat'

Όπως ειπώθηκε και στην Ενότητα 4.3, στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τις παραμέτρους του προγράμματος, δηλαδή τις απαιτήσεις του σε ισχύ πρόωσης (σε PS ή kW), σε ηλεκτρική ισχύ (kW), σε παραγωγή γλυκού νερού (σε kg/h). Επίσης δίνει την κατώτερη θερμογόνο ικανότητα των δύο καυσίμων που μπορεί να κάψει ο λέβητας σε kcal/kg αλλά και το κλάσμα (ποσοστό) του πετρελαίου που καίει. Το εν λόγω αρχείο δεδομένων έχει ως εξής:

```
propulsion power
36800 PS
electric power
1600 kW
dist water in kg/h
2500 kg/h
FO HHV
10280
BOG HHV
13270
ratio of steam production rate coming from FO
1
```

4.A.2 Σταθερά στοιχεία σε όλες τις καταστάσεις

Αρχείο 'sup.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τα χαρακτηριστικά των ροών του υπέρθερμου ατμού που, σύμφωνα με τα διαγράμματα ροής, μένουν σταθερά σε όλες τις καταστάσεις. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της ροής, στη δεύτερη η πίεση σε kg/cm² (εκτός από τις ροές 4 και c όπου η πίεση δίνεται κατευθείαν σε bar) και στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Η μορφή του αρχείου είναι η ακόλουθη:

```
B 62.50000 515.00
```

0	61.00000	510.00
1	00.00000	510.00
2	00.00000	000.00
3	00.00000	000.00
4	00.05325	033.10
5	61.00000	510.00
6	61.00000	510.00
c	00.05325	033.10

Αρχείο 'des.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τα χαρακτηριστικά των ροών του αφυπέρθερμου ατμού που, σύμφωνα με τα διαγράμματα ροής, μένουν σταθερά σε όλες τις καταστάσεις. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της ροής, στη δεύτερη η πίεση σε kg/cm^2 και στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Η μορφή του αρχείου έχει ως εξής:

38 9 175

Αρχείο 'cond.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τα χαρακτηριστικά των ροών του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού που, σύμφωνα με τα διαγράμματα ροής, μένουν σταθερά σε όλες τις καταστάσεις. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της ροής, στη δεύτερη η πίεση σε kg/cm^2 (εκτός από τις ροές σ_1 , σ_{39} , σ_{36} , σ_7 και σ_{13} όπου η πίεση δίνεται κατευθείαν σε bar) και στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Η μορφή του αρχείου είναι η ακόλουθη:

1	0.05325	33.1
2	3.50000	32.5
16	3.50000	138.15
20	9.00000	170.
21	9.00000	120.
22	9.00000	170.
23	9.00000	170.
24	9.00000	170.
25	9.00000	170.
26	9.00000	170.
27	9.00000	170.
29	9.00000	170.
30	9.00000	170.
31	9.00000	170.
32	9.00000	170.
39	1.00000	30.
40	11.5000	100.
36	1.00000	80.
3	3.5000	
6	3.500	
7	0.05325	
10	3.5	
12	3.5	

13	1
14	3.5
15	3.5
17	3.5
19	77
38	3.5
37	9.0

Αρχείο 'air.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τα χαρακτηριστικά των ροών του αέρα που, σύμφωνα με τα διαγράμματα ροής, μένουν σταθερά σε όλες τις καταστάσεις. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της ροής, δηλαδή i για την εισερχόμενη και o για την εξερχόμενη ροή, ενώ στη δεύτερη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Η μορφή του αρχείου είναι η ακόλουθη:

```
i 38
o 120
```

4.4.A.3 Εκτίμηση των στοιχείων που αλλάζουν στις διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης

Στην ενότητα αυτή σημειώνονται τα αρχεία δεδομένων στα οποία ο χρήστης δίνει τις τιμές των στοιχείων που αλλάζουν ανάλογα με τις διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης. Εφόσον υπάρχουν δύο υπορουτίνες (βλ. Παράγραφο 4.3.3), η περιγραφή των διαφόρων αρχείων χωρίζεται σε δύο Παραγράφους, την 3.1 και 3.2 ανάλογα με την υπορουτίνα στην οποία ανήκουν.

4.A.3.1 Σταθερά στοιχεία στις καταστάσεις παραγωγής πλήρους φορτίου (100% MCR)

Αρχείο 'supMCR.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τα χαρακτηριστικά των ροών του υπέρθερμου ατμού που, σύμφωνα με τα διαγράμματα ροής, μένουν σταθερά στο 100% του φορτίου. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της ροής, στη δεύτερη η πίεση σε kg/cm² και στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Η μορφή του αρχείου είναι η ακόλουθη:

```
2 6.64 234.4
3 6.64 234.4
```

Αρχείο 'desMCR.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τα χαρακτηριστικά των ροών του αφυπέρθερμου ατμού που, σύμφωνα με τα διαγράμματα ροής, μένουν σταθερά στο 100% του φορτίου. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της ροής, στη δεύτερη η πίεση σε kg/cm² και στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Η μορφή του αρχείου έχει ως εξής:

16 62.5 0.00
39 19.5 359.3

Αρχείο 'condMCR.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τα χαρακτηριστικά των ροών του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού που, σύμφωνα με τα διαγράμματα ροής, μένουν σταθερά στο 100% του φορτίου. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της ροής, στη δεύτερη η πίεση σε kg/cm^2 (εκτός από τις ροές σ_4 , σ_8 και σ_{11} όπου η πίεση δίνεται κατευθείαν σε bar) και στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Η μορφή του αρχείου είναι η ακόλουθη:

4 1 90
8 1 90
11 1 53.55
14 3.5 103.2
19 77 140.4
41 19.5 140

Αρχείο 'bleed.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τα χαρακτηριστικά των ροών απομάστευσης που, σύμφωνα με τα διαγράμματα ροής, μένουν σταθερά καταστάσεις παραγωγής του 100% του φορτίου. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της ροής, στη δεύτερη η πίεση σε kg/cm^2 και στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Η μορφή του αρχείου έχει ως ακολούθως:

1 19.5 359.3
2 6.64 234.4
3 1.53 120.9

Αρχείο 'enth.eq.e2.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τα ονόματα των ροών αφυπέρθερμου ατμού, των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι ίδια με αυτά της απομάστευσης e_2 . Η μορφή του έχει ως εξής:

8
10
11
42

4.A.3.2 Σταθερά στοιχεία στις καταστάσεις μερικού φορτίου

Αρχείο 'des_par.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει την πίεση σε kg/cm^2 του σημείου αφυπέρθερμου ατμού d_{16} . Στην πρώτη στήλη ορίζεται ο αύξων αριθμός της ροής (εν προκειμένω 16) και στη δεύτερη η πίεση. Συνιστάται η τιμή της πίεσης να λαμβάνεται από τα διαγράμματα ροής. Μια τυπική μορφή του αρχείου είναι η ακόλουθη:

Αρχείο 'cond par.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τα χαρακτηριστικά που θέλει να έχουν στη συγκεκριμένη κατάσταση φόρτισης οι ροές του κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της ροής και στη δεύτερη η πίεση σε kg/cm^2 (εκτός από τις ροές σ_4 , σ_8 και σ_{11} όπου η πίεση δίνεται κατευθείαν σε bar) Η μορφή του αρχείου είναι η ακόλουθη:

```
4 1 90.
8 1 90.
11 1
14 3.5
19 77
```

Αρχείο 'bleed par.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης σημειώνει τις πιέσεις που θέλει να έχουν οι απομαστεύσεις στη δεδομένη κατάσταση σε kg/cm^2 . Στην πρώτη στήλη του αρχείου σημειώνεται ο αύξων αριθμός της ροής και στη δεύτερη η πίεση:

```
1 17.2
2 5.81
3 1.23
```

Αρχείο 'enth.eq.e2.dat'

Στο αρχείο αυτό, όπως σημειώθηκε στην Ενότητα 3.1 του Παραρτήματος 3, ο χρήστης δίνει τα ονόματα των ροών αφυπέρθερμου ατμού, των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι ίδια με αυτά της απομάστευσης e_2 .

4.A.4 Προκαταρκτικοί υπολογισμοί

Αρχείο 'glandmass.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει τις παροχές μάζας των διαρροών λαβυρίθων. Παρατηρείται ότι στα διαγράμματα ροής οι τιμές τους μένουν σταθερές σε όλες τις καταστάσεις. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της κάθε ροής και στη δεύτερη η παροχή μάζας σε kg/h .

```
g1_HP 142.
g1_LP 143.
g1 285.
g2 50.
g3 16.
g4 40.
g5 0.
```

Αρχείο 'ext_consts.dat'

Στο αρχείο αυτό δίνονται οι παροχές μάζας ατμού προς τους εξωτερικούς καταναλωτές. Στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της ροής του ατμού προς κάθε καταναλωτή (αφυπέρθερμος ατμός), στη δεύτερη το όνομα της ροής του κορεσμένου και υπόψυκτου νερού κάθε καταναλωτή, ενώ στην τρίτη η παροχή μάζας σε kg/h. Η μορφή του αρχείου έχει ως ακολούθως:

```
external_consumers flow rate in kg/h
20,25,244
21,26,890
23,28,10
24,29,95
25,30,0
26,31,655
27,32,0
```

4.A.5 Αρχικές εκτιμήσεις και επιλογές

Αρχείο 'value_est.dat'

Στο αρχείο αυτό δίνονται οι αρχικές εκτιμήσεις που κάνει ο χρήστης για κάποια μεγέθη, πολλά από τα οποία μεταβάλλονται στη συνέχεια στον κύκλο δοκιμών. Αρχικά δίνεται μια εκτίμηση της παροχής του ρεύματος αφυπέρθερμου ατμού d_7 σε kg/h, αλλά και η πίεση σε kg/cm² G και η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου του ρεύματος. Στη συνέχεια δίνονται τα ποσοστά των άδηλων απωλειών του προθερμαντήρα χαμηλής πίεσης και της ατμογεννήτριας χαμηλής πίεσης, όπως αυτά έχουν οριστεί σε προηγούμενες παραγράφους αλλά και μια αρχική εκτίμηση της παροχής μάζας σε kg/h του ρεύματος s_{19} . Τέλος, δίνονται οι παροχές μάζας ατμού προς τους εσωτερικούς καταναλωτές: στην πρώτη στήλη δίνεται το όνομα της ροής του ατμού προς κάθε καταναλωτή (αφυπέρθερμος ατμός), στη δεύτερη το όνομα της ροής του κορεσμένου και υπόψυκτου νερού από κάθε καταναλωτή ενώ στην τρίτη η παροχή μάζας σε kg/h. Η μορφή του αρχείου έχει ως ακολούθως:

```
d7
flow rate in kg/h
4409
P in kg/cm^2 G
2.6
T in Celsius
138.9
LP Heater:Invisible losses ratio plp=Qlp/Qe3
0.027125
LP SG:Losses ratio plpsg=Qlosses/Qw
0.019979894
s19 flow rate in kg/h
110652
flow rates of internal consumers in kg/h
```

s22, d27
22, 27, 318
s29, d33
29, 33, 0
s30, d34
30, 34, 0
s31, d35
31, 35, 398
s32, d36
32, 36, 0

4.A.6 Κύκλος δοκιμών

4.A.6.1 Υπολογισμοί στους λέβητες

Αρχείο 'bog air flow.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει την επιθυμητή σύνθεση του φυσικού αερίου (1) αλλά και τις μοριακές μάζες σε kg/kmole των χημικών συστατικών που το απαρτίζουν (2). Η μορφή του έχει ως εξής:

```
1.composition of BOG
CH4
0.9983
N2
0.0017
2.Molar masses of chemical elements in kg/kmole
C 12.0108
O2 31.9988
H2 2.0158
CH4 16.0424
N2 28.0134
BOG 0.0
```

Αρχείο 'fo air flow.dat'

Στο αρχείο αυτό ο χρήστης δίνει την επιθυμητή σύνθεση του πετρελαίου (1) αλλά και τις μοριακές μάζες σε kg/kmole των χημικών συστατικών που το απαρτίζουν (2). Η μορφή του έχει ως εξής:

```
1.composition of FO
C 0.8514
H 0.1113
S 0.0293
O 0.005
N 0.0025
H2O 0.0005
2.Molar masses of chemical elements in kg/kmole
```

C 12.0108
H 1.0079
S 32.0655
O 15.9994
N 14.0067
N2 28.0134
H2O 18.0153
FO 0.0

4.B Αρχεία Αποτελεσμάτων

Αρχείο 'userparam1.dat'

Στο αρχείο αυτό γράφονται οι τιμές που δόθηκαν στο αρχείο 'userparam.dat', αφού έχουν μετατραπεί σε μονάδες S.I.:

```
The propulsion power equals to:
Wt= 27066.356 kW
The electric power equals to:
Wg= 1840.000 kW
The distilled water equals to:
mdist= 0.69444 kg/s
The FO HHV equals to:
FO HHV= 43040.30400 kJ/kg
The BOG HHV equals to:
BOG HHV= 55558.83600 kJ/kg
The % of steam production rate coming from FO equals to:
per_FO= 0.000 %
The % of steam production rate coming from BOG equals to:
per_BOG= 100.000 %
```

Αρχείο 'results.dat'

Στο αρχείο αυτό σημειώνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών, όπως ο αριθμός των επαναλήψεων του κύκλου δοκιμών, η παραγόμενη ισχύς πρόωσης αλλά και η κατανομή της στους δύο στροβίλους υψηλής και χαμηλής πίεσης.

