ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων
Τομέας Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΤΕΧΝΟ - ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ ΛΙΓΝΙΤΗ ΚΑΙ SRF ΣΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ»

Του Φοιτητή

Κυριαζάκου Πέτρου

Επιβλέπων

Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2018

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Αναπληρωτή Καθηγητή Σωτήριο Καρέλλα, για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας δίνοντας μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με κάτι που με ενδιαφέρει αρκετά.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Άγγελο Δουκέλη για την συνεργασία μας, καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές και βοήθεια που μου παρείχε.

Περιεχόμενα 3
Περίληψη 5
Abstract 7
Κεφάλαιο 1. Στερεά Ανακτιθέντα Καύσιμα (Solid Recovered Fuel – SRF) 9
1.1 Ευρωπαϊκή προτυποποίηση του SRF 9
1.2 Μικτή Καύση του SRF 16
1.3 Παραγωγή - Διαχείριση SRF στην Ελλάδα 21
Κεφάλαιο 2. Παρουσίαση λογισμικού Gatecycle 23
Κεφάλαιο 3. Σχεδιασμός και προσομοίωση μοντέλου ΑΗΣ στο GateCycle 32
3.1 Παρουσίαση μοντέλου στο GateCycle 6.1 33
3.2 Προσομοίωση λειτουργίας για διαφορετικές συστάσεις καυσίμου 36
3.3 Δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών 50
3.4 Προσομοίωση στο GateCycle 5.51 55
3.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων GateCycle 6.1 και 5.51 65
Κεφάλαιο 4. Οικονομική ανάλυση μοντέλου ΑΗΣ 71
4.1 Δεδομένα κόστους και εσόδων 71
4.2 Λιγνίτης θερμογόνου ικανότητας 7955 kJ/kg 74
4.3 Λιγνίτης θερμογόνου ικανότητας 5443 kJ/kg 78
Παρατηρήσεις 82
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα 83
Παραρτήματα 84
Βιβλιογραφία 101

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την τεχνική και οικονομική μελέτη της καύσης SRF (Solid-Recovered-Fuel ή Στερεό-Ανακτηθέν-Καύσιμο) σε συνδυασμό με λιγνίτη, σε ατμοηλεκτρική μονάδα παραγωγής ενέργειας.

Αρχικά, στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια του SRF, και βιβλιογραφική επισκόπηση που αφορά τη προέλευσή του, τη διαδικασία επεξεργασίας και μετατροπής του σε καύσιμο, και τη χρησιμοποίησή του ως τέτοιο σε λιγνιτικές μονάδες τόσο στην Ελλάδα, αλλά και στην Ευρώπη.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το λογισμικό GateCycle με τη βοήθεια του οποίου έγινε μοντελοποίηση ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού (ΑΗΣ).

Τέλος, το κύριο μέλημα της εργασίας αυτής, όπως παρουσιάζεται στα Κεφάλαια 3 και 4 είναι η κατασκευή ενός μοντέλου ΑΗΣ, και επιχειρείται να εξεταστεί πως η χρησιμοποίηση SRF επηρεάζει το βαθμό απόδοσης, την ισχύ, τη συνολική κατανάλωση καυσίμου (SRF και λιγνίτη), καθώς επίσης και την οικονομική αποδοτικότητα της εγκατάστασης, και συνεπώς να αντληθούν αντίστοιχα συμπεράσματα.

Λέξεις- Κλειδιά: SRF, GateCycle - μοντελοποίηση, Ατμοηλεκτρική μονάδα, Λιγνίτης.

Abstract

This thesis aims to a technical and economic analysis of SRF (Solid-Recovered-Fuel) combustion in conjunction with lignite, in a steam-electric power station.

Firstly, in Chapter 1 an initial introduction on the term SRF is performed. A bibliographical study follows, which focuses on the derivation, the procedure of processing and converting into fuel and its utilization in lignite units in Greece, as well as in Europe.

In Chapter 2, the software GateCycle is presented, with which the modeling of a steam-electric station was developed.

Finally, the main purpose of this thesis, as it is presented in Chapters 3 and 4, is the development of a steam-electric power station model, while it is examined how the use of SRF affects the efficiency, power output and the overall fuel supply as well as the annual profit of the specific plant and therefore which improvements can be made accordingly.

Keywords: SRF, GateCycle - modeling, Steam-electric Power Station, Lignite.

1 Στερεά ανακτηθέντα καύσιμα (Solid Recovered Fuel –SRF)

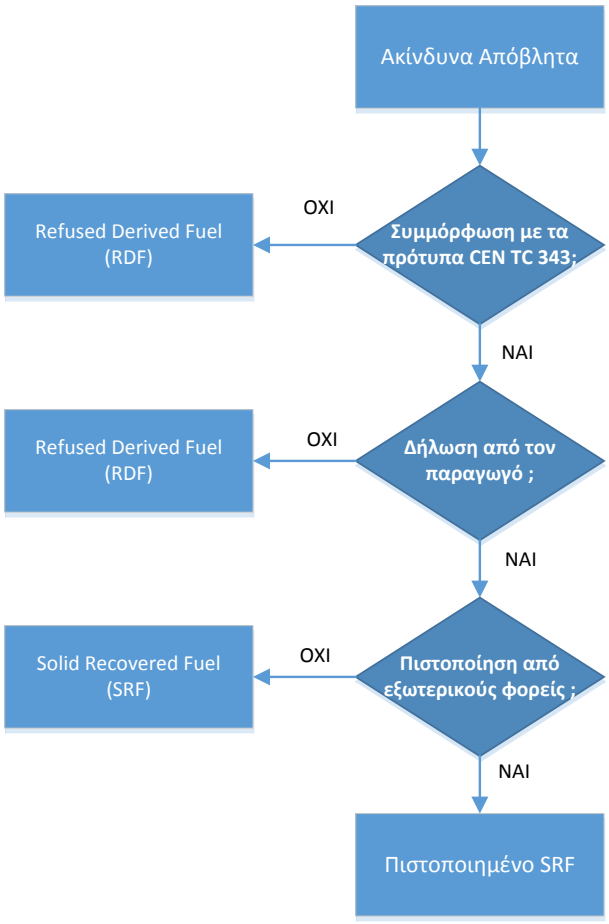
Τα στερεά ανακτηθέντα καύσιμα - ή αλλιώς πιο γνωστά ως ανακτηθέντα από απόβλητα καύσιμα - παράγονται από διάφορα κλάσματα και είδη αποβλήτων έπειτα από ειδικά βήματα βιολογικής και μηχανικής επεξεργασίας σε ειδικά εργοστάσια. Ο όρος αναφέρεται σε ένα σύνολο υλικών, που κυμαίνεται από Στερεά Δημοτικά Απόβλητα (Municipal Solid Waste - MSW, Αστικά Στερεά Απόβλητα), μέχρι λύματα αποχέτευσης και κατεστραμμένα στερεά πετρελαϊκά παράγωγα [1]. Το SRF προσφέρει σημαντικές δυνατότητες, αφού οι κύριες πηγές ρύπων των αστικών αποβλήτων έχουν απομακρυνθεί κατά τη διεργασία της μηχανικής προ-επεξεργασίας. Αυτή η προεργασία, ωστόσο, διατηρεί σε σχετικά υψηλά επίπεδα τη θερμογόνο ικανότητα και υπάρχει δυνατότητα να τυποποιηθούν ως εμπορεύσιμα καύσιμα. Τα Στερεά Ανακτηθέντα Καύσιμα δύνανται να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με διάφορα άλλα στερεά καύσιμα, όπως ο ορυκτός άνθρακας ή/ και η βιομάζα σε διεργασίες μικτής καύσης αλλά και ως κύριο υποκατάστατο του λιθάνθρακα (ή λιγνίτη), στον ανθρακικό βιομηχανικό τομέα. Σε αυτόν τον τομέα συμπεριλαμβάνονται οι κλίβανοι της τσιμεντοβιομηχανίας και οι λιγνιτικοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί [2]. Η ανάγκη για την τυποποίηση των καυσίμων που ανακτώνται από απόβλητα έχει γίνει εμφανής τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της ραγδαίας ανάπτυξης της αγοράς των ανακτηθέντων καυσίμων και της αύξησης της παραγωγής αυτών, καθώς επίσης εξαιτίας της ανάγκης περιορισμού του αποτυπώματος της βιομηχανικής δραστηριότητας, όπως έχει συμφωνηθεί σε ευρωπαϊκό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο, βάσει διακρατικών συμφωνιών.

1.1 Ευρωπαϊκή προτυποποίηση του SRF

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, προκειμένου να συμβάλει στην περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς και στη διασφάλιση της ποιότητας των ανακτηθέντων καυσίμων, καθώς επίσης την αποφυγή οποιασδήποτε κακής διαχείρισης των αποβλήτων, έχει ξεκινήσει τη διαδικασία για την τυποποίηση των καυσίμων που ανακτώνται από απόβλητα. Δύο Τεχνικές Επιτροπές έχουν συσταθεί για να βοηθήσουν αυτή τη διαδικασία τυποποίησης:

- Η Τεχνική Επιτροπή CEN (TC) 335, η οποία καλύπτει όλα τα καύσιμα που προέρχονται αμιγώς από "βιομάζα", όπως ορίζεται στο πεδίο εφαρμογής της

οδηγίας 2000/76/EC για την αποτέφρωση αποβλήτων. Γεωργικά και δασικά κατάλοιπα περιλαμβάνονται στις δραστηριότητες της TC 335.



Σχήμα 1.1 : *Προβλεπόμενη διαδικασία για τον χαρακτηρισμό ανακτηθέντων καυσίμων από απόβλητα ως SRF ή πιστοποιημένο SRF*

- Η Τεχνική Επιτροπή CEN (TC) 343, η οποία καλύπτει όλα τα άλλα μη επικίνδυνα καύσιμα που ανακτώνται από στερεά απόβλητα. Τα αποτελέσματα της επιτροπής περιλαμβάνουν δημοσιευμένες Τεχνικές Προδιαγραφές (TS), ένα είδος προ-προτύπου, και Τεχνικές Εκθέσεις (TR). Σύμφωνα με την Τεχνική Προδιαγραφή TS 15357, ανακτηθέντα στερεά καύσιμα ορίζονται ως «στερεά καύσιμα που παράγονται από κλάσματα μη επικινδύνων αποβλήτων υψηλής θερμογόνου ικανότητας, με στόχο τη μικτή καύση αυτών μαζί με άνθρακα σε υφιστάμενες ανθρακικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και λοιπούς βιομηχανικούς κλιβάνους που χρησιμοποιούν άνθρακα». Ως εκ τούτου, ο όρος SRF αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα υλικών που ανακτώνται από στερεά απόβλητα, και συμπεριλαμβάνει από κλάσματα Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) υψηλής θερμογόνου ικανότητας έως ξηρή λυματολάσπη και τεμαχισμένα ελαστικά. Σε αντίθεση με άλλους όρους, όπως δευτερογενή καύσιμα ή RDF (Refused Derived Fuels) για το χαρακτηρισμό ενός ανακτηθέντος καυσίμου ως SRF απαιτείται μια ειδική διαδικασία χορήγησης

άδειας, που ορίζεται από την επιτροπή προτυποποίησης CEN TC/ 343. Η διαδικασία παρουσιάζεται συνοπτικά στο Σχήμα 1.1 :

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα υποστηρίζει το έργο της τεχνικής επιτροπής CEN/TC 343, καθώς και παράλληλα ερευνητικά έργα, τα οποία συγχρηματοδοτούνται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Λαμβάνοντας υπόψη τα κράτη- μέλη μεμονωμένα, η εφαρμογή των τεχνικών προδιαγραφών στην παραγωγή SRF εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εθνικές πολιτικές. Τα οφέλη της τυποποίησης του SRF, εφόσον τα κράτη- μέλη την εφαρμόσουν, λαμβάνουν τις εξής διαστάσεις: [3]

- Αύξηση της ανταγωνιστικότητας της Ευρωπαϊκής βιομηχανίας

- Ένταξη της παραγωγής και χρήσης των στερεών ανακτηθέντων καυσίμων στα πλαίσια διαχείρισης αποβλήτων

- Συμβολή σε μία μελλοντική αειφόρο διαχείριση αποβλήτων

- Ανάπτυξη εργαλείων για μελλοντικούς μηχανισμούς ελέγχου ποιότητας που θα διευκολύνουν τις αρχές αδειοδότησης

- Εναρμόνιση των προτύπων με τις πάγιες πολιτικές της Ευρωπαϊκής Κοινότητας

- Συμβολή στην αειφορία της παραγωγής ενέργειας

- Ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών κινδύνων από τη διαχείριση των αποβλήτων