Σημειώνονται επίσης τα σχετικά αποτελέσματα με τους λέβητες, δηλαδή η συνολική και η ανά λέβητα παροχή αέρα καύσης σε kg/h, η παροχή πετρελαίου και φυσικού αερίου σε kg/h και η ενέργεια που παρέχεται από τα καύσιμα σε kW.

Τέλος γράφονται οι βαθμοί απόδοσης όπως ο βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα, ο βαθμός απόδοσης μηχανικής ισχύος, ο ηλεκτρικός, ο ηλεκτρομηχανικός, ο θερμικός βαθμός απόδοσης και τέλος ο ολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης.

```
Number of iterations:          14
-----FINAL RESULTS-----
-----POWER-----
The propulsion power after 14 loops equals to: 27066.3558 kW
The power provided by HP turbine equals to: 13383.1005 kW
The power provided by LP turbine equals to: 13683.2554 kW
-----BOILERS-----
The combustion air flow per each boiler equals to: 62092.7168
kg/h
The combustion air flow for both boilers equals to: 124185.4337
kg/h
The FO consumption rate equals to: 0.0000 kg/h
The BOG consumption rate equals to: 6611.1298 kg/h
The energy provided by the fuel(s) equals to: 102029.6330 kW
```

-----EFFICIENCIES-----

Each boilers efficiency equals to: 83.9692 %
The mechanical efficiency equals to: 26.5279 %
The electrical efficiency equals to: 1.8034 %
The electro-mechanical efficiency equals to: 28.3313 %
The thermal efficiency equals to: 0.5662 %
The plant efficiency equals to: 28.8976 %

Αρχείο 'sup1.dat'

Στο παρόν αρχείο αποτελεσμάτων σημειώνονται οι ιδιότητες και οι παροχές μάζας όλων των ροών υπέρθερμου ατμού που εισήχθησαν ως δεδομένες στο πρόγραμμα ή προέκυψαν από υπολογισμούς. Το αρχείο περιέχει έξι στήλες:

Στην πρώτη καταγράφονται τα ονόματα των ροών, στη δεύτερη η πίεση κάθε μίας σε bar, στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου, στην τέταρτη η ενθαλπία σε kJ/kg, στην πέμπτη η εντροπία σε kJ/kgK και στην έκτη η παροχή μάζας σε kg/h. Μια τυπική μορφή του αρχείου είναι η ακόλουθη:

```
SUPERHEATED STEAM
point bar Celsius kJ/kg kJ/kgK kg/h
B 61.29 515.000 3457.1388 6.9168 109685.1435
0 59.82 510.000 3446.9017 6.9145 97649.5868
1 53.84 510.000 3446.9017 6.9610 97649.5868
2 6.51 234.400 2922.6921 7.0787 93427.9191
3 6.51 234.400 2922.6921 7.0787 84733.8473
4 0.05 307.151 2296.2659 0.4916 76957.9095
5 59.82 510.000 3446.9017 6.9145 7381.9670
6 59.82 510.000 3446.9017 6.9145 4653.5897
c 0.05 307.151 2303.8769 0.4916 76814.9095
```

Αρχείο 'des1.dat'

Στο παρόν αρχείο αποτελεσμάτων σημειώνονται οι ιδιότητες και οι παροχές μάζας όλων των ροών αφυπέρθερμου ατμού που εισήχθησαν ως δεδομένες στο πρόγραμμα ή προέκυψαν από υπολογισμούς. Το αρχείο περιέχει έξι στήλες:

Στην πρώτη καταγράφονται τα ονόματα των ροών, στη δεύτερη η πίεση κάθε μίας σε bar, στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου, στην τέταρτη η ενθαλπία σε kJ/kg, στην πέμπτη η εντροπία σε kJ/kgK και στην έκτη η παροχή μάζας σε kg/h. Μια τυπική μορφή του αρχείου αυτού είναι η ακόλουθη:

```
DESUPERHEATED STEAM
point bar Celsius kJ/kg kJ/kgK kg/h
1 0.05 0.000 2457.4527 0.0000 7341.9670
2 0.00 0.000 0.0000 0.0000 0.0000
3 0.00 0.000 0.0000 0.0000 0.0000
4 0.00 0.000 0.0000 0.0000 0.0000
5 0.00 0.000 0.0000 0.0000 0.0000
6 0.05 0.000 2707.2385 0.0000 50.0000
```

7	3.56	138.900	584.4836	1.7279	4376.9071
8	6.51	234.400	2922.6921	7.0787	1450.3538
9	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
10	6.51	234.400	2922.6921	7.0787	0.0000
11	6.51	234.400	2922.6921	7.0787	2724.8109
12	3.43	0.000	3097.7071	0.0000	4637.5897
13	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
14	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
16	61.29	287.000	2828.6558	5.9620	1410.0832
17	0.00	0.000	2828.6558	0.0000	63.0000
18	0.00	0.000	2828.6558	0.0000	0.0000
19	0.00	0.000	2828.6558	0.0000	75.0000
20	0.00	0.000	2828.6558	0.0000	300.0000
21	0.00	0.000	2828.6558	0.0000	0.0000
22	0.00	0.000	2828.6558	0.0000	0.0000
23	0.00	0.000	2828.6558	0.0000	972.0832
24	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	4364.0000
25	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	244.0000
26	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	890.0000
27	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	20.0000
28	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	10.0000
29	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	95.0000
30	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	0.0000
31	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	655.0000
32	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	0.0000
33	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	1630.0000
34	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	0.0000
35	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	820.0000
36	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	0.0000
37	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
38	8.83	175.000	2773.5082	6.6307	4364.0000
39	19.12	359.300	3160.0901	7.0140	4221.6677
40	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
41	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
42	6.51	234.400	2922.6921	7.0787	4376.9071

Αρχείο 'cond1.dat'

Στο παρόν αρχείο αποτελεσμάτων σημειώνονται οι ιδιότητες και οι παροχές μάζας όλων των ροών κορεσμένου ή υπόψυκτου νερού που εισήχθησαν ως δεδομένες στο πρόγραμμα ή προέκυψαν από υπολογισμούς. Το αρχείο περιέχει έξι στήλες:

Στην πρώτη καταγράφονται τα ονόματα των ροών, στη δεύτερη η πίεση κάθε μίας σε bar, στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου, στην τέταρτη η ενθαλπία σε kJ/kg, στην πέμπτη η εντροπία σε kJ/kgK και στην έκτη η παροχή μάζας σε kg/h. Μια τυπική μορφή του αρχείου αυτού είναι η ακόλουθη:

CONDENSATE		WATER			
point	bar	Celsius	kJ/kg	kJ/kgK	kg/h
1	0.05	33.100	138.7036	0.4793	85676.4709
2	3.43	32.500	136.5019	0.4710	85676.4709
3	3.43	42.828	179.5962	0.6099	85676.4709
4	1.00	90.000	376.9915	1.1926	391.0000
5	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
6	3.43	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.05	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
8	1.00	90.000	376.9915	1.1926	1450.3538
9	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
10	3.43	45.685	191.5389	0.6475	85676.4709
11	1.00	53.550	224.2507	0.7494	12257.7927
12	3.43	45.685	191.5389	0.6475	85676.4709
13	1.00	0.000	230.8955	0.7698	16094.3039
14	3.43	103.200	432.7788	1.3428	85676.4709
15	3.43	0.000	400.9113	0.0000	101770.7748
16	3.43	138.150	581.2630	1.7201	111862.2232
17	3.43	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
18	75.51	140.400	595.5902	1.7360	0.0000
19	75.51	140.400	595.5902	1.7360	111862.2232
20	8.83	170.000	719.2558	2.0418	244.0000
21	8.83	120.000	504.2653	1.5272	890.0000
22	8.83	170.000	719.2558	2.0418	318.0000
23	8.83	170.000	719.2558	2.0418	10.0000
24	8.83	170.000	719.2558	2.0418	95.0000
25	8.83	170.000	719.2558	2.0418	0.0000
26	8.83	170.000	719.2558	2.0418	655.0000
27	8.83	170.000	719.2558	2.0418	0.0000
28	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
29	8.83	170.000	719.2558	2.0418	0.0000
30	8.83	170.000	719.2558	2.0418	0.0000
31	8.83	170.000	719.2558	2.0418	398.0000
32	8.83	170.000	719.2558	2.0418	0.0000
33	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
34	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
35	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
36	1.00	80.000	334.9905	1.0754	2610.0000
37	8.83	353.274	336.1395	1.0763	2610.0000
38	3.43	328.335	231.2672	0.7702	16094.3039
39	1.00	30.000	125.8325	0.4368	1920.1574
40	11.28	100.000	419.8701	1.3062	75.0000
41	19.12	140.000	590.2061	1.7377	2524.8746

Αρχείο 'bleed1.dat'

Στο παρόν αρχείο αποτελεσμάτων σημειώνονται οι ιδιότητες και οι παροχές μάζας όλων των ροών απομάστευσης που εισήχθησαν ως δεδομένες στο πρόγραμμα ή προέκυψαν από υπολογισμούς. Το αρχείο περιέχει έξι στήλες:

Στην πρώτη καταγράφονται τα ονόματα των ροών, στη δεύτερη η πίεση κάθε μίας σε bar, στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου, στην τέταρτη η ενθαλπία σε kJ/kg, στην πέμπτη η εντροπία σε kJ/kgK και στην έκτη η παροχή μάζας σε kg/h. Μια τυπική μορφή του αρχείου αυτού είναι η ακόλουθη:

```
BLEED (EXTRACTION) STEAM
point bar Celsius kJ/kg kJ/kgK kg/h
1 19.12 359.300 3160.0901 7.0140 4221.6677
2 6.51 234.400 2922.6921 7.0787 8552.0718
3 1.50 120.900 2713.2105 7.2744 7775.9378
```

Αρχείο 'gland1.dat'

Στο παρόν αρχείο αποτελεσμάτων σημειώνονται οι ιδιότητες και οι παροχές μάζας όλων των ροών διαρροών λαβυρίνθων που εισήχθησαν ως δεδομένες στο πρόγραμμα ή προέκυψαν από υπολογισμούς. Το αρχείο περιέχει έξι στήλες:

Στην πρώτη καταγράφονται τα ονόματα των ροών, στη δεύτερη η πίεση κάθε μίας σε bar, στην τρίτη η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου, στην τέταρτη η ενθαλπία σε kJ/kg, στην πέμπτη η εντροπία σε kJ/kgK και στην έκτη η παροχή μάζας σε kg/h. Μια τυπική μορφή του αρχείου αυτού είναι η ακόλουθη:

```
GLAND STEAM
point bar Celsius kJ/kg kJ/kgK kg/h
g1_HP 0.00 0.000 3237.2179 0.0000 142.0000
g1_LP 0.00 0.000 2683.0113 0.0000 143.0000
g1 0.00 0.000 2959.1423 0.0000 285.0000
g2 0.00 0.000 2922.6921 0.0000 50.0000
g3 0.00 0.000 3307.2238 0.0000 16.0000
g4 0.00 0.000 3177.7051 0.0000 40.0000
g5 0.00 0.000 2991.0843 0.0000 391.0000
```