- Εξοικονόμηση των φυσικών πόρων

- Άνοιγμα κοινής Ευρωπαϊκής αγοράς των SRF

- Δυνατότητα ελέγχου διασυνοριακής συναλλαγής των SRF

Με την παραγωγή τυποποιημένων καυσίμων από μη-επικίνδυνα απόβλητα, τα οποία προορίζονται για ανάκτηση ενέργειας σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης και συν - αποτέφρωσης αποβλήτων, η τεχνική επιτροπή CEN/TC 343 έχει αναλάβει την εκπόνηση τεχνικών προτύπων, προδιαγραφών και εκθέσεων που καλύπτουν τα εξής πεδία:

- Ορολογία και Διαχείριση Ποιότητας (Working Group 1)
- Προδιαγραφή καυσίμου και κατηγορίες (Working Group 2)
- Δειγματοληψία, Μείωση δείγματος και συμπληρωματικές μέθοδοι δοκιμών (Working Group 3)

- Φυσικές/ Μηχανικές μέθοδοι δοκιμών (Working Group 4)
- Χημικές μέθοδοι δοκιμών (Working Group 5)

Τα ανωτέρω εφαρμόζονται από το στάδιο υποδοχής των αποβλήτων προς επεξεργασία έως και το στάδιο της τελικής παραγωγής και διακίνησης του SRF. Η τυποποίηση των στερεών ανακτηθέντων καυσίμων (SRF) πραγματοποιείται μέσω της κατάταξής τους σε κατηγορίες βάσει τριών δεικτών, οι οποίοι αντιπροσωπεύονται από αντίστοιχες χαρακτηριστικές ιδιότητες του καυσίμου:

- Οικονομικός δείκτης - Θερμογόνος Ικανότητα (NCV)
- Τεχνολογικός δείκτης - Περιεκτικότητα σε Χλώριο (Cl)
- Περιβαλλοντικός δείκτης - Περιεκτικότητα σε Υδράργυρο (Hg)

Βάσει δειγματοληπτικών μετρήσεων που γίνονται στο καύσιμο και ανάλογα με τη στατιστική κατανομή που αυτό εμφανίζει για κάθε μία από τις τρεις ανωτέρω χαρακτηριστικές ιδιότητες, επιλέγεται μία ενδεικτική ποσότητα (κατηγορία) αντιστοίχως. Αυτή θα αποτελέσει κριτήριο ταξινόμησης σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα

Ιδιότητα καυσίμου	Σύμβολο	Μονάδες	Στατιστική Κατανομή	Χρησιμοποιούμενη Ποσότητα	Δείκτης
Θερμογόνος ικανότητα (NCV)	Hu	MJ/kg ar *	κανονική	αριθμητικός μέσος	Οικονομικός
Χλώριο	Cl	w.t. % d **	λαμβάνεται ως κανονική	αριθμητικός μέσος	Τεχνολογικός
Υδράργυρος	Hg	mg/MJ ar *	δεξιά μετατοπισμένη	διάμεση τιμή, 80th percentile	Περιβαλλοντικός
* ar : as received (ως έχει) ** d: dry basis (επί ξηρού)					

Πίνακας 1.1: *Ιδιότητες του καυσίμου που χρησιμοποιούνται στο σύστημα κατηγοριοποίησης και η αντιστοίχηση του με τους δείκτες [4]*

Η τυποποίηση του SRF πρέπει, κάτω από κανονικές συνθήκες, να προκύπτει από δεδομένα ενός έτους παραγωγής, εκτός από την περίπτωση της δοκιμαστικής περιόδου στην οποία ο παραγωγός επιθυμεί να ελέγξει τα αποτελέσματα αλλαγών στη διαδικασία της παραγωγής. Τότε το χρονικό διάστημα μπορεί να είναι μικρότερο του έτους.

Για μία περίοδο 12 μηνών συνεχούς παραγωγής, όπου οι συνθήκες παραγωγής (ιδιότητες εισερχόμενων υλικών, συνθήκες επεξεργασίας) είναι σχετικά σταθερές και κατά την οποία εφαρμόζεται σύστημα διαχείρισης ποιότητας, είναι δυνατό να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του καυσίμου και να κατηγοριοποιηθούν με τη μεθοδολογία που θα παρουσιαστεί παρακάτω. Στην περίπτωση που η ετήσια παραγόμενη ποσότητα καυσίμου είναι μικρότερη από 15.000 τόνους, τότε η παραγωγή χωρίζεται σε 10 παρτίδες (lots). Ο κανόνας που ισχύει είναι ότι η ποσότητα μίας παρτίδας παραγωγή δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 1.500 τόνους.

Σε κάθε μία από τις παρτίδες παραγωγής (lot) αντιστοιχεί ένα συνδυασμένο δείγμα (combined sample), το οποίο αποτελείται από τουλάχιστον 24 ισόποσες δόσεις - λήψεις (increments) σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια παραγωγής της παρτίδας. Οι δόσεις συλλέγονται και το μίγμα τους αποτελεί το συνδυασμένο δείγμα (combined sample). Με την εφαρμογή της κατάλληλης διαδικασίας μείωσης του δείγματος προκύπτει το εργαστηριακό δείγμα (laboratory sample 1), στο οποίο πρέπει να πραγματοποιηθεί τουλάχιστον μία μέτρηση για κάθε χαρακτηριστικό που μελετάται. Να σημειωθεί ότι για κάθε παρτίδα (lot), ένα πρόσθετο εργαστηριακό δείγμα (laboratory sample 2) φυλάσσεται σε περίπτωση που απαιτείται ένας επιπλέον έλεγχος για διασταύρωση των μετρήσεων.

Κάθε χαρακτηριστικό- ιδιότητα χωρίζεται σε 5 τάξεις (classes) όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα. Η ενδεικτική τιμή που προκύπτει για κάθε ιδιότητα του καυσίμου συγκρίνεται με τις οριακές τιμές του Πίνακα 1.2, και μέσω αυτής της διαδικασίας προκύπτει ένας αριθμός τάξης του καυσίμου (1 έως 5) για κάθε χαρακτηριστικό. Όσο μικρότερος είναι ο αριθμός της τάξης, τόσο καλύτερης ποιότητας είναι το καύσιμο. Ο συνδυασμός των αριθμών τάξης αποτελεί τον κωδικό τάξης (class code). Τα χαρακτηριστικά είναι ισοδύναμης σημασίας και κατά συνέπεια κανείς μεμονωμένος αριθμός δεν αποτελεί κωδικό τάξης. Η αξιολόγηση της ποιότητας του καυσίμου γίνεται συνολικά, εφόσον υπάρχουν μετρήσεις και για τα τρία παραπάνω στοιχεία και γίνει κατάταξη στις αντίστοιχες κλάσεις με βάση τις περιεκτικότητες αναφοράς.

Χαρακτηριστικό κατηγοριοποίησης	Στατιστική ποσότητα-κριτήριο	Μονάδες	Κατηγορίες- Τάξεις (classes)				
			1	2	3	4	5
Θερμογόνος Ικανότητα (NCV)	Αριθμητικός μέσος	MJ/kg (ar)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3

Χαρακτηριστικό κατηγοριοποίησης	Στατιστική ποσότητα-κριτήριο	Μονάδες	Κατηγορίες- Τάξεις (classes)				
			1	2	3	4	5
Περιεκτικότητα σε χλώριο (Cl)	Αριθμητικός μέσος	% (d)	≥ 0,2	≥ 0,6	≥ 1,0	≥ 1,5	≥ 3

Χαρακτηριστικό κατηγοριοποίησης	Στατιστική ποσότητα-κριτήριο	Μονάδες	Κατηγορίες- Τάξεις (classes)				
			1	2	3	4	5
Περιεκτικότητα σε υδράργυρο (Hg)	Διάμεση τιμή	mg/MJ (ar)	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
	80th percentile	mg/MJ (ar)	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

Πίνακας 1.2: *Ιδιότητες του καυσίμου που χρησιμοποιούνται στο σύστημα κατηγοριοποίησης και οι παράμετροι που αντιπροσωπεύουν αντιστοίχως.*

Ως ρεύμα εισόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα από απόβλητα για την παραγωγή Στερεών Ανακτηθέντων Καυσίμων σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (2000/532/EC). Οι κύριες κατηγορίες αποβλήτων, οι οποίες συνηθέστερα χρησιμοποιούνται , είναι οι ακόλουθες:

- κλωστοϋφαντουργία και ίνες
- ξύλο, χαρτί, χαρτόνι και κουτιά από χαρτόνι
- πλαστικά και ελαστικά
- υψηλά θερμιδικά κλάσματα συλλεγμένων μη επικινδύνων σύμμικτων αποβλήτων
- άλλα υλικά (π.χ. απόβλητα μελανιών, χρησιμοποιημένος ενεργός άνθρακας)

Τα στερεά ανακτηθέντα καύσιμα παράγονται σε ειδικές μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων. Η πλειονότητά τους χρησιμοποιεί μικτά Αστικά Στερεά Απόβλητα ως το πρωτεύων εισερχόμενο ρεύμα για την παραγωγή SRF. Άλλες κατηγορίες αποβλήτων οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως είναι ογκώδη απορρίμματα και συγκεκριμένα κλάσματα εμπορικών αποβλήτων, όπως τα υλικά συσκευασίας ή παλιό χαρτί και χαρτόνια διαφόρων τύπων. Η διαδικασία

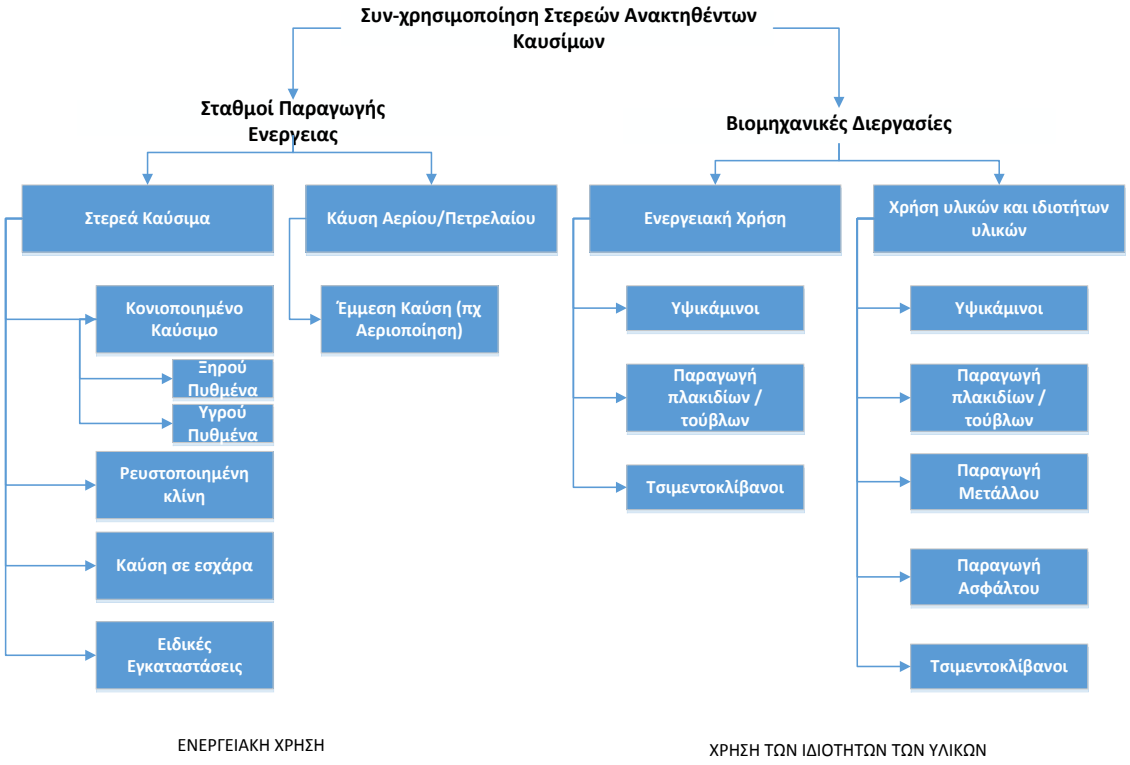
παραγωγής του SRF μπορεί να περιλαμβάνει διάφορα στάδια, μεταξύ των οποίων τα σημαντικότερα είναι: [4]

- Κοσκίνισμα
- Τεμαχισμός - μείωση μεγέθους
- Διαχωρισμός σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων
- Διαχωρισμός με συμβατικές μηχανικές μεθόδους (αεροδιαχωρισμός, φυγοκεντρικός διαχωρισμός, βαλλιστικός διαχωρισμός)
- Διαχωρισμός με καινοτόμες οπτικές μεθόδους, όπως φασματοσκοπία υπερύθρου (Near Infrared, NIR) - Θερμική ή βιολογική ξήρανση - Πελλετοποίηση