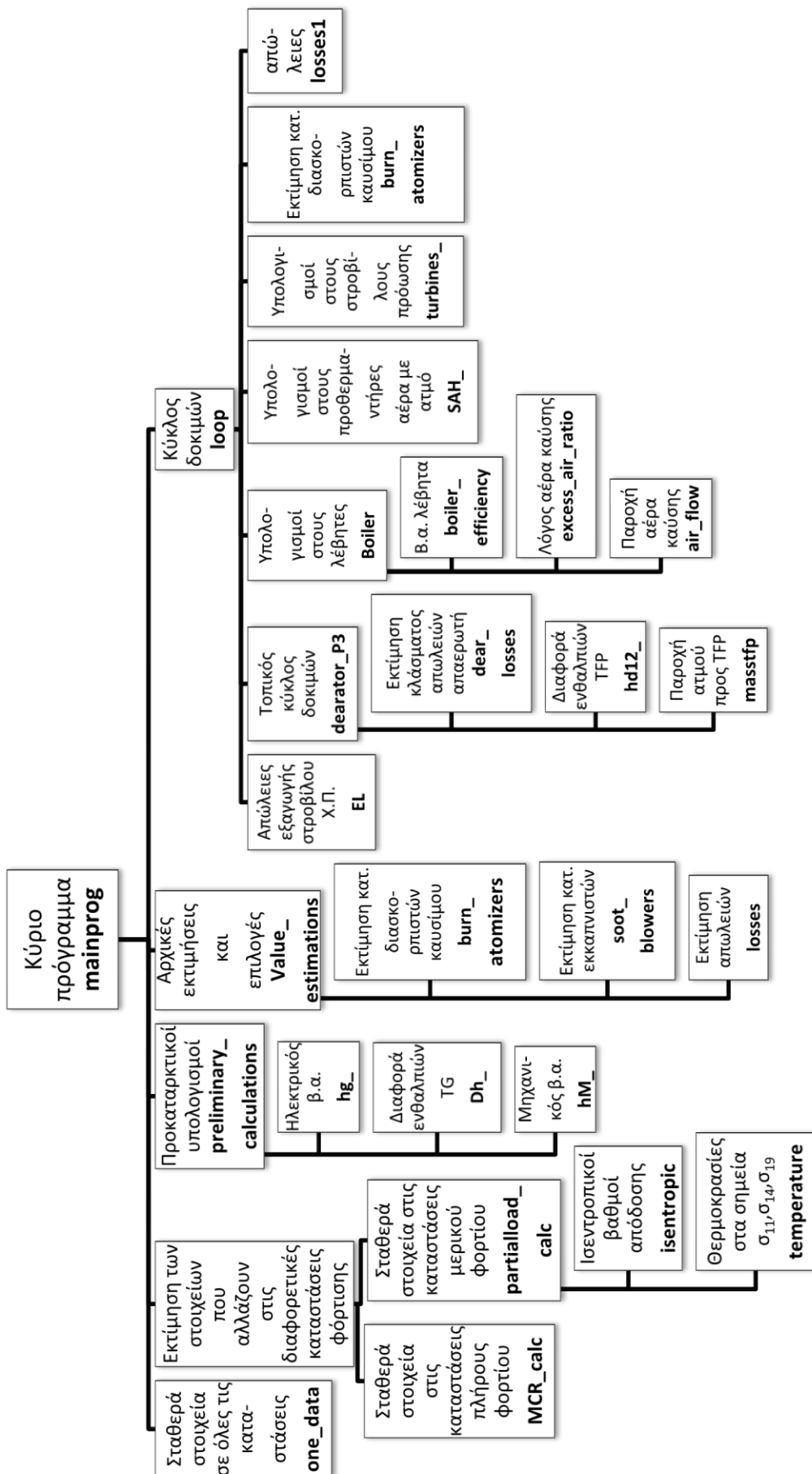

Παράρτημα 5

Κώδικας του προγράμματος σε FORTRAN

Εδώ δίνεται η μορφή του προγράμματος σε κώδικα FORTRAN. Το παρόν παράρτημα χωρίζεται σε δύο ενότητες:

Την Α, όπου δίνεται το δέντρο που περιγράφει την ιεραρχία των ρουτινών, των υπορουτινών και των εξισώσεων του προγράμματος, και τη Β, όπου δίνεται ο κώδικας των ανωτέρω. Η ενότητα Β χωρίζεται σε παραγράφους ανάλογα με τη ρουτίνα που περιγράφεται. Επεξήγηση του κώδικα μπορεί να αναζητηθεί στην Ενότητα 4.3.

5.A. Δένδρο του Προγράμματος



5.B. Κώδικας σε FORTRAN

5.B.1. Κύριο πρόγραμμα

```
PROGRAM mainprog

implicit none

!DECLARATIONS OF VARIABLES
double precision::sup(9,5),cond(41,5),des(42,5),bleed(3,5),
gland(7,5),Wt_req,Wt1,mdist,Wg,HFO,HBOG,per_FO,per_BOG,per_FO,
per_BOG1,dev,Ww,Ww_hp,Ww_lp,Wt,Wt_hp,Wt_lp
double precision::
hsl_1,hsl_11,hsl_12,hsl_21,hsl_22,hsl_2,hg1,plp,plpsg, air(2),
ma,m_FO,m_BOG,boiler_effi,effi_SP,effi_SPG,effi_SG,
fuel_energy,effi_thermal,DQ,plant_effi
character::unw*2,ung*2,useless_data*45,undist*6,sup_car*3(9),unit*7(
5),gland_car*6(7),air_car(2)
double precision,parameter::convw=0.73549880,convenerg=4.1868
integer::cond_car(41),des_car(42),bleed_car(3),i,l,p

OPEN (5,FILE='userparam.dat')
OPEN (6,FILE='userparam1.dat')
OPEN(7,FILE='mc.dat')

!DATA GIVEN BY THE USER
!Propulsion power

read(5,*) useless_data
read(5,*) Wt_req,unw
Wt1=Wt_req
if (unw=='PS') then
    Wt_req=Wt_req*convw
Endif

!Electric power
read(5,*) useless_data
read(5,*) Wg,ung
if (ung=='PS') then
    Wg=Wg*convw
endif

!dist water production rate
read(5,*) useless_data
read(5,*) mdist,undist
mdist=mdist/3600.
```

```

!FO HHV
read (5,*) useless_data
read(5,*) HFO
HFO=HFO*convenerg

!BOG HHV
read (5,*) useless_data
read(5,*) HBOG
HBOG=HBOG*convenerg

!Percentage of steam production rate coming from FO
read(5,*) useless_data
read(5,*) per_FO
per_BOG=1.-(per_FO)
per_FO1=per_FO*100
per_BOG1=per_BOG*100

write(6,*) 'The propulsion power equals to:'
write(6, '(A6,x,F10.3,x,A2)') 'Wt=',Wt_req,'kW'
write(6,*) 'The electric power equals to:'
write(6, '(A6,x,F10.3,x,A2)') 'Wg=',Wg,'kW'
write(6,*) 'The distilled water equals to:'
write(6, '(x,A6,x,F10.5,x,A4)') 'mdist=',mdist,'kg/s'
write(6,*) 'The FO HHV equals to:'
write(6, '(A7,x,F12.5,x,A7)') 'FO HHV=',HFO,'kJ/kg'
write(6,*) 'The BOG HHV equals to:'
write(6, '(A8,x,F12.5,x,A7)') 'BOG HHV=',HBOG,'kJ/kg'
write(6,*) 'The % of steam production rate coming from FO equals
to:'
write(6, '(A7,x,F8.3,x,A1)') 'per_FO=',per_FO1,'% '
write(6,*) 'The % of steam production rate coming from BOG equals
to:'
write(6, '(A8,x,F8.3,x,A1)') 'per_BOG=',per_BOG1,'% '

call one_data(sup,cond,des,sup_car,cond_car,des_car,air,air_car,
unit)

if (Wt1==36800.) then

    call MCR_CALC(sup,cond,des,bleed,bleed_car,sup_car,cond_car,
des_car,per_FO,hsl_1,hsl_11,hsl_12,hsl_21,hsl_22,
hsl_2)
else

    call partialload_calc(sup,cond,des,bleed,bleed_car,sup_car,
cond_car,des_car,per_FO,hsl,hsl_11,hsl_12,
hsl_21,hsl_22,Wt_req,Wtnom)
endif

```

```

call preliminary_calculations(sup,cond,des,bleed,bleed_car,
                             sup_car,cond_car,des_car,
                             per_FO,hsl_1,hsl_11,hsl_12,
                             hsl_21,hsl_22,hsl_2,Wg,
                             gland_car,gland,hg1,mdist)

call Value_estimations(sup,cond,des,bleed,bleed_car,
                      sup_car,cond_car,des_car,gland,
                      gland_car,per_FO,Wt1,plp,plpsg)

!Steam flow rate to main condenser mc

read(7,*)useless_data
read(7,*)sup(9,5)
sup(9,5)=SUP(9,5)/3600.

dev=0.1

p=1
!LOOP

do while (abs(dev)>=0.000000000000001)
  call loop(sup,cond,des,bleed,bleed_car,sup_car,cond_car,
           des_car,gland,gland_car,per_FO,per_BOG,Wt1,
           Wt_req,hsl_22,plp,plpsg,HFO,HBOG,air,air_car,dev,
           Ww,Ww_hp,Ww_lp,Wt,Wt_hp,Wt_lp,ma,m_FO,m_BOG,
           boiler_effi,DQ)

  sup(9,5)=sup(9,5)*Wt_req/Wt
  p=p+1
enddo

!RESULTS
OPEN(40,FILE='results.dat')
write(40,'(A21,I)')'Number of iterations:',p
write(40,*)'-----FINAL RESULTS-----'
write(40,*)'-----POWER-----'
write(40,'(A26,x,I3,x,A16,x,F10.4,x,A2)')'The propulsion power after
',p,'loops equals to:',Wt,'kW'
write(40,'(A43,x,F10.4,x,A2)')'The power provided by HP turbine
equals to:',Wt_hp,'kW'
write(40,'(A43,x,F10.4,x,A2)')'The power provided by LP turbine
equals to:',Wt_lp,'kW'

write(40,*)'-----BOILERS-----'
write(40,'(A50,x,F11.4,x,A4)')'The combustion air flow per each
boiler equals to:',(ma/2.*3600.),'kg/h'
write(40,'(A51,x,F12.4,x,A4)')'The combustion air flow for both
boilers equals to:',(ma*3600.),'kg/h'

```

```

write(40, '(A34,x,F9.4,x,A4)') 'The FO consumption rate equals
to:', (m_FO*3600.), 'kg/h'
write(40, '(A35,x,F9.4,x,A4)') 'The BOG consumption rate equals
to:', (m_BOG*3600.), 'kg/h'
fuel_energy=(m_FO*HF0)+(m_BOG*HBOG)
write(40, '(A45,x,F12.4,x,A2)') 'The energy provided by the fuel(s)
equals to:', fuel_energy, 'kW'
effi_SP=Wt/fuel_energy

write(40,*) '-----EFFICIENCIES-----'
write(40, '(A35,x,F8.4,x,A)') 'Each boilers efficiency equals
to:', (boiler_effi*100), '%'
write(40, '(A42,x,F8.4,x,A1)') 'The mechanical efficiency equals
to:', (effi_SP*100), '%'
effi_SG=Wg/fuel_energy
write(40, '(A42,x,F8.4,x,A1)') 'The electrical efficiency equals
to:', (effi_SG*100), '%'
effi_SPG=effi_SG+effi_SP
write(40, '(A44,x,F8.4,x,A)') 'The electro-mechanical efficiency
equals to:', (effi_SPG*100), '%'
effi_thermal=(DQ+((des(8,5)*des(8,3))+(cond(9,5)*cond(9,3))
-(cond(8,5)*cond(8,3))-(cond(3,5)*cond(3,3))+
(cond(2,5)*cond(2,3)))+
(cond(20,5)*(des(38,3)-cond(20,3)))+(cond(23,5)*(des(38,3)-
cond(23,3)))+(cond(25,5)*(des(38,3)-cond(25,3))
+(cond(26,5)*(des(38,3)-cond(26,3))))/fuel_energy
write(40, '(A44,x,F8.4,x,A)') 'The thermal efficiency equals
to:', (effi_thermal*100), '%'
plant_effi=effi_SPG+effi_thermal
write(40, '(A44,x,F8.4,x,A)') 'The plant efficiency equals
to:', (plant_effi*100), '%'
CLOSE(40)

!SUPERHEATED STEAM
OPEN(41,FILE='sup1.dat')
unit(5)='kg/h'
WRITE(41,*) 'SUPERHEATED STEAM'
write(41, '(A5,xx,A3,xx,A7,xxx,A5,xxxx,A6,xx,A4)') 'point',
unit(1),unit(2),unit(3),unit(4),unit(5)

do i=1,9
  write(41, '(A5,x,F5.2,x,F7.3,x,F10.4,x,F7.4,x,F11.4)')
    sup_car(i),sup(i,1),sup(i,2),sup(i,3),sup(i,4),
    (sup(i,5)*3600)
  end do
CLOSE(41)

!DESUPERHEATED STEAM
OPEN(42,FILE='des1.dat')