Η μορφή του παραγόμενου SRF στο τέλος της επεξεργασίας του δύναται να διαφέρει ανάλογα με την ανάγκη του αποδέκτη. Ωστόσο, τυπικές μορφές του SRF είναι μπάλες, μικρές πελλέτες και μικρά τεμαχισμένα φύλλα (fluff). Οι μεγάλες πελλέτες συνήθως δεν χρησιμοποιούνται για SRF, σε αντίθεση με τη βιομάζα, λόγω των διαφορετικών φυσικών ιδιοτήτων του καυσίμου. Επειδή κάθε εγκατάσταση παραγωγής ανακτηθέντων καυσίμων διαφέρει στο σχεδιασμό της διεργασίας, στις συνθήκες λειτουργίας, στην ποιότητα των εισερχόμενων αποβλήτων και στην ποιότητα του παραγόμενου SRF, δεν είναι εύκολη η σαφής κατηγοριοποίηση των εγκαταστάσεων. Από μία γενική κατηγοριοποίηση βάσει των μεθόδων επεξεργασίας, προκύπτουν δύο ομάδες εγκαταστάσεων: Οι μονάδες όπου εφαρμόζονται μόνο μηχανικές διεργασίες, και οι μονάδες όπου εφαρμόζονται μηχανικές και βιολογικές διεργασίες. Μια άλλη παράμετρος κατηγοριοποίησης σχετίζεται με το σχεδιασμό της διαδικασίας διαλογής. Αυτή έχει σημαντικό αντίκτυπο στην τελική ποιότητα του εξερχόμενου καυσίμου. Πιο συγκεκριμένα, μια διαδικασία διαλογής μπορεί να χαρακτηριστεί ως «θετική» ή «αρνητική». Κατά την εφαρμογή θετικών μεθόδων διαλογής, δίνεται προτεραιότητα στην υψηλότερη ποιότητα του διαλεγόμενου υλικού από την ποσότητα. Ως παράμετροι ποιότητας του καυσίμου συνήθως ορίζονται οι συνιστώσες των δεικτών όπως ορίστηκαν παραπάνω. Η θερμογόνος ικανότητα, η συγκέντρωση σε χλώριο και τα βαρέα μέταλλα. Στη αρνητική μέθοδο διαλογής, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ροή μάζας στο ρεύμα εξόδου, διότι ξεχωρίζονται μόνο τα άχρηστα υλικά από το ρεύμα εισόδου. Παρόλα αυτά, η ομοιογένεια και η ποιότητα του ρεύματος εξόδου είναι συνήθως χαμηλότερη από αυτή που παράγεται από τη θετική μέθοδο διαλογής, που προτιμάται για αποτελέσματα καυσίμου υψηλότερης κλάσης.

1.2 Μικτή Καύση του SRF

Μεγάλη γκάμα τεχνολογικών λύσεων για την μικτή καύση SRF με άνθρακα σε υφιστάμενες βιομηχανικές μονάδες τελούν υπό διερεύνηση και έχουν προσομοιωθεί σε κλίμακα βιομηχανίας. Πρωτοστάτης σε αυτό τον τομέα είναι η Γερμανία, η πρώτη χώρα που λειτούργησε εργοστάσια μικτής καύσης. Από την άλλη πλευρά, οι ανθρακικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής θεωρούνται μια αναδυόμενη αγορά με σημαντικό δυναμικό ανάπτυξης λόγω της μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος και των σημαντικών ποσοτήτων ανακτηθέντων καυσίμων που μπορούν να απορροφήσουν. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η εφαρμογή της άμεσης μικτής καύσης είναι δυνατή χωρίς μεγάλες αλλαγές ή επενδύσεις για επέκταση των ήδη υπαρχουσών υλικών και τεχνικών υποδομών. Στο παρακάτω σχηματικό διάγραμμα παρουσιάζονται οι διαφορετικές χρήσεις για τη μικτή καύση του SRF που έχουν υλοποιηθεί ως σήμερα.



Σχήμα *1.2:* *Οι κατηγορίες συν-χρησιμοποίησης στην καύση Στερεών Ανακτηθέντων Καυσίμων*

Οι κύριες παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την υλοποίηση έργων μικτής καύσης του SRF σε μεγάλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς

και οι τεχνικές τροποποιήσεις που απαιτούνται στις υφιστάμενες περιοχές παρουσιάζονται παρακάτω. Τα κύρια μέρη για το εγχείρημα αυτό είναι η εγκατάσταση ενός πρόσθετου συστήματος αποθήκευσης και διακίνησης για τα εναλλακτικά καύσιμα και η τροποποίηση του λέβητα, ώστε να μπορεί να δουλεύει με μικτή καύση άνθρακα και SRF. Αυτά τα δύο σημεία επίσης παρουσιάζουν και τις μεγαλύτερες τεχνικές και τεχνολογικές προκλήσεις, για την μετατροπή μιας υφιστάμενης μονάδας ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα σε μονάδα μικτής καύσης. Όσον αφορά το σύστημα διαχείρισης καυσίμου SRF αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

1) Σταθμός εκφόρτωσης και ενδιάμεσος χώρος αποθήκευσης.

Σε κάθε εγκατάσταση μικτής καύσης οφείλει να προβλέπεται μια περιοχή, όπου το καύσιμο παραδίδεται, εκφορτώνεται και αποθηκεύεται. Η συγκεκριμένη περιοχή θα πρέπει να είναι μέσα στο χώρο του σταθμού και να βρίσκεται όσο πιο κοντά είναι δυνατό στον καυστήρα. Ένας χώρος για την ενδιάμεση αποθήκευση του καυσίμου είναι συνήθως επίσης κοντά στο χώρο εκφόρτωσης. Ο σταθμός εκφόρτωσης και ο χώρος αποθήκευσης μπορεί να είναι σε ανοικτό χώρο, όπως στο σταθμό εκφόρτωσης της μονάδα παραγωγής ενέργειας της RWE που βρίσκεται στο Weisweiler και έχει δυναμικότητα 600 MWe [5]. Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι η τοποθέτηση του σταθμού εκφόρτωσης και του ενδιάμεσου χώρου αποθήκευσης του SRF σε ένα κλειστό κτίριο, όπως περιγράφεται σε άλλα επιτυχημένα έργα μικτής καύσης [6]. Η τροφοδοσία του καυσίμου στο κύριο σύστημα μεταφοράς καυσίμου μπορεί να πραγματοποιηθεί χειροκίνητα, από έναν εκσκαφέα που εργάζεται σε βάρδιες και πραγματοποιεί τη φόρτωση του καυσίμου από την ενδιάμεση περιοχή αποθήκευσης σε μια ειδική χοάνη, κάτω από την οποία τοποθετείται ο κύριος κοχλίας τροφοδότησης. Η εναλλακτική λύση θα ήταν ένα πιο εξελιγμένο σύστημα, που θα συμπεριλάμβανε έναν κυλιόμενο όροφο Το καύσιμο αυτόματα μετά την εκφόρτωση από τα φορτηγά μεταφοράς περνάει στο χώρο αποθήκευσης. Ο αυτόματος όροφος μπορεί στη συνέχεια να ελέγχεται από το κεντρικό δωμάτιο ελέγχου του εργοστασίου και το ήδη υπάρχων προσωπικό που λειτουργούν το εργοστάσιο ή με ένα επιπλέον δωμάτιο ελέγχου και επιπλέον προσωπικό. Μέσω αυτού του κυλιόμενου ορόφου ο ρυθμός τροφοδοσίας του εναλλακτικού καυσίμου μέσω της χοάνης και του κύριου κοχλία τροφοδότησης του λέβητα μπορεί να προγραμματιστεί και να ελεγχθεί ανάλογα με τις ανάγκες του εργοστασίου.

2) Το σύστημα τροφοδοσίας και δοσολογίας του SRF

Το σύστημα τροφοδοσίας και δοσολογίας είναι κυρίως υπεύθυνο για τη μεταφορά του εναλλακτικού καυσίμου από την περιοχή αποθήκευσης στο λέβητα. Ανάλογα με τις προδιαγραφές των καυσίμων τρεις πρακτικές μπορούν γενικά να εφαρμοστούν: α) Η πρώτη επιλογή είναι να χρησιμοποιηθεί το υπάρχον σύστημα μεταφοράς του κυρίου καυσίμου, δηλαδή οι ιμάντες μεταφοράς άνθρακα. Το SRF στη

συνέχεια μεταφέρεται μαζί με τον άνθρακα στο υπάρχον σύστημα άλεσης, όπου πρώτα ξηραίνεται και έπειτα αλέθεται μαζί με τον άνθρακα και τέλος εισέρχεται στην κάμινο του λέβητα μέσω των υφισταμένων καυστήρων άνθρακα. β) Η δεύτερη επιλογή είναι η εγκατάσταση ενός πρόσθετου συστήματος μεταφορών αποκλειστικά για τη τροφοδοσία του λέβητα με εναλλακτικά καύσιμα. Ένα πνευματικό σύστημα μεταφοράς εφαρμόζεται συνήθως σε αυτή την περίπτωση και μπορεί να χρειάζεται να εγκατασταθεί πρόσθετη μονάδα για τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων του καυσίμου (άλεση) ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του καυσίμου που πρέπει να παραδοθεί. Αυτό γίνεται πάντοτε σε συνάρτηση και με τα χαρακτηριστικά του λέβητα, έτσι ώστε η καύση να είναι πλήρης και αποτελεσματική. Το SRF εισέρχεται στη συνέχεια τον κλίβανο μέσω πρόσθετων καυστήρων, οι οποίοι έχουν επιπλέον εγκατασταθεί για να εξασφαλιστεί μια πλήρη καύση του εναλλακτικού καυσίμου. γ) Η τρίτη πρακτική είναι ένας συνδυασμός των δύο επιλογών που παρουσιάζονται παραπάνω. Ένα πρόσθετο πνευματικό σύστημα μεταφοράς μπορεί να χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τη μεταφορά του εναλλακτικού καυσίμου στο λέβητα. Ένα πρόσθετο σύστημα άλεσης μπορεί επίσης να εγκατασταθεί, αν αυτό αποδειχθεί αναγκαίο λόγω των ιδιαίτερων προδιαγραφών των καυσίμων. Το εναλλακτικό καύσιμο στη συνέχεια εγχέεται εντός του κύριου αγωγού άνθρακα μετά τους μύλους άλεσης και εισέρχεται στο λέβητα μέσω των υφισταμένων καυστήρων άνθρακα. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή σημαντική εξοικονόμηση στο κόστος επένδυσης, δεδομένου ότι αποφεύγονται δαπανηρές τροποποιήσεις του συστήματος καύσης του λέβητα. Μετά την έγχυση του SRF εντός του λέβητα, αυτό ακολουθεί ακριβώς την ίδια διαδρομή με το ακατέργαστο καύσιμο. Γίνεται καύση στον κλίβανο και τα σωματίδια των καυσαερίων και της τέφρας περνάνε μέσα από το τμήμα συναγωγής του λέβητα και τον προθερμαντήρα αέρα για τον καθαρισμό τους. Στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα αυτό το τμήμα συνήθως αποτελείται από το Ηλεκτροστατικό Φίλτρο (Electrostatic Precipitator - ESP) και τη Μονάδα Αποθείωσης Καυσαερίου (Flue Gas Desulphurisation unit - FGD). Δεν απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός, για το χειρισμό των εναλλακτικών καυσίμων - ή των υποπροϊόντων τους – από τη στιγμή που αυτά έχουν εγχυθεί στο λέβητα.[7]

Οι τελικοί αποδέκτες και χρήστες του SRF μπορεί να είναι, όπως προαναφέρθηκε στο Σχήμα 1.2 παραπάνω, η βιομηχανία τσιμέντου, οι ασβεστοποιΐες και οι θερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίοι κάνουν χρήση στερεών καυσίμων. Στις εγκαταστάσεις αυτές οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται διαφέρουν μεταξύ τους, για αυτό το λόγο το υποκατάστατο καύσιμο SRF πρέπει να ικανοποιεί τις ειδικές προδιαγραφές που απαιτούνται για τη χρήση του σε κάθε περίπτωση. Επειδή οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις ασβεστοποιΐες και στις τσιμεντοβιομηχανίες έχουν βασικές ομοιότητες, οι δύο διαφορετικές βιομηχανίες θα εξεταστούν από κοινού. Συνοπτικά, θα παρουσιαστούν οι απαιτούμενες προδιαγραφές όσον αφορά τις εξής τεχνολογίες:

- Τεχνολογίες καύσης κονιοποιημένου καυσίμου
- Τεχνολογία ρευστοποιημένης κλίνης (FBC)

Στην τσιμεντοβιομηχανία υπάρχει ευρεία εμπειρία στη χρήση καυσίμων που προέρχονται από απόβλητα. Στην πράξη, η υποκατάσταση του κυρίως καυσίμου εφαρμόστηκε στην υγρή διεργασία (wet process), η οποία παρουσιάζει υψηλότερη ειδική κατανάλωση ενέργειας από την κυρίαρχη ξηρή διεργασία για την παραγωγή του μίγματος τσιμέντου clinker. Δεδομένου ότι η χρήση ανακτηθέντων καυσίμων, συμπεριλαμβανομένου του SRF, αυξάνεται πλέον και στην ξηρή διεργασία, έχει διερευνηθεί και διαπιστωθεί ότι ιδιότητα του υποκατάστατου καυσίμου, που επηρεάζει ιδιαίτερα τη διεργασία της καύσης, είναι το χλώριο (Cl). Το συστατικό αυτό του καυσίμου μπορεί να φράξει τον προθερμαντή με τη δημιουργία συμπυκνωμάτων πτητικών χλωριδίων (condensed volatile chlorides). Γενικά το χλώριο έχει έντονη διαβρωτική δράση, για αυτό και αποτελεί περιοριστική παράμετρο της τεχνολογίας και των υλικών που χρησιμοποιούνται. Οι ειδικές προδιαγραφές για αυτές τις τεχνολογίες έχουν προκύψει από δεδομένα εγκαταστάσεων στο Βέλγιο, τη Γαλλία και τη Γερμανία.

	Unit	Λιθάνθρακας DBB	Λιθάνθρακας WBB	Λιγνίτης DBB
NCV	MJ/kg ar	13,5 (αρ. μέσος) 11 to 18 (εύρος)	17 (αρ. μέσος) 13 to 22 (εύρος)	13,5 (αρ. μέσος) 11 to 18 (εύρος)
Cl *	% dry	0,6 (αρ. μέσος) 1,3 (μέγιστο)	1,1 (αρ. μέσος) 2,5 (μέγιστο)	0,5 (αρ. μέσος) 0,6 (μέγ.) /1,0 (μέγ.) **

DBB = dry bottom boiler pulverized coal, dry ash

WBB = wet bottom boiler pulverized coal, molten slag

* Η περιεκτικότητα σε Cl του συνολικού μίγματος θα πρέπει να διατηρείται <0,2%-0,4% για αποφυγή της διάβρωσης σε υψηλές θερ/σίες. Η μέγιστη επιτρεπόμενη Cl% εξαρτάται από το σχέδιο και τα επιλεγμένα υλικά.

** Οι μέγιστες τιμές ποικίλλουν για διαφορετικές εταιρείες.

Πίνακας 1.3: *Προδιαγραφές για την καύση του SRF με κονιοποιημένο καύσιμο*

Η τεχνολογία της ρευστοποιημένης κλίνης συναντάται στις Σκανδιναβικές χώρες και εφαρμόζεται για τηλεθέρμανση και συμπαραγωγή με τη χρήση κυρίως βιοκαυσίμων. Οι προδιαγραφές σε αυτή την περίπτωση έχουν προκύψει από δεδομένα στη Σουηδία, την Ιταλία και τη Γερμανία. [8]

	Unit	FBC
CV	MJ/kg ar	13,5 (αριθμητικός μέσος)
		9 to 18 (εύρος)
Cl *	% ar	0,4 (αριθμητικός μέσος)
		0,5 (μέγ.) /0,8 (μέγ.) /1,4 (μέγ.)
* Η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε Cl εξαρτάται από το σχεδιασμό της εγκατάστασης και τη σύσταση της εισόδου.		

Πίνακας 1.4: *Προδιαγραφές για την καύση του SRF σε ρευστοποιημένη κλίνη*

Τα πλεονεκτήματα της συν-χρησιμοποίησης Στερεών Ανακτηθέντων Καυσίμων στην καύση μαζί με λιγνίτη είναι πολύ σημαντικά, με οικονομικές, περιβαλλοντολογικές και κοινωνικές προεκτάσεις. Συνοπτικά, τα θετικά στοιχεία της εκμετάλλευσης αυτού του καυσίμου συνοψίζονται στα εξής :

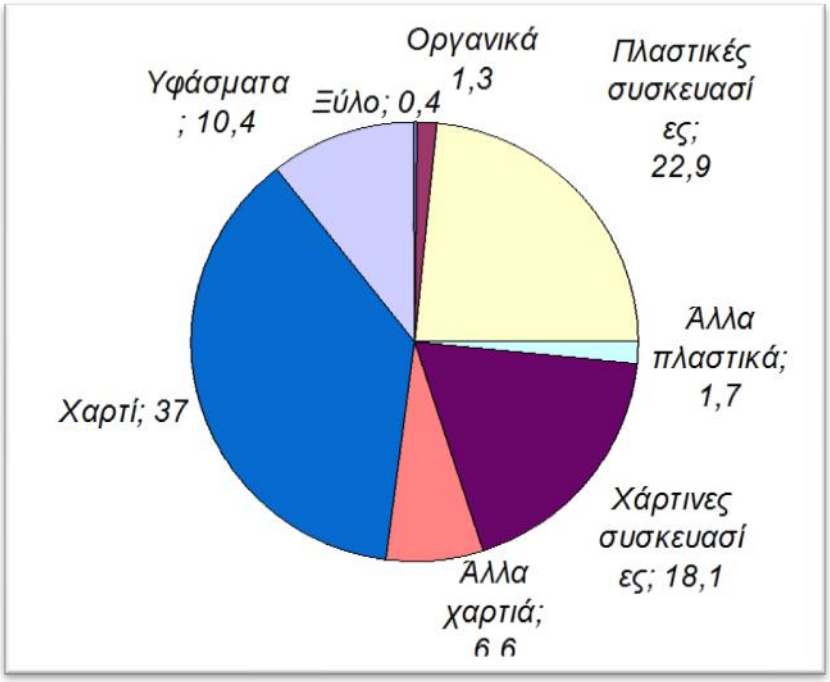
- Γίνεται σημαντική εξοικονόμηση ορυκτών καυσίμων
- Δίνεται διέξοδος για εναλλακτική διαχείριση σε σχέση με την αποτέφρωση ή την ανεξέλεγκτη διάθεση σε χώρους ταφής των Αστικών Στερεών Αποβλήτων
- Το περιεχόμενο των SRF είναι κατά 50-70% κατά βάρος βιογενές .Αυτό έχει ως άμεση συνέπεια τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ($C0_2$)
- Υπάρχει η δυνατότητα για άμεση αξιοποίηση υφιστάμενων εγκαταστάσεων (τσιμεντοβιομηχανία, ηλεκτροπαραγωγή) για μικτή καύση του SRF. Το κόστος της επένδυσης είναι σχετικά μικρό, ενώ ταυτόχρονα επωφελείς παρουσιάζονται και οι οικονομίες κλίμακας

Από την άλλη πλευρά, παρουσιάζονται αρκετές αδυναμίες στο κεφάλαιο της μικτής καύσης, οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι εξής [9] :

- Εκφράζονται ανησυχίες από τους αρμόδιους φορείς σχετικά με τις αποκλίσεις των ελέγχων που εφαρμόζονται σε μονάδες αποκλειστικής αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης.
- Υπάρχει ακόμα περιθώριο βελτίωσης του ποιοτικού ελέγχου του καυσίμου. Κατά την καύση απελευθερώνεται ένα σύνολο επικίνδυνων ουσιών, πιθανόν ρυπαντών από το SRF (Cl, Βαρέα μέταλλα)
- Είναι απαραίτητη η δημόσια αποδοχή και εμπιστοσύνη του κόσμου στο νέο αυτό είδος καυσίμου. Για να πραγματοποιηθούν βήματα προς αυτή την κατεύθυνση θα πρέπει να καλυφθεί πλήρως και να τελειοποιηθεί η κατηγοριοποίηση και η προτυποποίηση του SRF.

1.3 Παραγωγή - Διαχείριση SRF στην Ελλάδα

Ο Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α.), έχει κάνει μεγάλη προσπάθεια για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου προγράμματος διαχείρισης στερεών αποβλήτων στην Αττική. Το Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης Απορριμμάτων (ΕΜΑΚ) Άνω Λιοσίων είναι το πρώτο έργο εντός της επικράτειας σε αυτή την κατεύθυνση, το οποίο καταλαμβάνει έκταση 150 στρεμμάτων και επεξεργάζεται περίπου 1.200 tn/ημέρα σύμμεικτων δημοτικών απορριμμάτων (ΑΣΑ) στα οποία περιλαμβάνεται μια αυξανόμενη (σήμερα περί τους 30 tn/ημέρα) ποσότητα υπολειμμάτων βιομάζας. Εξυπηρετεί την εκπλήρωση των στόχων μείωσης των ΧΥΤΑ, εκτροπής του βιοδιασπώμενου κλάσματος από τους ΧΥΤΑ και αύξησης των εργασιών αξιοποίησης των απορριμμάτων [10]. Η τεχνολογία επεξεργασίας του ΕΜΑΚ εντάσσεται στη γενική κατηγορία των τεχνικών Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας (ΜΒΕ). Οι μέθοδοι ΜΒΕ οδηγούν στο διαχωρισμό των αποβλήτων, στην ανάκτηση ορισμένων κλασμάτων και στην παραγωγή χρήσιμων προϊόντων, στερεών εναλλακτικών καυσίμων, ενέργειας ή/και εδαφοβελτιωτικών προϊόντων.



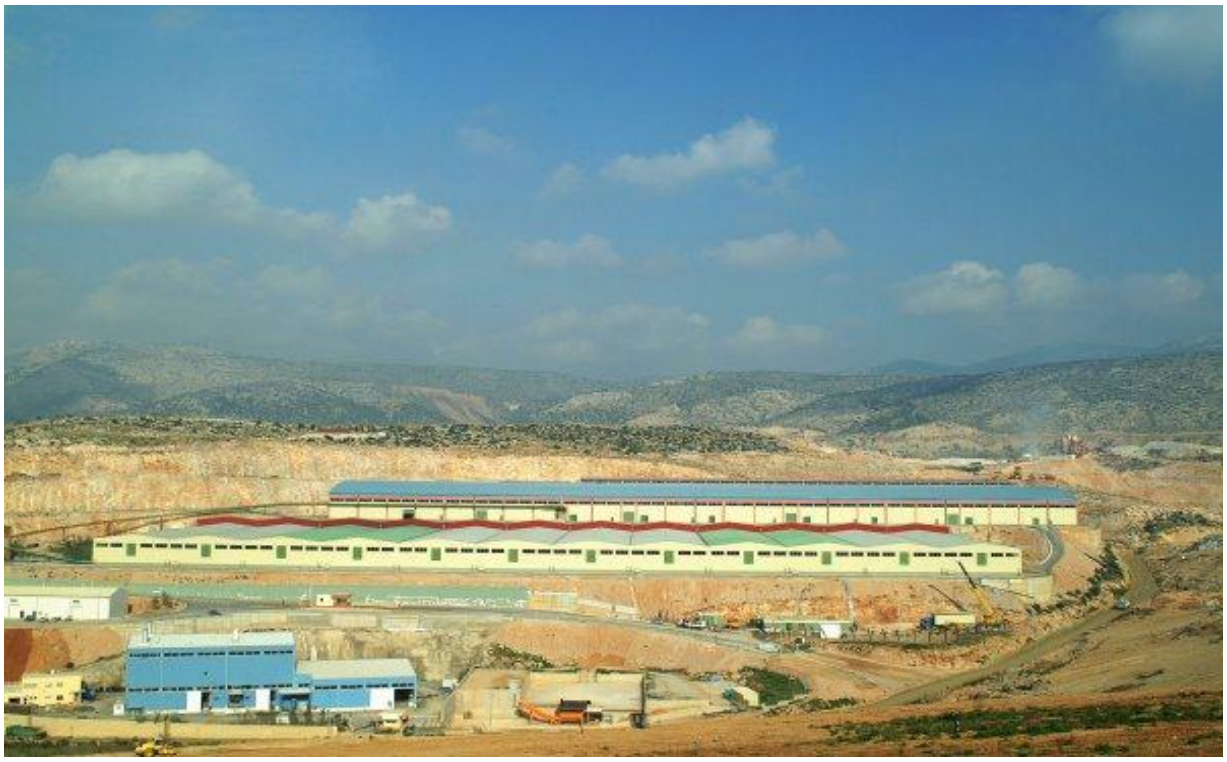
Σχήμα 1.3: *Η σύσταση του παραγόμενου SRF στην Αθήνα [11]*

Οι εγκαταστάσεις ΜΒΕ διακρίνονται περαιτέρω σε: Κέντρα διαχωρισμού του οργανικού για κομποστοποίηση και άλλες χρήσεις και Μονάδες όπου το οργανικό κλάσμα ενσωματώνεται σταθεροποιημένο στο στερεό καύσιμο. Το εργοστάσιο των Λιοσίων ανήκει στην πρώτη υποπερίπτωση των ανωτέρω. Σύμφωνα με το σύστημα κατηγοριοποίησης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων πρόκειται για μία εγκατάσταση μηχανικού διαχωρισμού των ρευμάτων των υλικών (SST) με επιπλέον βιολογική επεξεργασία σταθεροποίησης του οργανικού κλάσματος. Συνοπτικά ακολουθεί η περιγραφή της επεξεργασίας που συμβαίνει στο ΕΜΑΚ Λιοσίων και είναι η ακόλουθη:

• Με μηχανικά μέσα επιτυγχάνεται ο τεμαχισμός και ο διαχωρισμός των διαφόρων ρευμάτων. Συγκεκριμένα, μέσα από διαδοχικά κόσκινα το ελαφρύ κλάσμα με τη μικρότερη κοκκομετρία οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία, βιολογική ξήρανση και κομποστοποίηση, ενώ το υπόλοιπο κλάσμα με μεγαλύτερη κατανομή διαμέτρων διαχωρίζεται μέσω βαλλιστικού διαχωριστή σε ανακτηθέν καύσιμο και

• Με βιολογική επεξεργασία είτε αερόβια είτε αναερόβια σταθεροποιείται το οργανικό κλάσμα.