```



```

WRITE(42,*) 'DESUPERHEATED STEAM'
write(42, '(A5,xx,A3,xx,A7,xxx,A5,xxxx,A6,xx,A4)') 'point',
unit(1),unit(2),unit(3),unit(4),unit(5)
do i=1,42

    write(42, '(i2,xx,F5.2,xx,F7.3,x,F10.4,x,F7.4,x,F11.4)')
    des_car(i),des(i,1),des(i,2),des(i,3),des(i,4),
    (des(i,5)*3600)
end do

CLOSE(42)

!CONDENSATE WATER
OPEN(43,FILE='cond1.dat')
WRITE(43,*) 'CONDENSATE WATER'
write(43, '(A5,xx,A3,xx,A7,xxx,A5,xxxx,A6,xx,A4)') 'point',
unit(1),unit(2),unit(3),unit(4),unit(5)
do i=1,41
    write(43, '(i2,xx,F5.2,xx,F7.3,x,F10.4,x,F7.4,x,F11.4)')
    cond_car(i),cond(i,1),cond(i,2),cond(i,3),cond(i,4),
    (cond(i,5)*3600)
end do
CLOSE(43)

!GLAND STEAM
OPEN(44,FILE='gland1.dat')
WRITE(44,*) 'GLAND STEAM'
write(44, '(A5,xx,A3,xx,A7,xxx,A5,xxxx,A6,xxx,A4)') 'point',
unit(1),unit(2),unit(3),unit(4),unit(5)

do i=1,7
    write(44, '(A5,x,F5.2,x,F7.3,x,F10.4,x,F7.4,x,F11.4)')
    gland_car(i),gland(i,1),gland(i,2),gland(i,3),gland(i,4),
    (gland(i,5)*3600)
enddo
CLOSE(44)

!BLEED STEAM
OPEN(45,FILE='bleed1.dat')
WRITE(45,*) 'BLEED (EXTRACTION) STEAM'
write(45, '(A5,xx,A3,xx,A7,xxx,A5,xxxx,A6,xx,A4)') 'point',
unit(1),unit(2),unit(3),unit(4),unit(5)

do i=1,3
    write(45, '(i2,xx,F5.2,xx,F7.3,x,F10.4,x,F7.4,x,F11.4)')
    bleed_car(i),bleed(i,1),bleed(i,2),bleed(i,3),bleed(i,4),
    (bleed(i,5)*3600)
enddo

```

```

        CLOSE (45)
    CLOSE (5)
    CLOSE (6)
    CLOSE (7)
    CLOSE (11)
    CLOSE (14)
    CLOSE (16)
    CLOSE (24)

END PROGRAM mainprog

```

5.B.2. Σταθερά στοιχεία σε όλες τις καταστάσεις

```

SUBROUTINE
one_data (sup, cond, des, sup_car, cond_car, des_car, air, air_car,
unit)
!VALUES THAT ARE CONSTANT IN ALL CONDITIONS
implicit none
!DECLARATION OF VARIABLES
double precision::sup(9,5),cond(41,5),des(42,5),air(2)
character::sup_car*3(9),unit*7(5),air_car(2)
double precision,parameter::pres=0.980665
integer::i,j,a,cond_car(41),k,des_car(42)

!ASME DECLARATIONS
INTEGER ircnt
CHARACTER*60 cright
CHARACTER*40 title1, title2
CHARACTER*10 version
CHARACTER*4 year
REAL(8) HPTDSI, SPTDSI, HPSSI ,TPHDSI,SPHSI,HPTLSI,SPTLSI
! /ASME DECLARATIONS END
CALL SPINIT(ircnt,cright,title1,title2,version,year)

OPEN(10,FILE='sup.dat')
OPEN(12,FILE='cond.dat')
OPEN(15,FILE='des.dat')
OPEN(33,FILE='air.dat')

!A. _____ SUPERHEATED STEAM
do i=1,9
    read(10,*) sup_car(i),sup(i,1),sup(i,2)
enddo

!UNITS
unit(1)='bar'
unit(2)='Celsius'

```

```

unit(3)='kJ/kg'
unit(4)='kJ/kgK'
unit(5)='kg/s'
!/UNITS

do i=1,8
  if (i/=6) then
    sup(i,1)=pres*sup(i,1)
  end if
enddo

sup(3,1)=sup(2,1)*0.9

do i=1,8

  if ((i/=3).and.(i/=4).and.(i/=5).and.(i/=6)) then

    sup(i,3)=HPTDSI(sup(i,1)*0.1,sup(i,2)+273.15)

    sup(i,4)=SPHSI(sup(i,1)*0.1,sup(i,3))

  end if

end do

sup(3,3)=sup(2,3)

sup(3,4)=SPHSI(sup(3,1)*0.1,sup(3,3))

!B. _____CONDENSATE WATER

do i=1,18

  read(12,*)k,cond(k,1),cond(k,2)

  if ((k/=39).and.(k/=36)) then

    cond(k,1)=cond(k,1)*pres

  end if

  cond(k,3)=HPTLSI(cond(k,1)*0.1,cond(k,2)+273.15)

  cond(k,4)=SPTLSI(cond(k,1)*0.1,cond(k,2)+273.15)

```

```

enddo

do i=1,12
  read(12,*)k,cond(k,1)

  if ((k/=7).and.(k/=13)) then
    cond(k,1)=cond(k,1)*pres
  end if

enddo

do i=1,41
  cond_car(i)=i

end do

!C. _____ DESUPERHEATED STEAM
read(15,*)k,des(k,1),des(k,2)
des(k,1)=des(k,1)*pres
des(k,3)=HPTDSI(des(k,1)*0.1,des(k,2)+273.15)
des(k,4)=SPHSI(des(k,1)*0.1,des(k,3))

!Steam supply to consumers
do i=24,36
  des(i,1)=des(k,1)
  des(i,2)=des(k,2)
  des(i,3)=HPTDSI(des(i,1)*0.1,des(i,2)+273.15)

  des(i,4)=SPHSI(des(i,1)*0.1,des(i,3))
enddo

!d1
des(1,1)=sup(9,1)

des(6,1)=sup(9,1)

do i=1,42
  des_car(i)=i
end do

!D. _____ AIR'

do i=1,2

```

```

        read(33,*)air_car(i),air(i)

    enddo

CLOSE(10)
CLOSE(12)
CLOSE(15)
CLOSE(33)

END SUBROUTINE one_data

```

5.B.3. Εκτίμηση των στοιχείων που αλλάζουν στις διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης

5.B.3.1 Σταθερά στοιχεία στις καταστάσεις παραγωγής πλήρους φορτίου (100%MCR)

```

SUBROUTINE
MCR_calc(sup,cond,des,bleed,bleed_car,sup_car,cond_car,des_car,
per_FO,hsl_1,
hsl_11,hsl_12,hsl_21,hsl_22,hsl_2)

implicit none

!DECLARATION OF VARIABLES
double precision::sup(9,5),cond(41,5),des(42,5),bleed(3,5),per_FO
double precision::hsl_1,hsl_11,hsl_12,hsl_21,hsl_22,hsl_2,Wg
character::sup_car*3(9),unit*7(5)
double precision,parameter::pres=0.980665
integer::i,j,cond_car(41),k,des_car(42),bleed_car(3),m

!ASME DECLARATIONS
INTEGER ircnt
CHARACTER*60 cright
CHARACTER*40 title1, title2
CHARACTER*10 version
CHARACTER*4 year
REAL(8) HPTDSI, SPTDSI, HPSSI ,TPHDSI,SPHSI,HPTLSI,SPTLSI
CALL SPINIT(ircnt,cright,title1,title2,version,year)

OPEN(13,FILE='supMCR.dat')
OPEN(19,FILE='condMCR.dat')
OPEN(21,FILE='desMCR.dat')
OPEN(23,FILE='bleed.dat')
OPEN(24,FILE='enth.eq.e2.dat')

```

```

!A. _____ SUPERHEATED STEAM
m=4
do i=1,2
  read(13,*) sup_car(m), sup(m,1), sup(m,2)
  sup(m,1)=pres*sup(m,1)
  sup(m,3)=HPTDSI(sup(m,1)*0.1, sup(m,2)+273.15)
  sup(m,4)=SPHSI(sup(m,1)*0.1, sup(m,3))
  m=m+1
enddo

!B. _____ DESUPERHEATED STEAM
do i=1,2
  read(21,*) k, des(k,1), des(k,2)
  if (per_FO==1) then
    des(16,2)=288.
  else
    des(16,2)=287.
  end if

  des(k,1)=des(k,1)*pres
  des(k,3)=HPTDSI(des(k,1)*0.1, des(k,2)+273.15)
  des(k,4)=SPHSI(des(k,1)*0.1, des(k,3))
enddo

do i =17,23
  des(i,3)=des(16,3)
enddo

!C. _____ CONDENSATE WATER
do i=1,6
  read(19,*) k, cond(k,1), cond(k,2)
  if ((k==14).or.(k==41).or.(k==19)) then
    cond(k,1)=cond(k,1)*pres
  end if
  cond(k,3)=HPTLSI(cond(k,1)*0.1, cond(k,2)+273.15)
  cond(k,4)=SPTLSI(cond(k,1)*0.1, cond(k,2)+273.15)
enddo

cond(18,1)=cond(19,1)
cond(18,2)=cond(19,2)
cond(18,3)=cond(19,3)
cond(18,4)=cond(19,4)

!D. _____ BLEED (EXTRACTION) STEAM
do i=1,3
  bleed_car(i)=i
  read(23,*) k, bleed(i,1), bleed(i,2)
  bleed(i,1)=bleed(i,1)*pres
  bleed(i,3)=HPTDSI(bleed(i,1)*0.1, bleed(i,2)+273.15)

```

```

        bleed(i,4)=SPHSI(bleed(i,1)*0.1,bleed(i,3))
    enddo

!points with properties that are equal to those of e2
do i=1,4
    read(24,*)k
    des(k,1)=bleed(2,1)
    des(k,2)=bleed(2,2)
    des(k,3)=bleed(2,3)
    des(k,4)=bleed(2,4)
enddo

!ISENTROPIC EFFICIENCIES
!HP turbine
!hsl 1.1
hsl_11=0.911523008
!hsl 1.2
hsl_12=0.880140913
!hsl 1
hsl_1=0.900217595

!LP turbine
!hsl 2.1
hsl_21=0.739598
!hsl 2.2
hsl_22=0.874884
!hsl 2
hsl_2=0.839993

!Calculation of enthalpies h1,h2,h3:
!At 100% MCR enthalpies are considered to be equal to those given in
file 13.
!If Power /= 100% MCR enthalpies are calculated using the isentropic
efficiencies

CLOSE(13)
CLOSE(19)
CLOSE(21)
CLOSE(23)
CLOSE(24)

END SUBROUTINE MCR_calc