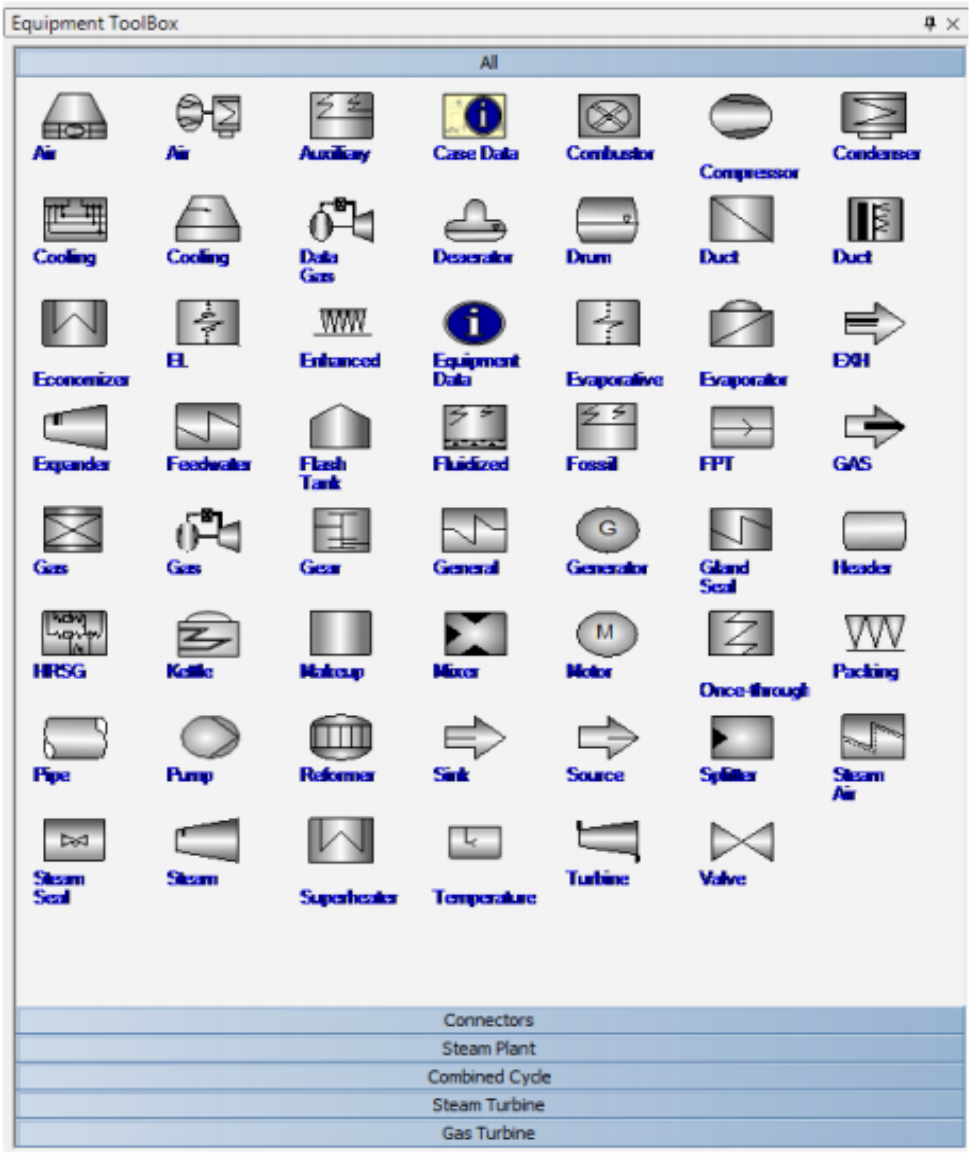
• Παράγονται χρήσιμα προϊόντα όπως το στερεό καύσιμο RDF-SRF.



Σχήμα 1.4: *Αεροφωτογραφία του Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ) που βρίσκεται στα Άνω Λιόσια Αττικής [12]*

2 Παρουσίαση λογισμικού Gatecycle

Το GateCycle είναι ένα εμπορικό λογισμικό προσομοίωσης θερμοδυναμικών κύκλων με το οποίο πραγματοποιείται η αναλυτική μοντελοποίηση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Με το GateCycle διευκολύνεται η ανάλυση της λειτουργίας ατμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής και μονάδων συνδυασμένου κύκλου σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.



Εικόνα 2.1: *Στοιχεία εξοπλισμού*

Το λογισμικό παρέχει ευκολία και ταχύτητα στο σχεδιασμό διαφόρων μοντέλων και παρέχει γρήγορες προσεγγίσεις και αναλύσεις. Ένα μοντέλο του GateCycle απεικονίζει ένα θερμοδυναμικό κύκλο σε ένα σχηματικό διάγραμμα που

δημιουργεί ο χρήστης. Ο σχεδιασμός γίνεται διαλέγοντας τα διάφορα στοιχεία εξοπλισμού του προγράμματος και συνδέοντάς τα μεταξύ τους. Ο χρήστης καθορίζει τις διάφορες συνδέσεις μεταξύ των εξοπλισμών αρκεί οι επιλογές του να είναι συμβατές με του κανόνες που αφορούν την κάθε συνιστώσα. Τα στοιχεία του GateCycle βρίσκονται στην επιλογή Toolbox Equipment όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά τα βασικά στοιχεία εξοπλισμού, η ονομασία τους στο λογισμικό και το αντίστοιχο εικονίδιο.

Fossil Boiler (Λέβητας ορυκτών καυσίμων) :

Steam turbine (Ατμοστρόβιλος) :

Condenser (Συμπυκνωτής) :

Feedwater heater (Προθερμαντής νερού) :

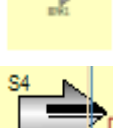
Valve (Βαλβίδα) :

Mixer (Μείκτης ροών) :

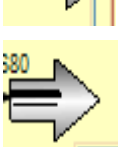
Splitter (Διαχωριστής ροών) :

Source (Είσοδος νερού η ατμού) :

Sink (Έξοδος νερού η ατμού) :

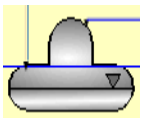


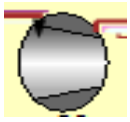
Gas (Είσοδος αέρα η καυσαερίου) :



Exh (Έξοδος αέρα η καυσαερίου) :

Pump (Αντλία) :

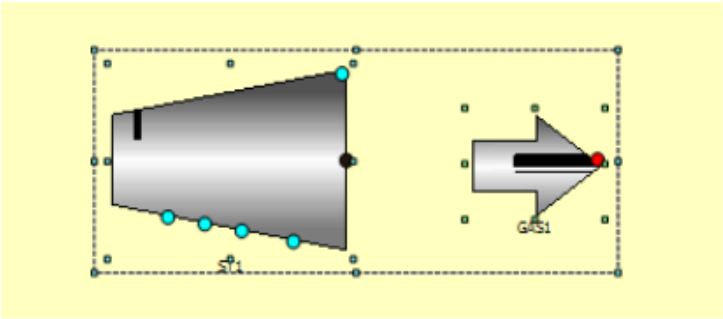
Deaerator (Εξαερωτής) : 

Compressor (Συμπιεστής) : 

Μια σημαντική λειτουργία του GateCycle είναι η δυνατότητα επιλογής μεταξύ λειτουργίας σχεδιασμού (design-mode) και λειτουργίας εκτός σχεδιασμού (off design-mode). Συγκεκριμένα, το μοντέλο σχεδιάζεται στο design-mode όπου καθορίζονται όλα τα σχεδιαστικά και λειτουργικά του χαρακτηριστικά του, ενώ το off design-mode στηρίζεται στο design, όπου θεωρείται ότι τα κύρια σχεδιαστικά στοιχεία του μοντέλου παραμένουν σταθερά. Ο χρήστης δεν μπορεί να αλλάξει τη δομή ενός μοντέλου σε κατάσταση off-design, αλλά μπορεί να τροποποιήσει τις εξωτερικές συνθήκες αυτού, το φορτίο λειτουργίας κλπ. Για παράδειγμα, με δεδομένο ότι οι τεχνικές προδιαγραφές ενός μοντέλου διατηρούνται ίδιες, μπορεί να τροποποιηθεί η παροχή του καυσίμου ή η σύστασή του κτλ. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να ελεγχθεί η συμπεριφορά κάθε μοντέλου κάτω από διάφορες συνθήκες λειτουργίας εκτός σχεδιασμού.

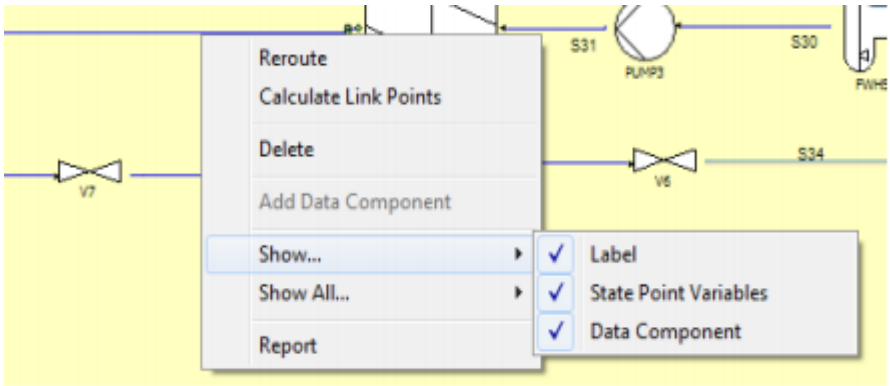
Συνεχίζοντας παρουσιάζονται κάποιες βασικές λειτουργίες ή πληροφορίες που παρέχει το λογισμικό:

- Κάθε στοιχείο εξοπλισμού εμφανίζει στο περίγραμμά του διάφορες κουκκίδες μπλε, μαύρου ή κόκκινου χρώματος. Οι μπλε κουκκίδες αφορούν το νερό και τον ατμό, οι κόκκινες αέρια και καυσαέρια ενώ οι μαύρες τις συνδέσεις μεταξύ των εξοπλισμών.



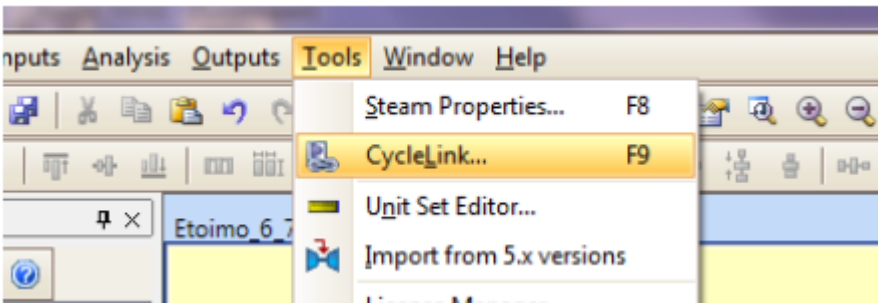
Εικόνα 2.2: *Κουκκίδες σύνδεσης εξοπλισμού*

- Ο χρήστης κάνοντας δεξί κλικ πάνω σε μία ροή μεταξύ δύο στοιχείων εξοπλισμού και επιλέγοντας Show->Data Component μπορεί να δει τα δεδομένα της της ροής. Συγκεκριμένα την πίεση, θερμοκρασία, παροχή και ενθαλπία.



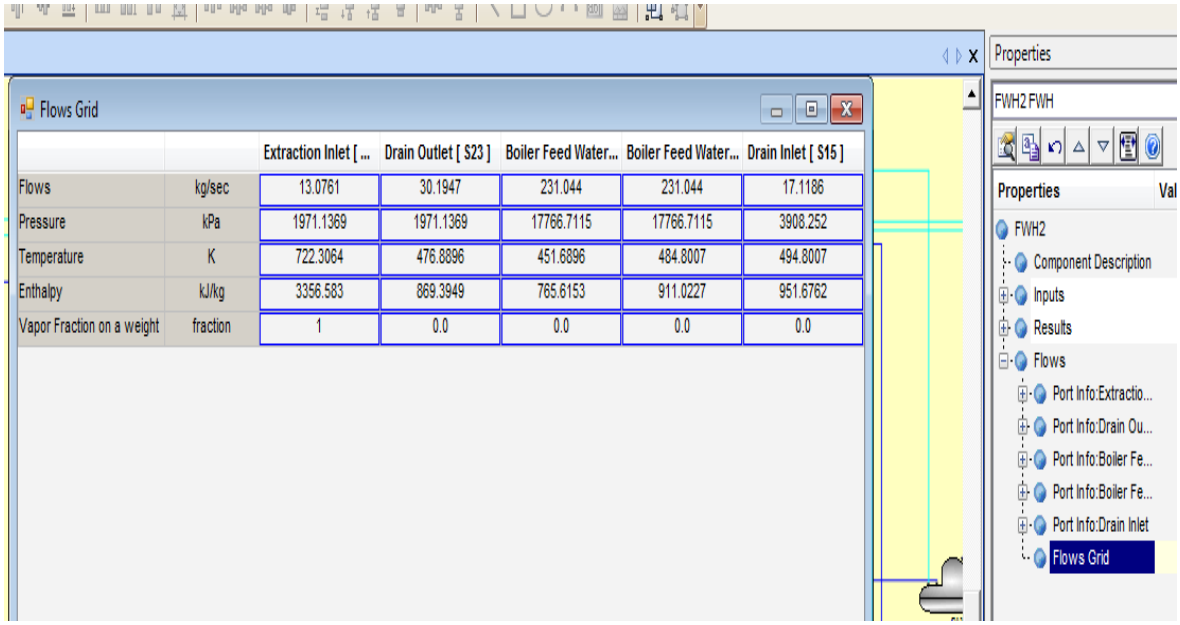
Εικόνα 2.3: *Επιλογή εμφάνισης δεδομένων*

- Μια άλλη σημαντική διευκόλυνση είναι η δυνατότητα του χρήστη να εξάγει τα δεδομένα κάθε μοντέλου στο excel. Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας Tools->CycleLink



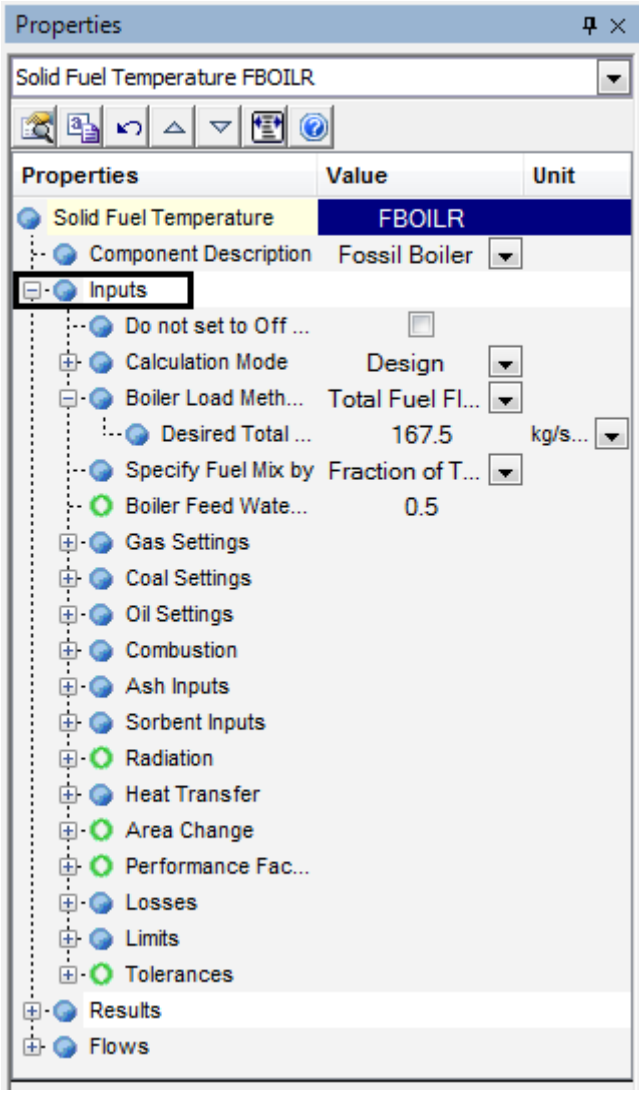
Εικόνα 2.4: *Εξαγωγή δεδομένων στο excel*

- Πατώντας διπλό κλικ πάνω σε ένα στοιχείο εξοπλισμού ο χρήστης ανοίγει ένα πλαϊνό παράθυρο που λέγεται Properties. Εκεί επιλέγοντας Flows->Flows Grid μπορεί να δει όλα τα δεδομένα του στοιχείου αυτού. Επιπροσθέτως μέσω της επιλογής Properties και διαλέγοντας Inputs ο χρήστης μπορεί να εισάγει τα δεδομένα στον κάθε εξοπλισμό προκειμένου να ξεκινήσει την επιθυμητή προσομοίωση.



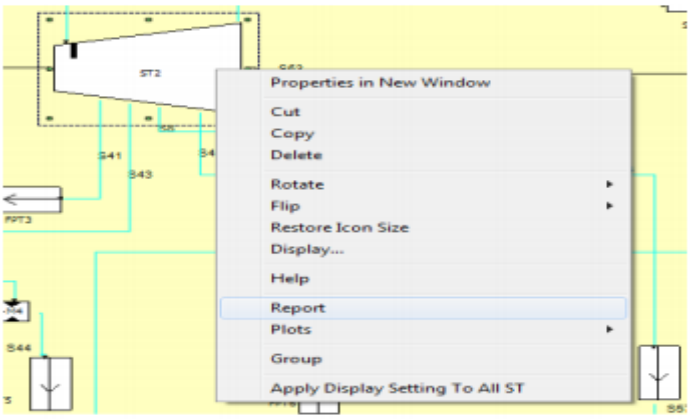
		Extraction Inlet [...	Drain Outlet [S23]	Boiler Feed Water...	Boiler Feed Water...	Drain Inlet [S15]
Flows	kg/sec	13.0761	30.1947	231.044	231.044	17.1186
Pressure	kPa	1971.1369	1971.1369	17766.7115	17766.7115	3908.252
Temperature	K	722.3064	476.8896	451.6896	484.8007	494.8007
Enthalpy	kJ/kg	3356.583	869.3949	765.6153	911.0227	951.6762
Vapor Fraction on a weight	fraction	1	0.0	0.0	0.0	0.0

Εικόνα 2.5: *Εμφάνιση δεδομένων ενός στοιχείου*



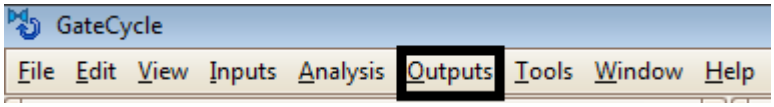
Εικόνα 2.6: *Εισαγωγή δεδομένων στο στοιχείο*

- Τέλος ο χρήστης, μπορεί με δεξί κλικ πάνω σε ένα στοιχείο εξοπλισμού και επιλέγοντας report, να δει αναλυτικά όλα τα δεδομένα του στοιχείου αυτού μέσω της καρτέλας που ανοίγει.



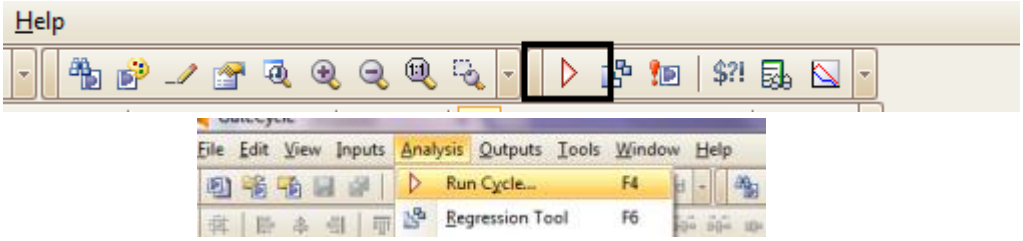
Εικόνα 2.7: *Επιλογή αναλυτικής παρουσίασης δεδομένων*

- Επιπλέον, για να φανούν τα δεδομένα ολόκληρου του κύκλου δίδεται η επιλογή Outputs στην κύρια μπάρα εργασιών.



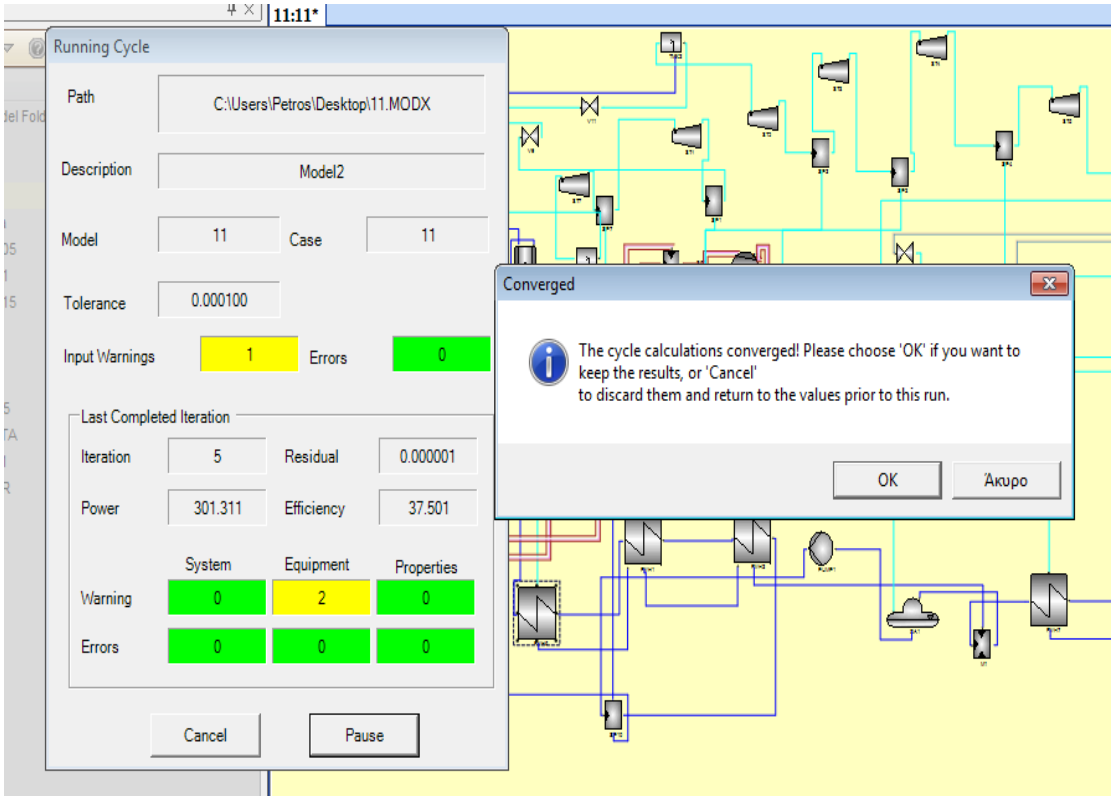
Εικόνα 2.8: *Επιλογή εμφάνισης δεδομένων του κύκλου*

Αφού τελικά σχεδιαστεί το μοντέλο και εισαχθούν όλα τα απαραίτητα δεδομένα, ο χρήστης πια μπορεί να το τρέξει επιλέγοντας Analysis->Run Cycle. Εναλλακτικά πατώντας το εικονίδιο που αντιστοιχεί στο Run