```

5.B.3.2 Σταθερά στοιχεία στις καταστάσεις μερικού φορτίου

```
SUBROUTINE partialload_calc(sup,cond,des,bleed,bleed_car,
    sup_car,cond_car,des_car,per_FO,hsl,hsl_11,hsl_12,
    hsl_21,hsl_22,Wt,Wtnom)

implicit none

!DECLARATION OF VARIABLES

double
precision::sup(9,5),cond(41,5),des(42,5),bleed(3,5),per_FO,hpe1,hpe2
,hpe3,T11,T14,T19
double
precision::hsl_11,hsl_12,hsl_21,hsl_22,hsl,Wg,hsl_11nom,hsl_12nom,hsl_
l_21nom,hsl_22nom,hsl_nom,Wt,Wtnom
character::sup_car*3(9),unit*7(5)
double precision,parameter::pres=0.980665
integer::i,j,cond_car(41),k,des_car(42),bleed_car(3),m

!ASME DECLARATIONS
INTEGER ircnt
CHARACTER*60 cright
CHARACTER*40 title1, title2
CHARACTER*10 version
CHARACTER*4 year
REAL(8) HPTDSI, SPTDSI, HPSSI ,TPHDSI,SPHSI,HPTLSI,SPTLSI,SPHLSI,
SPHDSI

CALL SPINIT(ircnt,cright,title1,title2,version,year)

OPEN(32,FILE='cond_par.dat')

OPEN(33,FILE='des_par.dat')

OPEN(34,FILE='bleed_par.dat')

OPEN(24,FILE='enth.eq.e2.dat')

!ISENTROPIC EFFICIENCIES

!Main turbine

hsl_nom=0.8842422
```



```

!HP turbine
!hsl 1.1
hsl_11nom=0.911523008
!hsl 1.2
hsl_12nom=0.880140913

!LP turbine
!hsl 2.1
hsl_21nom=0.739598
!hsl 2.2
hsl_22nom=0.91131

CALL isentropic(hsl_11nom,hsl_12nom,hsl_21nom,hsl_22nom,hsl_nom,
                Wtnom,Wt,hsl_11,hsl_12,hsl_21,hsl_22,hsl)

!BLEED (EXTRACTION) STEAM

do i=1,3
  bleed_car(i)=i
  read(34,*)k,bleed(i,1)
  bleed(i,1)=bleed(i,1)*pres
enddo

!e1
hpe1=HPSSI(bleed(1,1)*0.1,sup(3,4))
bleed(1,3)=sup(3,3)-hsl_11*(sup(3,3)-hpe1)
bleed(1,4)=SPHDSI(bleed(1,1)*0.1,bleed(1,3))
bleed(1,2)=TPHDSI(bleed(1,1)*0.1,bleed(1,3))
bleed(1,2)=bleed(1,2)-273.15

!e2
hpe2=HPSSI(bleed(2,1)*0.1,bleed(1,4))
bleed(2,3)=bleed(1,3)-hsl_12*(bleed(1,3)-hpe2)
bleed(2,4)=SPHDSI(bleed(2,1)*0.1,bleed(2,3))
bleed(2,2)=TPHDSI(bleed(2,1)*0.1,bleed(2,3))
bleed(2,2)=bleed(2,2)-273.15

!e3
hpe3=HPSSI(bleed(3,1)*0.1,bleed(2,4))
bleed(3,3)=bleed(2,3)-hsl_21*(bleed(2,3)-hpe3)
bleed(3,4)=SPHDSI(bleed(3,1)*0.1,bleed(3,3))
bleed(3,2)=TPHDSI(bleed(3,1)*0.1,bleed(3,3))
bleed(3,2)=bleed(3,2)-273.15

```

!A. _____ SUPERHEATED STEAM

sup(4,1)=bleed(2,1)
sup(5,1)=bleed(2,1)

sup(4,2)=bleed(2,2)
sup(5,2)=bleed(2,2)

sup(4,3)=bleed(2,3)
sup(5,3)=bleed(2,3)

sup(4,4)=bleed(2,4)
sup(5,4)=bleed(2,4)

!B. _____ DESUPERHEATED STEAM

read(33,*)k,des(k,1)

if (per_FO==1) then
 des(16,2)=288.
else
 des(16,2)=287.
end if

des(k,1)=des(k,1)*pres
des(k,3)=HPTDSI(des(k,1)*0.1,des(k,2)+273.15)
des(k,4)=SPHSI(des(k,1)*0.1,des(k,3))
des(39,1)=bleed(1,1)
des(39,3)=bleed(1,3)

do i =17,23

 des(i,3)=des(16,3)

enddo

!C. _____ CONDENSATE WATER

cond(41,1)=bleed(1,1)
cond(41,2)=140.

```

CALL temperature(T11,T14,T19,Wt)

cond(11,2)=T11
cond(14,2)=T14
cond(19,2)=T19

do i=1,5

  if ((i==1).or.(i==2)) then
    read(32,*)k,cond(k,1),cond(k,2)
  else
    read(32,*)k,cond(k,1)
  endif
  if ((k==14).or.(k==19)) then
    cond(k,1)=cond(k,1)*pres
  end if

  cond(k,3)=HPTLSI(cond(k,1)*0.1,cond(k,2)+273.15)

  cond(k,4)=SPTLSI(cond(k,1)*0.1,cond(k,2)+273.15)

enddo

cond(41,3)=HPTLSI(cond(41,1)*0.1,cond(41,2)+273.15)

cond(41,4)=SPTLSI(cond(41,1)*0.1,cond(41,2)+273.15)

cond(18,1)=cond(19,1)
cond(18,2)=cond(19,2)
cond(18,3)=cond(19,3)
cond(18,4)=cond(19,4)

!points with properties that are equal to those of e2

do i=1,4
  read(24,*)k
  des(k,1)=bleed(2,1)
  des(k,2)=bleed(2,2)
  des(k,3)=bleed(2,3)
  des(k,4)=bleed(2,4)
enddo

CLOSE(32)
CLOSE(33)
CLOSE(34)
CLOSE(24)

END SUBROUTINE partialload_calc

```

5.B.3.2.1 Ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης κατά τμήματα των στροβίλων πρόωσης

```
SUBROUTINE temperature (T11, T14, T19, Wt)
implicit none
double precision :: T11, T14, T19, x, Wt
!s11
double precision, parameter :: mean=1.895*(10**4), std=7891, p1=-
1.772, p2=2.431, p3=1.483, p4=-7.412, p5=58.89
!s14
double precision, parameter :: q1=-0.7139, q2=12.59, q3=-3.826, q4=-
1.331, q5=95.71
!s19
double precision, parameter :: r1=-0.1075, r2=-0.03835, r3=0.3951, r4=-
0.7473, r5=140.9

x=(Wt-mean)/std
T11=p1*(x**4)+p2*(x**3)+p3*(x**2)+p4*x+p5
T14=q1*(x**4)+q2*(x**3)+q3*(x**2)+q4*x+q5
T19=r1*(x**4)+r2*(x**3)+r3*(x**2)+r4*x+r5

END SUBROUTINE temperature
```

5.B.3.2.2 Θερμοκρασία των σημείων σ_{11} , σ_{14} και σ_{19}

```
SUBROUTINE temperature (T11, T14, T19, Wt)

implicit none

double precision :: T11, T14, T19, x, Wt
!s11
double precision, parameter :: mean=1.895*(10**4), std=7891, p1=-
1.772, p2=2.431, p3=1.483, p4=-7.412, p5=58.89
!s14
double precision, parameter :: q1=-0.7139, q2=12.59, q3=-3.826, q4=-
1.331, q5=95.71
!s19
double precision, parameter :: r1=-0.1075, r2=-0.03835, r3=0.3951, r4=-
0.7473, r5=140.9

x=(Wt-mean)/std
T11=p1*(x**4)+p2*(x**3)+p3*(x**2)+p4*x+p5

T14=q1*(x**4)+q2*(x**3)+q3*(x**2)+q4*x+q5

T19=r1*(x**4)+r2*(x**3)+r3*(x**2)+r4*x+r5

END SUBROUTINE temperature
```

5.B.4. Προκαταρκτικοί υπολογισμοί

```
SUBROUTINE preliminary_calculations
(sup,cond,des,bleed,bleed_car,sup_car,cond_car,des_car,per_FO,
hsl_1,hsl_11,hsl_12,hsl_21,hsl_22,hsl_2,Wg,gland_car,gland,hg1
,mdist)

implicit none

!DECLARATION OF VARIABLES

double
precision::sup(9,5),cond(41,5),des(42,5),bleed(3,5),per_FO,qw,mdist
double precision::hsl_1,hsl_11,hsl_12,hsl_21,hsl_22,hsl_2,Wg,
gland(7,6),SR,hg_,hg1,Dh,Dh_,hM,hM_
double precision::Q,Qeject,Qst
double precision,parameter::converng=4.1868
character::sup_car*3(9),unit*7(5),gland_car*6(7),useless_data*39
integer::i,j,k,l,cond_car(41),des_car(42),bleed_car(3)

OPEN(25,FILE='ext_constrate.dat')
OPEN(27,FILE='glandmass.dat')

!GLAND STEAM
!Steam rates in kg/s

do i=1,7
  read(27,*)gland_car(i),gland(i,5)
  gland(i,5)=gland(i,5)/3600.
enddo

!TURBO GENERATOR
!electrical efficiency
hg1=hg_(Wg)

!Dh
Dh=Dh_(Wg)

!mechanical efficiency
hM=hM_(Wg)

!Calculation of m5
sup(7,5)=Wg/(hg1*hM*Dh)

!Calculation of properties of d1
des(1,3)=sup(7,3)-Dh
des(1,5)=sup(7,5)-gland(6,5)
```

```

des(3,5)=des(1,5)

!Calculation of main steam consumption rate in kg/kWh
SR=(sup(7,5)*3600)/Wg

!Calculation of gland steam enthalpy g4
gland(6,3)=sup(7,3)-(0.3*3600/SR)

!FW EVAPORATOR
!Evap eject flow rate
des(19,5)=75./3600.
cond(40,5)=des(19,5)

!Specific energy cons. in kJ/kg
!It's value is based on calculations
qw=1549.1302

!Energy provided to evaporator
Q=qw*mdist
Qeject=des(19,5)*(des(19,3)-cond(40,3))
Qst=Q-Qeject

!Steam flow provided to evaporator
des(8,5)=Qst/(des(8,3)-cond(8,3))

!Steam flow rate selection for external users
read(25,*)useless_data
do i=1,7
  read(25,*)k,l,cond(k,5)
  cond(k,5)=cond(k,5)/3600.
  des(1,5)=cond(k,5)
enddo

CLOSE(25)
CLOSE(27)

END SUBROUTINE preliminary_calculations

```

5.B.4.1 Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης

```

FUNCTION hg_(Wg)
implicit none

double precision:: Wg,x,hg_
double precision,parameter:: p1=0.006455,p2=-0.0125,
p3=0.01065,p4=0.9524,mean=2156,std=1113

```

```

x=(Wg-mean)/std

hg_=(p1*(x**3))+(p2*(x**2))+(p3*x)+p4

END FUNCTION hg_

```

5.B.4.2 Διαφορά ενθαλπών στροβίλου γεννήτριας, TG

```

FUNCTION Dh_(Wg)
implicit none

double precision:: Wg,x,Dh_
double precision,parameter:: p1=-0.3878,p2=1.904,p3=0.766,
p4=-10.29,p5=2.423,p6=24.67,p7=-27.53,p8=-6.523,
p9=989.1,mean=1944,std=901.7

x=(Wg-mean)/std

Dh_=(p1*(x**8))+(p2*(x**7))+(p3*(x**6))+(p4*(x**5))+
(p5*(x**4))+(p6*(x**3))+(p7*(x**2))+(p8*x)+p9

END FUNCTION Dh_

```

5.B.4.3 Μηχανικός βαθμός απόδοσης στροβίλου γεννήτριας, TG

```

FUNCTION hM_(Wg)
implicit none
double precision:: Wg,x,hM_
double precision,parameter:: p1=0.0006404,p2=-0.0009982,p3=-
0.003276,p4=0.001605,p5=0.01559,p6=-0.01232,p7=-
0.0139,p8=0.01254,p9=0.003234,p10=0.9566,mean=1944,std=901.7

x=(Wg-mean)/std

hM_=(p1*(x**9))+(p2*(x**8))+(p3*(x**7))+(p4*(x**6))+
(p5*(x**5))+(p6*(x**4))+(p7*(x**3))+(p8*x**2)+(p9*x)+p10

END FUNCTION hM_

```

5.B.5 Αρχικές εκτιμήσεις και επιλογές

```

SUBROUTINE Value_estimations(sup,cond,des,bleed,bleed_car,sup_car,
cond_car,des_car,gland,gland_car,per_FO,Wt1,plp,plpsg)
implicit none

!DECLARATION OF VARIABLES