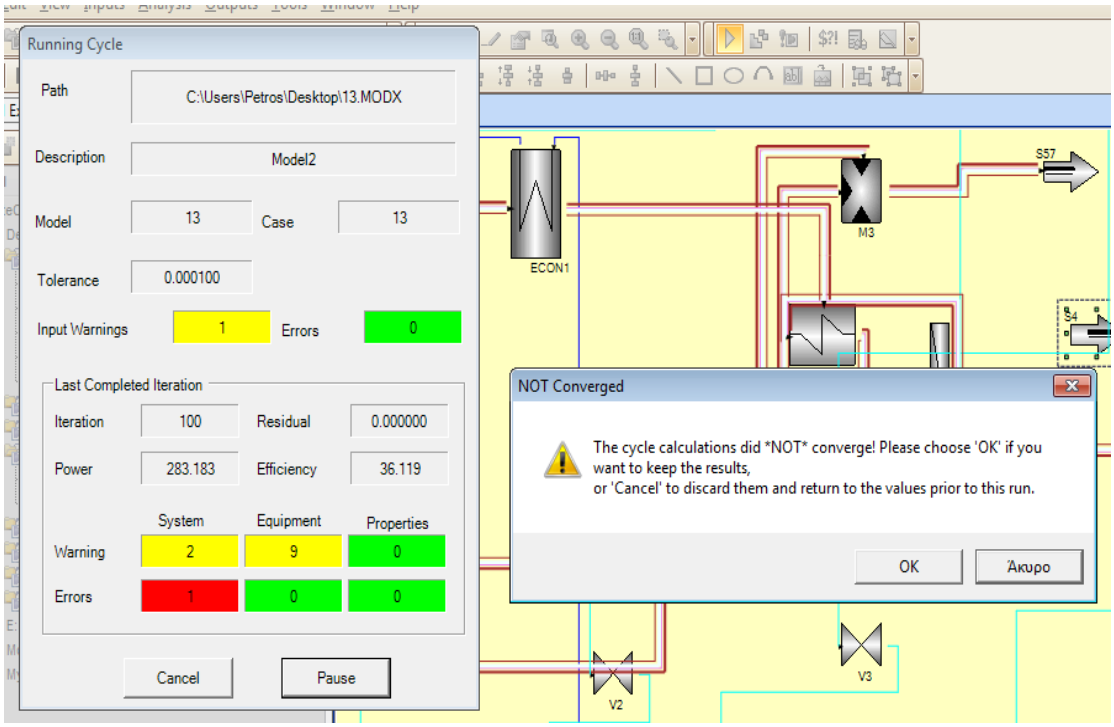
Εικόνα 2.9: *Εκτέλεση του μοντέλου*

Επιλέγοντας Run Cycle υπάρχουν δύο πιθανά σενάρια. Το πρώτο είναι το μοντέλο να «τρέξει» επιτυχώς οπότε και θα εμφανιστεί στην οθόνη η παρακάτω εικόνα όπου θα φαίνεται και ο βαθμός απόδοσης αλλά και η ισχύς του μοντέλου.



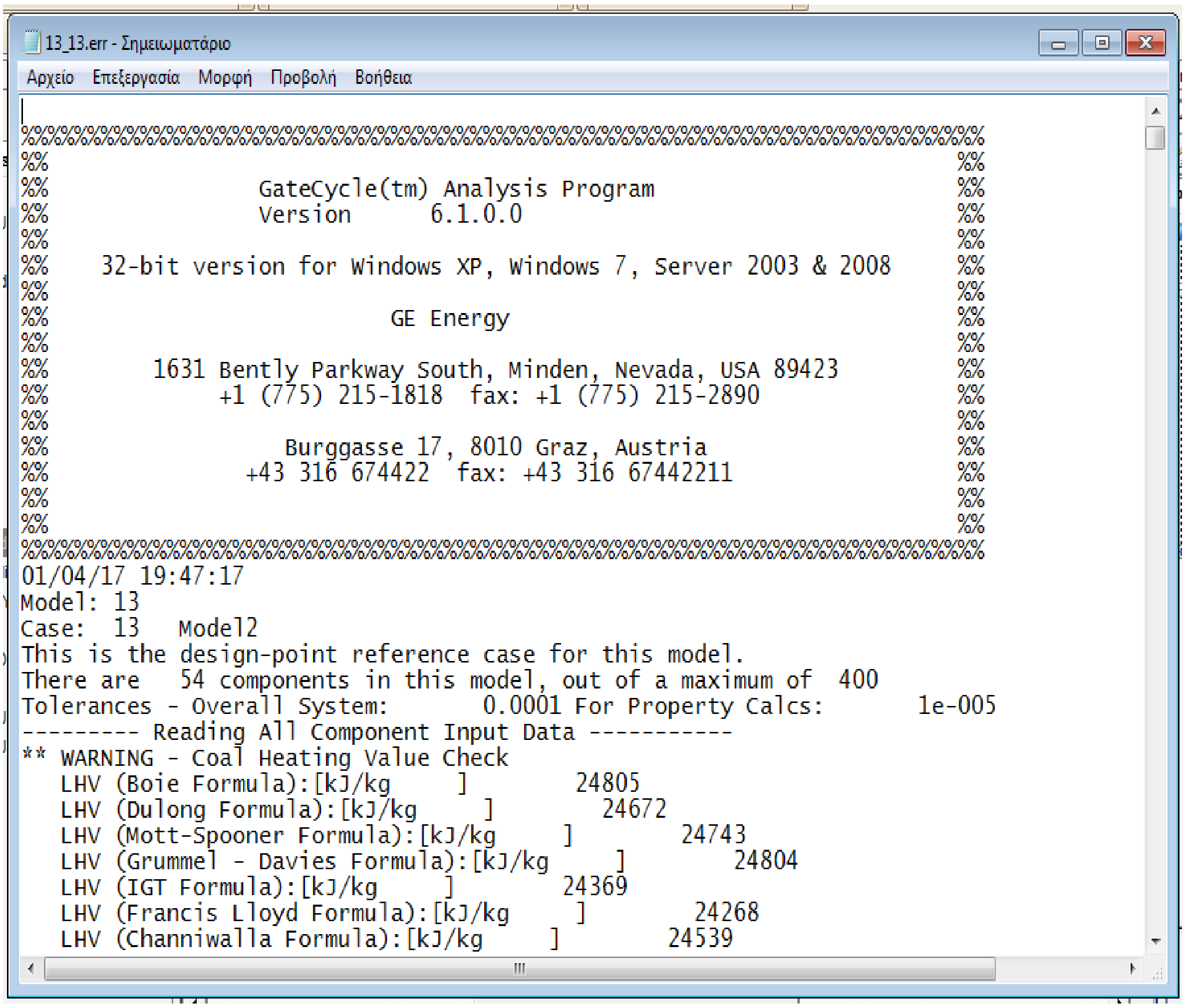
Εικόνα 2.10: *Επιτυχής εκτέλεση κύκλου*

Αν το μοντέλο δεν συγκλίνει τότε θα εμφανιστεί το εξής μήνυμα:



Εικόνα 2.11: *Ανεπιτυχης εκτέλεση κύκλου*

Σε αυτή τη περίπτωση επιλέγοντας Analysis->Show Error File ο χρήστης μπορεί να δει όλα τα λάθη η ελλείψεις η οτιδήποτε άλλο έχει εμποδίσει το λογισμικό από το να επιλύσει επιτυχώς τον κύκλο.




```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%                                                                      %%
%%                  GateCycle(tm) Analysis Program                      %%
%%                  Version      6.1.0.0                                %%
%%                                                                      %%
%%      32-bit version for Windows XP, Windows 7, Server 2003 & 2008    %%
%%                                                                      %%
%%                            GE Energy                                 %%
%%                                                                      %%
%%          1631 Bently Parkway South, Minden, Nevada, USA 89423        %%
%%               +1 (775) 215-1818  fax: +1 (775) 215-2890              %%
%%                                                                      %%
%%                    Burggasse 17, 8010 Graz, Austria                  %%
%%                 +43 316 674422  fax: +43 316 67442211                %%
%%                                                                      %%
%%                                                                      %%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
01/04/17 19:47:17
Model: 13
Case:  13   Model2
This is the design-point reference case for this model.
There are   54 components in this model, out of a maximum of  400
Tolerances - Overall System:       0.0001 For Property Calcs:       1e-005
--------- Reading All Component Input Data -----------
** WARNING - Coal Heating Value Check
   LHV (Boie Formula):[kJ/kg     ]        24805
   LHV (Dulong Formula):[kJ/kg     ]        24672
   LHV (Mott-Spooner Formula):[kJ/kg     ]        24743
   LHV (Grummel - Davies Formula):[kJ/kg     ]        24804
   LHV (IGT Formula):[kJ/kg     ]        24369
   LHV (Francis Lloyd Formula):[kJ/kg     ]        24268
   LHV (Channiwalla Formula):[kJ/kg     ]        24539
```

Εικόνα 2.12: *Αναλυτικό αρχείο σφαλμάτων*

3 Σχεδιασμός και προσομοίωση μοντέλου ΑΗΣ στο GateCycle

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται ο σχεδιασμός και η προσομοίωση ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού στο λογισμικό GateCycle. Το μοντέλο σχεδιάστηκε στην έκδοση 5.51 του λογισμικού και με τη βοήθεια ενός υποπρογράμματος, GateCycle model import, μεταφέρθηκε στην 6.1 έκδοση, με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο εκδόσεων.

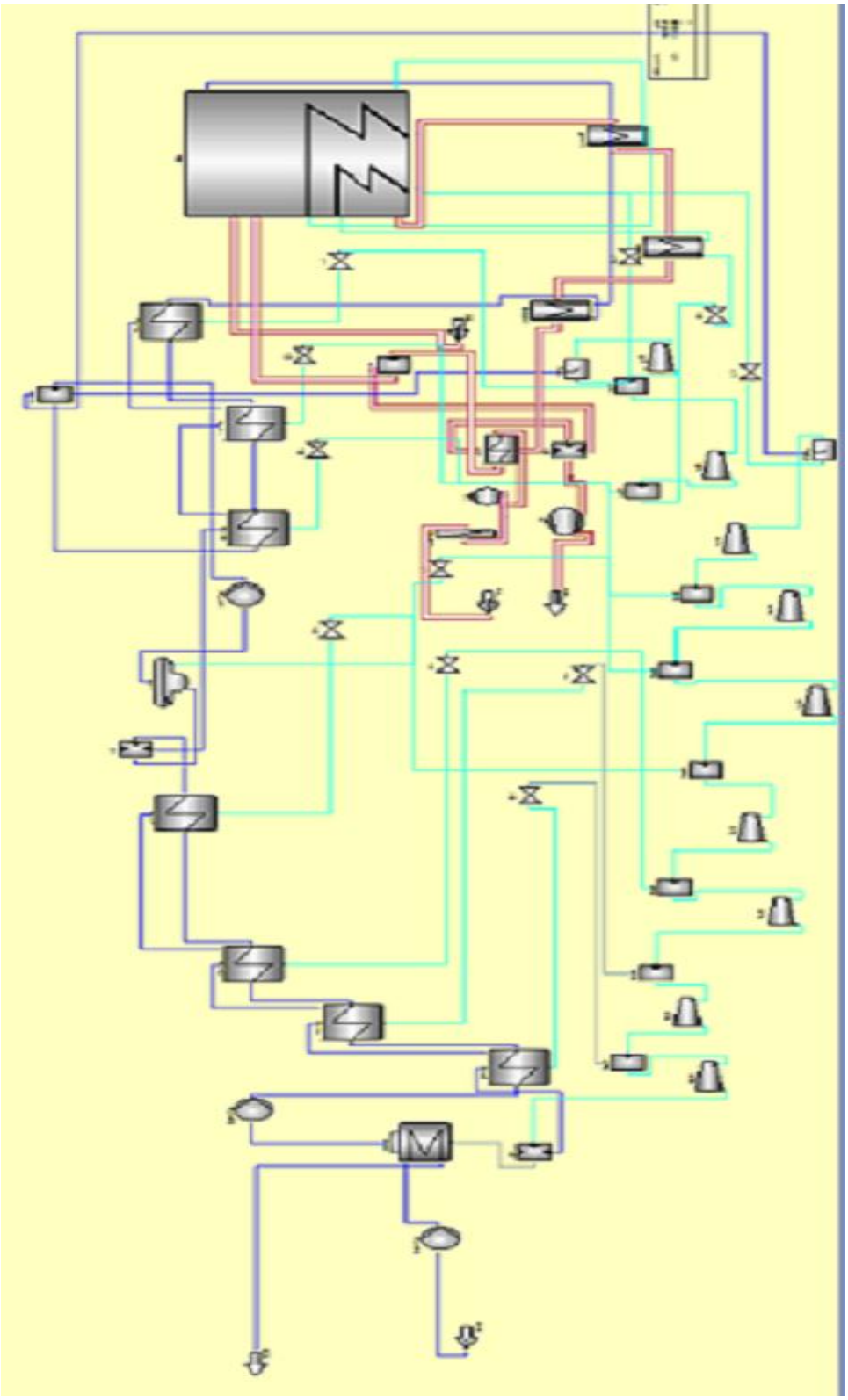
Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν διάφορες προσομοιώσεις για διαφορετικές συστάσεις καυσίμου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε σαν καύσιμο λιγνίτης τύπου Φλώρινας και λιγνίτης τύπου Καρδιάς σε συνδυασμό με SRF.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο βασικός σχεδιασμός του μοντέλου έγινε σε design mode, ενώ τα τρεξίματα για τις διάφορες υποπεριπτώσεις σε off-design. Επίσης ο σχεδιασμός του μοντέλου βασίστηκε στο ήδη υπάρχον μοντέλο της Φλώρινας όσον αφορά κυρίως την τοποθέτηση των ατμοστροβίλων και των προθερμαντήρων.