```

```

double precision::sup(9,5),cond(41,5),des(42,5),bleed(3,5),per_FO,
gland(7,5)
double precision::hsl_1,hsl_11,hsl_12,hsl_21,hsl_22,hsl_2,Wg,
burn_atomizers,soot_blowers,losses,Wt1,plp,Qlp,Qd,plpsg
character::sup_car*3(9),unit*7(5),gland_car*6(7),useless_dat*46
double precision,parameter::pres=0.980665,atm=1.01325
integer::i,j,cond_car(41),k,l,des_car(42),bleed_car(3)

```

```
!ASME DECLARATIONS
```

```
INTEGER ircnt
```

```
CHARACTER*60 cright
```

```
CHARACTER*40 title1, title2
```

```
CHARACTER*10 version
```

```
CHARACTER*4 year
```

```
REAL(8) HPTDSI, SPTDSI, HPSSI,TPHDSI,SPHSI,HPTLSI,SPTLSI,HGTSI
```

```
CALL SPINIT(ircnt,cright,title1,title2,version,year)
```

```
OPEN(28,FILE='value_est.dat')
```

```
!ESTIMATION OF d6
```

```
des(6,5)=50./3600
```

```
des(6,3)=HGTSI(bleed(3,2)+273.15)
```

```
!PROPERTIES AT d7
```

```
read(28,*)useless_dat
```

```
read(28,*)useless_dat
```

```
read(28,*)des(7,5)
```

```
des(7,5)=des(7,5)/3600.
```

```
des(42,5)=des(7,5)
```

```
read(28,*)useless_dat
```

```
read(28,*)des(7,1)
```

```
des(7,1)=(des(7,1)*pres)+atm
```

```
read(28,*)useless_dat
```

```
read(28,*)des(7,2)
```

```
des(7,3)=HPTLSI(des(7,1)*0.1,des(7,2)+273.15)
```

```
des(7,4)=SPTLSI(des(7,1)*0.1,des(7,2)+273.15)
```

```
!ESTIMATION AND SELECTION OF MAKE-UP WATER FLOW RATE
```

```
!Burners' Atomizers rate
```

```
des(20,5)=burn_atomizers(per_FO)/3600
```

```
!Soot blowers rate
```



```

    des(17,5)=soot_blowers(per_FO)/3600.

!Looses rate
    des(23,5)=losses(Wt1)/3600.

!make-up water rate
    cond(39,5)=des(20,5)+des(17,5)+des(23,5)

!ESTIMATION OF GLAND ENTHALPIES

!g2 (hg2=he3)
    gland(4,3)=bleed(2,3)

!g3 (estimation based on calculations)
    if (Wt1==36800) then
        gland(5,3)=3306.7
    end if

!RADIATION AND OTHER LOSSES

!LP Heater:The user gives the ratio pqlp=Qlp/Qe3
    read(28,*)useless_dat
    read(28,*) plp

!Low Pressure Steam Generator:The user gives the ratio
plpsg=Qlosses/Qw
    read(28,*)useless_dat
    read(28,*) plpsg

!ESTIMATION OF s19=s16 flow rate:The user gives a value for s19
    read(28,*)useless_dat
    read(28,*) cond(19,5)
    cond(19,5)=cond(19,5)/3600.
    cond(16,5)=cond(19,5)

!STEAM FLOW RATES TO AUXILIARY EQUIPMENT
    read(28,*)useless_dat
    do i=1,5
        read(28,*)useless_dat
        read(28,*) k,l,cond(k,5)
        cond(k,5)=cond(k,5)/3600.
        des(l,5)=cond(k,5)
    enddo

!properties of s28,s33 and steam flow rates of s35,s34
cond(28,5)=0
cond(28,3)=0

do i=20,27
    cond(28,5)=cond(28,5)+cond(i,5)

```

```

    cond(28,3)=(cond(i,5)*cond(i,3))+cond(28,3)
enddo

cond(28,3)=cond(28,3)/cond(28,5)
cond(35,5)=cond(28,5)
cond(33,5)=0
cond(33,3)=0

do i=29,32
    cond(33,5)=cond(33,5)+cond(i,5)
    cond(33,3)=(cond(i,5)*cond(i,3))+cond(33,3)
enddo
cond(33,3)=cond(33,3)/cond(33,5)

if (cond(33,5)/=0) then
    cond(33,3)=cond(33,3)/cond(33,5)
end if

cond(34,5)=cond(33,5)

CLOSE(28)

END SUBROUTINE Value_estimations

```

5.B.5.1 Ροή ατμού προς τους διασκορπιστές καυσίμου

```

FUNCTION burn_atomizers(per_FO)

implicit none
double precision::per_FO,burn_atomizers
double precision,parameter::p1=-482.54099137,p2=1058.54099137

if (per_FO==0.) then
    burn_atomizers=300
else
    burn_atomizers=p1*per_FO+p2
end if

END FUNCTION burn_atomizers

```

5.B.5.2 Ροή ατμού προς τους εκκαπνιστές

```

FUNCTION soot_blowers(per_FO)
implicit none

double precision::per_FO,soot_blowers

```

```

if (per_FO==0.) then
  soot_blowers=63
else
  soot_blowers=125
end if

END FUNCTION soot_blowers

```

5.B.5.3 Εκτίμηση απωλειών ατμού

```

FUNCTION losses(Wt1)
implicit none

double precision::Wt1,losses,x,mean,std

double precision,parameter::p1=-109.2, p2=-72.42, p3=188.2,
p4=225.5,p5=733.9

mean=2.576*(10**4)
std=1.073*(10**4)
x=(Wt1-mean)/std

losses=(p1*(x**4))+(p2*(x**3))+(p3*(x**2))+(p4*x)+p5

END FUNCTION losses

```

5.B.6 Κύκλος δοκιμών

Η ρουτίνα 'loop' σε κώδικα FORTRAN έχει ως εξής:

```

SUBROUTINE loop
(sup,cond,des,bleed,bleed_car,sup_car,cond_car,des_car,
gland,gland_car,per_FO,per_BOG,Wt1,Wt_req,hsl_22,plp,plpsg,
HFO,HBOG,air,air_car,dev,Ww,Ww_hp,Ww_lp,Wt,Wt_hp,Wt_lp,ma,
m_FO,m_BOG,boiler_effi)
implicit none

!DECLARATION OF VARIABLES
double precision::sup(9,5),cond(41,5),des(42,5),bleed(3,5),
per_FO,per_BOG,gland(7,5),air(2)

double precision::hsl_1,hsl_11,hsl_12,hsl_21,hsl_22,hsl_2,Wg,
Wt1,Wt_req,sf,sg,hf,hg,x,hp,hi,Aa,mc_PcAa,dev,burn_atom,Dh_RL

double precision::Pc,EL,EL_,h,h1,plp,plpsg,Qw,DQ,Qst,conv_s16,
ms16,HFO,HBOG,mst,QB,m_FO,m_BOG,boiler_effi,ma,Ww,Ww_hp,Ww_lp,Wt,Wt_
hp,Wt_lp

```

```

character::sup_car*3(9),unit*7(5),gland_car*6(7),
useless_data*26,air_car(2)

double precision,parameter::pres=0.980665,atm=1.01325,
mmHg=750.0616827042,hP2=0.7,hP4=0.7,rRL=0.006
integer::i,j,cond_car(41),k,des_car(42),bleed_car(3)

!ASME DECLARATIONS
INTEGER ircnt
CHARACTER*60 cright
CHARACTER*40 title1, title2
CHARACTER*10 version
CHARACTER*4 year
REAL(8) SFPSI,SGPSI,HFPSI,HGPSI,TPHLSI,HPSLSI,SPHLSI
CALL SPINIT(ircnt,cright,title1,title2,version,year)

!EXIT ENTHLAPY OF LP TURBINE, h4

!Calculation of hp

if (Wt1==36800.) then
  sf=SFPSI(sup(9,1)*0.1)
  sg=SGPSI(sup(9,1)*0.1)
  x=(bleed(3,4)-sf)/(sg-sf)
  hf=HFPSI(sup(9,1)*0.1)
  hg=HGPSI(sup(9,1)*0.1)
  hp=hf+(x*(hg-hf))
  !Calculation of hi (enthalpy at last stage of LP turbine)
  hi=bleed(3,3)-(hsl_22*(bleed(3,3)-hp))
  !Area of exit ring in m^2
  Aa=2.159
  !Calculation of kinetic energy after the last stage of the LP
  turbine
  Pc=sup(9,1)*mmHg
  mc_PcAa=(sup(9,5)*3600.)/(Aa*Pc)
  EL_=EL(mc_PcAa)
  sup(6,3)=hi+EL_
else
  sf=SFPSI(sup(9,1)*0.1)
  sg=SGPSI(sup(9,1)*0.1)
  x=(sup(3,4)-sf)/(sg-sf)
  hf=HFPSI(sup(9,1)*0.1)
  hg=HGPSI(sup(9,1)*0.1)
  hp=hf+(x*(hg-hf))
  sup(6,3)=sup(3,3)-hsl*(sup(3,3)-hp)
end if

sup(6,4)=SPHLSI(sup(6,1)*0.1,sup(6,3))
sup(6,2)=TPHLSI(sup(6,1)*0.1,sup(6,3))

```

```

Dh_RL=(rRL*Wt)/sup(9,5)
sup(9,3)=sup(6,3)+Dh_RL
sup(9,4)=SPHLSI(sup(9,1)*0.1,sup(9,3))
sup(9,2)=TPHLSI(sup(9,1)*0.1,sup(9,3))

!ENTHALPY OF GLAND STEAM
!HP turbine
gland(1,3)=sup(3,3)-(0.4*(sup(3,3)-sup(4,3)))

!LP turbine
gland(2,3)=sup(5,3)-(0.4*(sup(5,3)-sup(6,3)-EL_))

!mass balance and energy balance
gland(3,5)=gland(1,5)+gland(2,5)
gland(3,3)=((gland(1,3)*gland(1,5))+(gland(2,3)*gland(2,5)))/
gland(3,5)

!MASS BALANCE AT THE MAIN CONDENSER
cond(1,5)=sup(9,5)+des(1,5)+des(6,5)
cond(2,5)=cond(1,5)
cond(3,5)=cond(1,5)
cond(10,5)=cond(1,5)

cond(12,5)=cond(1,5)
cond(14,5)=cond(1,5)

!FW evaporator
cond(3,3)=((cond(1,5)*cond(2,3))+(des(8,5)*(des(8,3)-
cond(8,3))))/(cond(1,5))
cond(3,2)=TPHLSI(cond(3,1)*0.1,cond(3,3))
cond(3,4)=SPHLSI(cond(3,1)*0.1,cond(3,3))
cond(3,2)=cond(3,2)-273.15

!GLAND CONDENSER

!d43
gland(7,3)=0
gland(7,5)=0
do i=3,6
  gland(7,5)=gland(7,5)+gland(i,5)
  gland(7,3)=gland(7,3)+(gland(i,5)*gland(i,3))
enddo

gland(7,3)=gland(7,3)/gland(7,5)

!s4
cond(4,5)=gland(7,5)

```

```

!s12
cond(12,3)=((cond(3,5)*cond(3,3))+(gland(7,5)*(gland(7,3)-
cond(4,3))))/(cond(12,5))
cond(12,2)=TPHLSI(cond(12,1)*0.1,cond(12,3))
cond(12,4)=SPHLSI(cond(12,1)*0.1,cond(12,3))
cond(12,2)=cond(12,2)-273.15

!s10
cond(10,3)=cond(12,3)
cond(10,2)=cond(12,2)
cond(10,4)=cond(12,4)

!LP HEATER
!e3 steam flow rate
bleed(3,5)=((cond(10,5)*(cond(14,3)-cond(10,3)))-
(des(7,5)*des(7,3))+(des(7,5)-
des(6,5))*cond(11,3))+(des(6,5)*des(6,3)))/
((1-plp)*bleed(3,3))-cond(11,3))

!s11 steam flow rate
cond(11,5)=des(7,5)+bleed(3,5)-des(6,5)

!DRAIN TANK
!flow rate and enthalpy of s13
cond(8,5)=des(8,5)
cond(13,5)=cond(11,5)+cond(4,5)+cond(8,5)+cond(39,5)+
cond(40,5)
cond(38,5)=cond(13,5)

cond(13,3)=((cond(11,3)*cond(11,5))+(cond(4,3)*cond(4,5))+(cond(8,3)
*cond(8,5))+(cond(39,3)*cond(39,5))+(
cond(40,3)*cond(40,5)))/cond(13,5)
cond(13,4)=SPHLSI(0.1*cond(13,1),cond(13,3))

!pump P2
h=HPSLSI(cond(38,1)*0.1,cond(13,4))
cond(38,3)=cond(13,3)+((h-cond(13,3))/hP2)
cond(38,4)=SPHLSI(cond(38,1)*0.1,cond(38,3))
cond(38,2)=(TPHLSI(cond(38,1)*0.1,cond(38,3)))-273.15

!blend of s14 and s38
cond(15,5)=cond(14,5)+cond(38,5)
cond(15,3)=(cond(14,5)*cond(14,3)+cond(38,5)*cond(38,3))/
cond(15,5)

!LOW PRESSURE STEAM GENERATOR
!flow rate of d38
des(38,5)=0

```

```

des (38,5)=cond (28,5)+cond (33,5)

des (24,5)=des (38,5)
cond (36,5)=des (38,5)
cond (37,5)=des (38,5)

!properties of s37

h1=HPSLSI (cond (37,1)*0.1,cond (36,4))

cond (37,3)=cond (36,3)+((h1-cond (36,3))/hP4)
cond (37,4)=SPHLSI (cond (37,1)*0.1,cond (37,3))
cond (37,2)=(TPHLSI (cond (37,1)*0.1,cond (37,3)))-273.15

!flow rate of d39
Qw=cond (37,5)*(des (38,3)-cond (37,3))
DQ=plpsg*Qw
Qst=DQ+Qw
des (39,5)=Qst/(des (39,3)-cond (41,3))
cond (41,5)=des (39,5)
bleed (1,5)=des (39,5)

conv_s16=0.1

do while (abs(conv_s16)>=0.000001)
  call dearator_P3(sup,cond,des,sup_car,cond_car,des_car,gland,
    gland_car,per_FO,conv_s16,ms16)
  cond(16,5)=ms16
enddo

cond(19,5)=cond(16,5)

!GLAND ENTHAPPLY OF MAIN FEED WATER PUMP TURBINE
des (12,1)=cond (16,1)
gland (5,3)=sup (8,3)-0.4*(sup (8,3)-des (12,3))

call Boiler(sup,cond,des,sup_car,cond_car,des_car,gland,
  gland_car,per_FO,per_BOG,bleed,bleed_car,HFO,
  HBOG,mst,QB,m_FO,m_BOG,boiler_effi,ma)

call SAH_(des,des_car,bleed,bleed_car,air,air_car,ma)

call turbines_(sup,cond,des,sup_car,cond_car,des_car,gland,
  gland_car,bleed,bleed_car,Wt_req,Ww,Ww_hp,
  Ww_lp,Wt,Wt_hp,Wt_lp,dev)

des (10,5)=bleed (2,5)-des (8,5)
des (18,5)=bleed (1,5)

```

```

!MAKE UP WATER RATE
!Burners' atomizers

if (m_FO==0) then

    des(20,5)=300./3600.

else

    des(20,5)=burn_atom(m_FO)

end if

!Losses
des(23,5)=losses1(Wt)*mst

cond(39,5)=des(20,5)+des(17,5)+des(23,5)
des(16,5)=des(17,5)+des(19,5)+des(20,5)+des(23,5)

END SUBROUTINE loop

```

5.B.6.1 Απώλειες εξαγωγής

```

FUNCTION EL(mc_PcAa)
double precision:: EL,mc_PcAa
double precision,parameter:: p1=0.3772,p2=-1.719,p3=3.34, p4=-6.219,
p5=10.97, p6=10.86,p7=21.6,mean=732.7,std=403.8

x=(mc_PcAa-mean)/std
EL=(p1*(x**6))+(p2*(x**5))+(p3*(x**4))+(p4*(x**3))+(p5*(x**2))+(p6*x
)+p7

END FUNCTION EL

```

5.B.6.2 Τοπικός κύκλος δοκιμών για το υποσύστημα προθερμαντήρα/ απαερωτή- στροβίλου τροφοδοτικής αντλίας

```

SUBROUTINE
dearator_P3(sup,cond,des,sup_car,cond_car,des_car,gland,gland_car,pe
r_FO,conv_s16,ms16)
implicit none

!DECLARATION OF VARIABLES

double precision::sup(9,5),cond(41,5),des(42,5),gland(7,5)
double precision::t,vf,Vp,masstfp,Dh,hd12_,per_FO,pd,dear_losses,
ms16,conv_s16
character::sup_car*3(9),gland_car*6(7)

```



```

integer::i,cond_car(41),k,des_car(42)

!ASME DECLARATIONS
INTEGER ircnt
CHARACTER*60 cright
CHARACTER*40 title1, title2
CHARACTER*10 version
CHARACTER*4 year
REAL(8) TSLHSI,HFPSI,VPTLSI
CALL SPINIT(ircnt,cright,title1,title2,version,year)

!WATER VOLUME RATE in m^3/s
t=TSLHSI(HFPSI(cond(16,1)*0.1))
vf=VPTLSI(cond(19,1)*0.1,t)
Vp=vf*cond(16,5)

!STEAM FLOW RATE m6 AND ENTHALPY hd12
sup(8,5)=masstfp(Vp)
Dh=hd12_(Vp)
des(12,3)=sup(8,3)-Dh
des(12,5)=sup(8,5)-gland(5,5)

!DEARATOR
!Dearator losses ratio pd=Qd/Q11
pd=dear_losses(per_FO)

!Energy balance
des(11,5)=((cond(15,5)*cond(15,3))+des(12,5)*des(12,3))-
(gland(4,5)*gland(4,3))+cond(41,5)*cond(41,3)-
(cond(16,3)*(cond(15,5)+des(12,5)-gland(4,5)+cond(41,5)))/
((pd-1)*des(11,3))+cond(16,3))

!mass balance
ms16=cond(15,5)+des(12,5)+cond(41,5)+des(11,5)-gland(4,5)
conv_s16=(cond(16,5)-ms16)/cond(16,5)

END SUBROUTINE dearator_P3

```

5.B.6.2.1 Διαφορά ενθαλιών στο στρόβιλο της αντλίας, TFP

```

FUNCTION hd12_(Vp)
implicit none

double precision:: hd12_,Vp,a,x
!case hand valve closed
double precision,parameter:: p1c=2.008,p2c=1.851,p3c=-3.159, p4c=-
2.518,p5c=18.98,p6c=335.8,mean=0.02375,std=0.0117
character::choise

```

```

!case hand valve open
double precision,parameter:: p1o=2.785*(10**4),p2o=-432,p3o=326.8
a=135./3600.

if (Vp<a) then
  x=(Vp-mean)/std
  hd12_=(p1c*(x**5))+(p2c*(x**4))+(p3c*(x**3))+(p4c*(x**2))+
  (p5c*x)+p6c
else if (Vp>a) then
  hd12_=(p1o*(Vp**2))+(p2o*Vp)+p3o
else if (Vp==a) then
  write(*,*) 'Write 0 if you choose the hand valve of TFP to be
  open else write C'
  read(*,*) choose
  if (choose=='O') then
    hd12_=(p1o*(Vp**2))+(p2o*Vp)+p3o
  else
    x=(Vp-mean)/std
    hd12_=(p1c*(x**5))+(p2c*(x**4))+(p3c*(x**3))+(p4c*(x**2))+
    (p5c*x)+p6
  end if
end if
END FUNCTION hd12_

```

5.B.6.2.2 Παροχή ατμού προς το στρόβιλο της αντλίας, TFP

```

FUNCTION masstfp(Vp)
implicit none

double precision:: masstfp,Vp,a
!case hand valve closed
double precision,parameter:: p1c=4.072*(10**5),
p2c=-4.68*(10**4),p3c=1929,p4c=-16.26,p5c=0.9254
character::choose,valve*6
!case hand valve open
double precision,parameter:: p1o=-130,p2o=32.7,p3o=0.351

a=135./3600.
if (Vp<a) then
  masstfp=(p1c*(Vp**4))+(p2c*(Vp**3))+(p3c*(Vp**2))
  +(p4c*Vp)+p5c
  valve='closed'
else if (Vp>a) then
  masstfp=(p1o*(Vp**2))+(p2o*Vp)+p3o
  valve='open'
else if (Vp==a) then
  write(*,*) 'Write 0 if you choose the hand valve of TFP to be
  open else write C'
  read(*,*) choose

```

```

if (choise=='0') then
    masstfp=(p1o*(Vp**2))+ (p2o*Vp)+p3o
    valve='open'
else
    masstfp=(p1c*(Vp**4))+ (p2c*(Vp**3))+ (p3c*(Vp**2))+
    (p4c*Vp)+p5c
    valve='closed'
end if
end if

END FUNCTION masstfp

```

5.B.6.2.3 Κλάσμα άδηλων απωλειών απαιρωτή

```

FUNCTION dear_losses(per_FO)
implicit none

!The function estimates the dearator invisible losses ratio
pd=Qd/Q11 using the per_FO as a parameter

double precision:: dear_losses,per_FO
double precision,parameter:: p1=-0.01034,p2=0.01148,p3=0.01959

dear_losses=(p1*(per_FO**2))+ (p2*per_FO)+p3

END FUNCTION dear_losses

```

5.B.6.3 Υπολογισμοί στους λέβητες

```

SUBROUTINE
Boiler(sup,cond,des,sup_car,cond_car,des_car,gland,gland_car,per_FO,
per_BOG,bleed,bleed_car,HFO,HBOG,mst,QB,m_FO,m_BOG,
boiler_effi,ma)

implicit none

!DECLARATION OF VARIABLES
double
precision::sup(9,5),cond(41,5),des(42,5),gland(7,5),bleed(3,5)
double precision::t,vf,Vp,masstfp,Dh,hd12_,per_FO,per_BOG,mst,
mst_pb,mst_FO,mst_BOG,effi_FO,effi_BOG,QB,QB_bog,QB_fo,HFO,
HBOG,m_FO,m_BOG,QBpb,m_FOpb,QBin_pb,m_BOGpb,boiler_effi,
excess_air_ratio,la,ma,air_flow,boiler_efficiency,H_fuelpb
character::sup_car*3(9),gland_car*6(7)
integer::i,cond_car(41),k,des_car(42),bleed_car(3)

!FLOW RATES CALCULATION

```

```

!me2
bleed(2,5)=des(8,5)+des(11,5)+des(42,5)
!m0
sup(2,5)=sup(9,5)+bleed(1,5)+bleed(2,5)+bleed(3,5)+gland(3,5)
sup(3,5)=sup(2,5)

!mB
sup(1,5)=sup(2,5)+sup(7,5)+sup(8,5)

!BOILER STEAM PRODUCTION
des(16,5)=des(17,5)+des(19,5)+des(20,5)+des(23,5)
mst=sup(1,5)+des(16,5)

!Steam production per Boiler
mst_pb=mst/2

!BOILER EFFICIENCY
boiler_effi=boiler_efficiency(mst_pb,per_FO,per_BOG)

!USEFUL HEAT PRODUCTION PER BOILER
QBpb=((sup(1,5)*sup(1,3))+des(16,5)*des(16,3))-
(cond(19,5)*cond(19,3))/2

!USEFUL HEAT PRODUCTION
QB=2*QBpb

!HEAT PROVIDED TO EACH BOILER
QBin_pb=QBpb/boiler_effi

!FUEL ENERGY PER BOILER
H_fuelpb=QBin_pb-((des(42,5)*(des(42,3)-des(7,3)))/2)

!FUEL CONSUMPTION PER BOILER
!FO consumption
if (per_FO/=0.) then
  m_FOpb=(H_fuelpb*per_FO)/HFO
end if
!BOG consumption
if (per_BOG/=0.) then
  m_BOGpb=(H_fuelpb*per_BOG)/HBOG
end if

!FUEL CONSUMPTION
!FO consumption
m_FO=2*m_FOpb
!BOG consumption
m_BOG=2*m_BOGpb

```

```

!STOICHIOMETRIC AIR RATIO
la=excess_air_ratio(mst_pb)

!COMBUSTION AIR FLOW
ma=2*air_flow(la,m_FOpb,m_BOGpb)

END SUBROUTINE Boiler

```

5.B.6.3.1 Βαθμός απόδοσης του κάθε λέβητα

```

FUNCTION boiler_efficiency(mst_pb,per_FO,per_BOG)
implicit none

double precision::
effi_FO,effi_BOG,xf,xg,mst_pb,per_FO,per_BOG,boiler_efficiency
double precision,parameter:: p1fo=(-6.504*(10**(-5))),
p2fo=0.0004345,p3fo=-0.001117,p4fo=0.001208,p5fo=-0.0003262,
p6fo=0.001485,p7fo=-0.006284,p8fo=0.00767,p9fo=0.882,
meanfo=8.785,stdfo=4.738
double precision,parameter:: p1g=-0.0005538,p2g=0.001186,
p3g=0.0002858,p4g=-0.0001176,p5g=-0.004401,p6g=0.003576,
p7g=0.8397,meang=10.53,stdg=4.946

!FO calculations
xf=(mst_pb-meanfo)/stdfo
if (per_FO/=0.) then
  effi_FO=(p1fo*(xf**8))+(p2fo*(xf**7))+(p3fo*(xf**6))+
  (p4fo*(xf**5))+(p5fo*(xf**4))+(p6fo*(xf**3))+(p7fo*(xf**2))+(p8fo*
  xf)+p9fo
end if

!BOG calculations
xg=(mst_pb-meang)/stdg

if (per_BOG/=0.) then
  effi_BOG=(p1g*(xg**6))+(p2g*(xg**5))+(p3g*(xg**4))+
  (p4g*(xg**3))+(p5g*(xg**2))+(p6g*xg)+p7g
end if

boiler_efficiency=(effi_BOG*per_BOG)+(effi_FO*per_FO)

END FUNCTION boiler_efficiency

```

5.B.6.3.2 Λόγος αέρα καύσης

```

FUNCTION excess_air_ratio(mstpb)
double precision:: excess_air_ratio,mstpb,x

```

```

double precision,parameter::a=(47800./3600.), p1=-0.003002,
p2=0.0001125,p3=0.01801,p4=-0.01705,p5=0.02355,p6=-0.07317,
p7=1.155,mean=8.645,std=3.993

```

```

if (mstp<=a) then
  excess_air_ratio=1.1
else
  x=(mstp-mean)/std
  excess_air_ratio=(p1*(x**6))+(p2*(x**5))+
  (p3*(x**4))+(p4*(x**3))+(p5*(x**2))+(p6*x)+p7
end if

```

```

END FUNCTION excess_air_ratio

```

5.B.6.3.3 Παροχή αέρα καύσης

```

FUNCTION air_flow(la,mf_FO,mf_BOG)
implicit none

double precision::air_flow,la
!Boil-off gas
double precision::mf_BOG,gmolar_mass(6),comp_CH4,comp_N2,M_BOG,
cg,hg,ng,cmoleg,hmoleg,nmoleg,omoleg,ag,astg
double precision,parameter::vN2=3.7619
character::useless_data*47,gmolar_mass_car*3(6)
!Fuel Oil
double precision::mf_FO,fcomp(6),fmolar_mass(8),h_H2O,o_H2O,
mol_per_kg_f(5),omolef,astf,af
character::fcomp_car(6),fmolar_mass_car*3(8)

integer::i

OPEN(31,FILE='bog_air_flow')
OPEN(32,FILE='fo_air_flow')
!BOIL-OFF GAS CALCULATIONS

!DATA
!composition

read(31,*)useless_data
read(31,*)useless_data
read(31,*)comp_CH4
read(31,*)useless_data
read(31,*)comp_N2

!Molar masses of chemical elements
read(31,*)useless_data

do i=1,6

```

```

    read(31,*)gmolar_mass_car(i),gmolar_mass(i)

enddo

!CALCULATIONS
!weight of each kmole of BOG (kg/kmole)

gmolar_mass(6)=(comp_CH4*gmolar_mass(4))+
(comp_N2*gmolar_mass(5))

!kg of each element per kg BOG
cg= (comp_CH4*gmolar_mass(1))/gmolar_mass(6)
hg= (comp_CH4*2.*gmolar_mass(3))/gmolar_mass(6)
ng= (comp_N2*gmolar_mass(5))/gmolar_mass(6)

!kmole of each element per kg BOG
cmoleg= cg/gmolar_mass(1)
hmoleg= hg/gmolar_mass(3)
nmoleg=ng/gmolar_mass(5)

!kmole of O2 per kg BOG
omoleg=cmoleg+(hmoleg/2.)

!air flow in kg per kg BOG
astg=omoleg*(gmolar_mass(2)+(vN2*gmolar_mass(5)))
ag=astg*la

!FO CALCULATIONS
!DATA

!composition (wt)
read(32,*)useless_data
do i=1,6
    read(32,*)fcomp_car(i),fcomp(i)
enddo

!Molar masses of chemical elements
read(32,*)useless_data
do i=1,8
    read(32,*)fmolar_mass_car(i),fmolar_mass(i)
enddo

!CALCULATIONS

!kg of each element of H2O per kg H2O
h_H2O=fcomp(6)*2*fmolar_mass(2)/fmolar_mass(7)

```

```

o_H2O=fcomp(6)*fmolar_mass(4)/fmolar_mass(7)
fcomp(2)=fcomp(2)+h_H2O
fcomp(4)=fcomp(4)+o_H2O

!kmole of each element per kg BOG
do i=1,5
  mol_per_kg_f(i)=fcomp(i)/fmolar_mass(i)
  if ((i/=1).and.(i/=3)) then
    mol_per_kg_f(i)=mol_per_kg_f(i)/2
  end if
enddo

!kmole of O2 per kg BOG
omolef=mol_per_kg_f(1)+(mol_per_kg_f(2)/2)+mol_per_kg_f(3)-
mol_per_kg_f(4)

!air flow in kg per kg BOG
astf=2*(omolef*(fmolar_mass(4)+(vN2*fmolar_mass(5))))
af=astf*la

!COMBUSTION AIR FLOW
air_flow=(ag*mf_BOG)+(af*mf_FO)

CLOSE(31)
CLOSE(32)

END FUNCTION air_flow

```

5.B.6.4 Υπολογισμοί στους προθερμαντήρες αέρα

```

SUBROUTINE SAH_(des,des_car,bleed,bleed_car,air,air_car,ma)
implicit none

!DECLARATION OF VARIABLES
double precision::des(42,5),bleed(3,5),air(2),ma
double precision,parameter::cpa=1.005
character::sup_car*3(9),gland_car*6(7),air_car(2)
integer::i,des_car(42),bleed_car(3)

!Equilibrium
des(42,5)=(ma*cpa*(air(2)-air(1)))/(des(42,3)-des(7,3))
des(7,5)=des(42,5)

!Calculation of me2
bleed(2,5)=des(8,5)+des(11,5)+des(42,5)

END SUBROUTINE SAH_

```


5.B.6.5 Υπολογισμοί στους στροβίλους πρόωσης

```
SUBROUTINE turbines_(sup,cond,des,sup_car,cond_car,des_car,gland,
gland_car,bleed,bleed_car,Wt_req,Ww,Ww_hp,Ww_lp,Wt,Wt_hp,
Wt_lp,dev)
implicit none

!DECLARATION OF VARIABLES
double
precision::sup(9,5),cond(41,5),des(42,5),gland(7,5),bleed(3,5)
double precision::Ww,Ww_hp,Ww_lp,Wt,Wt_hp,Wt_lp,Wt_req,dev
double precision,parameter::effi_HP=0.96,rRL=0.006,
effi_ML=0.98
character::sup_car*3(9),gland_car*6(7)
integer::i,cond_car(41),k,des_car(42),bleed_car(3)

!FLOW RATES CALCULATION
!m0
sup(2,5)=sup(9,5)+bleed(1,5)+bleed(2,5)+bleed(3,5)+gland(3,5)
!m1
sup(3,5)=sup(2,5)
!m2
sup(4,5)=sup(3,5)-bleed(1,5)
!m3
sup(5,5)=sup(4,5)-bleed(2,5)-gland(1,5)
!m4
sup(6,5)=sup(5,5)-bleed(3,5)

!HP TURBINE POWER IN kW
Ww_hp=sup(3,5)*(sup(3,3)-bleed(1,3))+sup(4,5)*(bleed(1,3)-sup(4,3))
Wt_hp=Ww_hp*effi_HP

!LP TURBINE POWER IN kW
Ww_lp=(sup(5,5)*(sup(5,3)-bleed(3,3)))+(sup(6,5)*(bleed(3,3)-
sup(6,3)))

!PROPULSION POWER IN kW
Ww=Ww_hp+Ww_lp
Wt=(Ww*effi_ML)/(1+rRL)

Wt_lp=Wt-Wt_hp
dev=(Wt_req-Wt)/Wt_req

END SUBROUTINE turbines_
```

5.B.6.6 Παροχή ατμού προς τους διασκορπιστές καυσίμου

```
FUNCTION burn_atom(m_FO)
double precision::m_FO,burn_atom,pres,x,mFO
```

```

!Fuel Oil supply pressure VS Fuel Oil flow rate
double precision,parameter::
p1=(4.379*(10**4)),p2=(8.013*(10**4)), p3=(-5.788*(10**4)),
p4=(2.12*(10**4)),p5=-4014,p6=295.7,p7=49.59,p8=-0.1886

!Atomizing steam consumption (in kg/s) VS Fuel Oil supply pressure
(in kg/cm^2)
!1
double precision,parameter::mean1=4.224,std1=2.509,q1=-
0.0008313,q2=-0.0003375,q3=-0.002149,q4=0.01044,q5=0.035
!2
double precision,parameter::mean2=14.88,std2=4.128,r1=0.0002997,r2=-
0.0002574,r3=-0.0005978,r4=(9.905*(10**-5)),r5=0.002449,r6=-
0.003794,r7=0.0268
mFO=m_FO/6
!CALCULATION OF EACH ATOMIZER'S STEAM CONSUMPTION
!Fuel Oil supply pressure (in kg/cm^2) VS Fuel Oil flow rate (in
kg/s)

pres=(p1*(mFO**7))+(p2*(mFO**6))+(p3*(mFO**5))+(p4*(mFO**4))+(p5*(mF
O**3))+(p6*(mFO**2))+(p7*mFO)+p8

!Atomizing steam consumption (in kg/s) VS Fuel Oil supply pressure
(in kg/cm^2)

if (pres<=7.62) then
  x=(pres-mean1)/std1
  burn_atom=6*((q1*(x**4))+(q2*(x**3))+(q3*(x**2))+(q4*x)+q5)
else
  x=(pres-mean2)/std2
  burn_atom=6*((r1*(x**6))+(r2*(x**5))+(r3*(x**4))+(r4*(x**3))+(r5*(
  x**2))+(r6*x)+r7)
end if

END FUNCTION burn_atom

```

5.B.6.7 Εκτίμηση απωλειών ατμού

```

FUNCTION losses1(Wt)

double precision:: losses1,Wt
double precision,parameter::p1=0.0001081,

p2=(1.612*(10**-6)),p3=(7.278*(10**-5)),p4=-
0.001148,p5=0.009731,mean=(1.895*(10**4)),std=7891

x=(Wt-mean)/std

losses1=p1*(x**4)+p2*(x**3)+p3*(x**2)+p4*x+p5
END FUNCTION losses1

```

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Ιωαννίδης Ι.Π. , “Μέθοδος για την Κατάστρωση Θερμικού Ισολογισμού Ναυτικών Προωστήριων Εγκαταστάσεων Ατμού”, ΕΜΠ, 1998.
2. Φραγκόπουλος Χ.Α. , “Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Τεύχος Β’”, ΕΜΠ, 2007.

Ξένη βιβλιογραφία

3. Harrington R.L. ,e.d. , “Marine engineering”, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, N.J. , USA.
4. Maran Gas Asclepius, “Machinery Operating Manual”, 2005.
5. American Society of Mechanical Engineers, “Steam Properties for Industrial Use –Library and Source Code Documentation”, 1998.
6. Dimopoulos G.G. , Frangopoulos C.A. , “A Dynamic Model for Liquefied Natural Gas Evaporation During Marine Transportation”, Int. J. of Thermodynamics, Vol. 1 (No.3), pp. 123-131, September 2008.