Συγκεκριμένα ο σταθμός της Φλώρινας είναι ατμοηλεκτρικός σταθμός ισχύος 302,5 MW και παροχής 100,5 kg/s στερεού καυσίμου λιγνίτη κατώτερης θερμογόνου ικανότητας 7955 kJ/kg. Αποτελείται από τους ατμοστροβίλους υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης, οι οποίοι στο GateCycle μοντελοποιήθηκαν ως 9 ξεχωριστοί εν σειρά στρόβιλοι. Υπάρχουν δύο επιφάνειες υπερθέρμανσης και δύο αναθέρμανσης στον λέβητα. Έπειτα από κάθε ατμοστρόβιλο του μοντέλου πραγματοποιείται απομάστευση, η οποία οδηγείται είτε σε 1 εκ των 7 προθερμαντήρων του κύκλου, είτε στον συμπυκνωτή, η στον απαεριωτή/τροφοδοτικό δοχείο. Ο ατμός παροχής 265,08kg/s και θερμοκρασίας 418°C εξέρχεται από το λέβητα και οδηγείται στην πρώτη από τις δύο υπερθερμάνσεις όπου φτάνει τους 493°C και στη συνέχεια στη δεύτερη όπου φτάνει τους 543°C. Μετά αποτονώνεται στον πρώτο ατμοστρόβιλο για να πραγματοποιηθεί η πρώτη απομάστευση προς τον τελευταίο εν σειρά προθερμαντήρα και μετά στον δεύτερο όπου ξαναγίνεται απομάστευση για τον αμέσως προηγούμενο. Τα 228,21kg/s θερμοκρασίας 299,75^{o}C που απομένουν οδηγούνται στην 1^{η} επιφάνεια αναθέρμανσης όπου φτάνουν τους 441°C. Ύστερα πραγματοποιείται η 2^{η} αναθέρμανση στον λέβητα έως τους 542°C. Στη συνέχεια ο ατμός κατευθύνεται στη σειρά των ατμοστρόβιλων για τις επιμέρους εκτονώσεις και απομαστεύσεις.

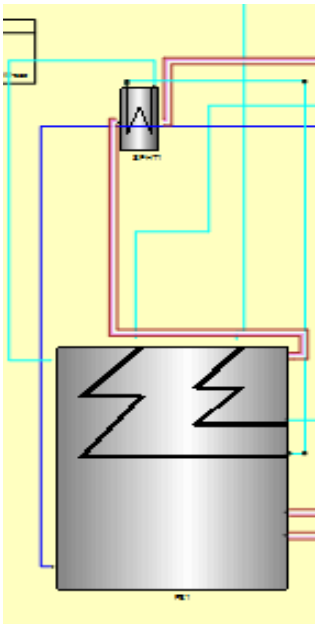
3.1 Παρουσίαση μοντέλου στο GateCycle 6.1

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται το μοντέλο όπως αυτό φαίνεται στην έκδοση 6.1 του GateCycle.



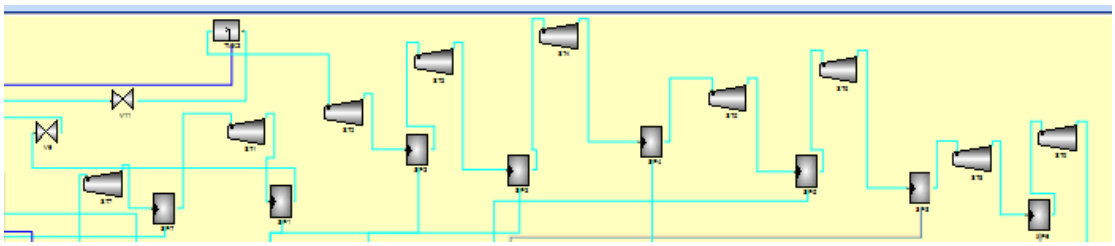
Εικόνα 3.1: *Μοντέλο ΑΗΣ στο GateCycle 6.1*

Συγκεκριμένα ξεκινάμε από τον λέβητα, από τον οποίο ο ατμός που εξέρχεται οδηγείται σε έναν υπερθερμαντήρα και έπειτα ξανά στον λέβητα για επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας πριν οδηγηθεί στους ατμοστροβίλους.



Εικόνα 3.2: *Λέβητας*

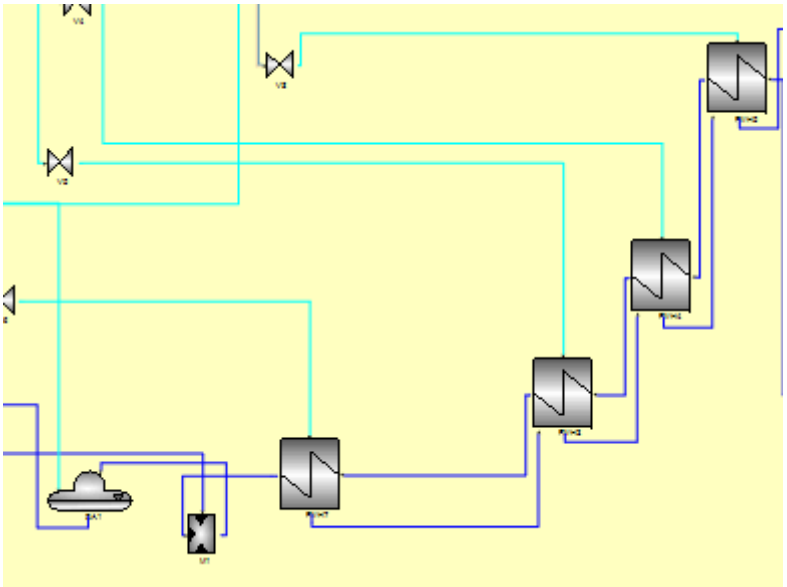
Στη συνέχεια ο ατμός οδηγείται σε μια σειρά εννέα ατμοστροβίλων (Εννέα ατμοστρόβιλοι στα πλαίσια της μοντελοποίησης όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση της Φλώρινας) με ενδιάμεση αναθέρμανσή του, συγκεκριμένα μεταξύ του 2^{ου} και 3^{ου} κατά σειρά στροβίλου. Το ρεύμα ατμού μετά την έξοδό του από κάθε στρόβιλο οδηγείται σε έναν Splitter όπου ένα ρεύμα κατευθύνεται στον επόμενο κατά σειρά στρόβιλο και το υπόλοιπο οδηγείται σε προθερμαντήρες για την προθέρμανση του νερού.



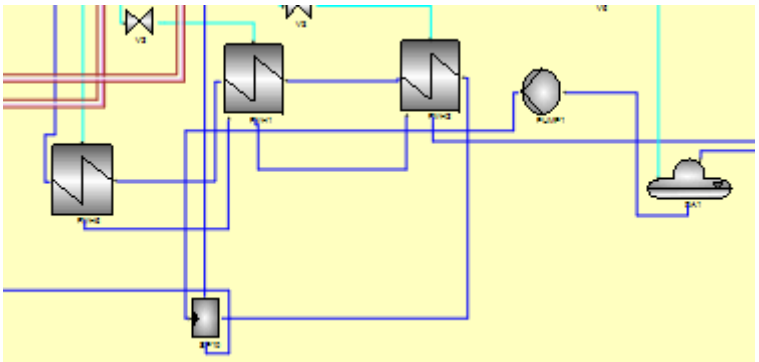
Εικόνα 3.3: *Ατμοστρόβιλοι εν σειρά*

Εδώ πρέπει να επισημανθεί ο στρόβιλος υψηλής πίεσης ST7, 1^{ος} σε σειρά, και ο στρόβιλος χαμηλής πίεσης ST4, 5^{ος} .

Όπως αναφέρθηκε έπειτα από κάθε στρόβιλο γίνεται απομάστευση ατμού με κατεύθυνση προθερμαντήρες. Υπάρχουν εφτά προθερμαντήρες στο μοντέλο, 4 πριν τον απαεριωτή και 3 μετά.

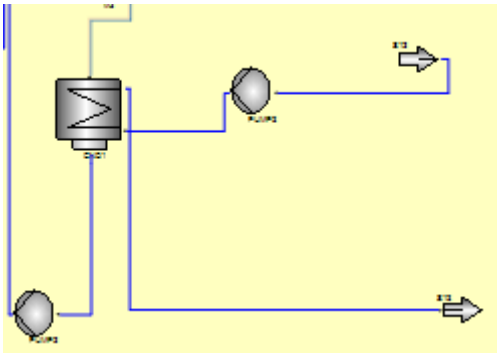


Εικόνα 3.4: *Προθερμαντήρες πριν τον απαεριωτή*



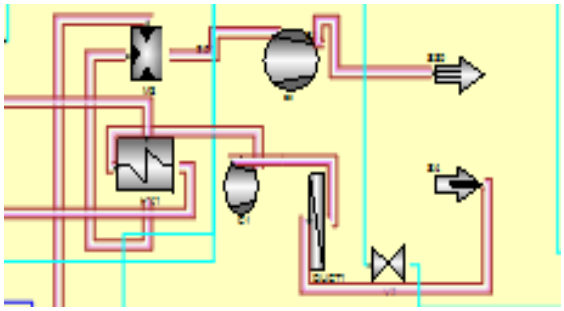
Εικόνα 3.5*: Προθερμαντήρες μετά τον απαεριωτή*

Το ρεύμα ατμού αφού διέλθει από όλους τους στροβίλους οδηγείται στον συμπυκνωτή, CND, για την συμπύκνωσή του με εισερχόμενο νερό ψύξης στους 15°C και πίεση λειτουργίας 0,06 bar.



Εικόνα 3.6: *Συμπυκνωτής*

Τέλος ο εισερχόμενος, στο λέβητα, αέρας αρχικά διέρχεται από έναν εναλλάκτη θερμότητας από τον οποίο επίσης διέρχονται τα εξερχόμενα καυσαέρια πριν αποβληθούν στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 3.7: *Είσοδος και έξοδος αέρα/καυσαερίων*

3.2 Προσομοίωση λειτουργίας για διαφορετικές συστάσεις καυσίμου.

Όπως έχει προαναφερθεί μελετάται η καύση λιγνίτη και SRF. Συγκεκριμένα εξετάζονται 2 βασικά σενάρια.

Σενάριο Α

Μελετάται η καύση λιγνίτη τύπου Φλώρινας θερμογόνου ικανότητας **7955 kJ/kg** είτε μόνος του είτε σε συνδυασμό με SRF θερμογόνου ικανότητας **14750 kJ/kg**. Πιο αναλυτικά εξετάζεται και παρουσιάζεται η καύση SRF και λιγνίτη σε 4 επίπεδα συμμετοχής του πρώτου στην παραγωγή θερμικής ισχύος.

- 0%
- 5%
- 10%
- 15%

Οι συστάσεις του λιγνίτη και του SRF παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

	C	H	N	O	S	Ash	Water
Λιγνίτης	22.6	2.1	0.37	9.88	0.94	27.4	36.8
SRF	30.29	5.34	4.39	21.79	1.17	30.95	6.08

Πίνακας 3.1: *Συστάσεις (%) λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και SRF.*

Σενάριο Β

Αντίστοιχα με το παραπάνω σενάριο, μελετάται πάλι η συνδυασμένη καύση SRF και λιγνίτη για τα ίδια επίπεδα συμμετοχής του στη θερμική ισχύ. Ακολουθείται ο ίδιος συλλογισμός και διαδικασίες, καθώς και ο τρόπος λήψης και παρουσίασης δεδομένων με τη διαφορά ότι τώρα η μελέτη αφορά λιγνίτη τύπου Καρδιάς θερμογόνου ικανότητας **5443 kJ/kg** με σύσταση:

	C	H	N	O	S	Ash	Water
Λιγνίτης	17.82	1.44	0.6	8.29	0.45	16	53.2

Πίνακας 3.2: *Σύσταση (%) λιγνίτη LHV=5443KJ/kg.*

Σενάριο Α

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, στο σενάριο αυτό καίγεται λιγνίτης θερμογόνου 7955 kJ/kg για τις 4 υποπεριπτώσεις συμμετοχής SRF.

- Στην πρώτη υποπερίπτωση δεν υπάρχει συνδυασμένη καύση λιγνίτη και SRF. Εισάγοντας λοιπόν στο πρόγραμμα, τα δεδομένα του καυσίμου με τον τρόπο που περιγράφτηκε στην εισαγωγική ενότητα για το GateCycle, (διπλό κλικ στο εικονίδιο του λέβητα -> inputs) και εκτελώντας το πρόγραμμα, προκύπτουν τα αποτελέσματα όπως αυτά φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

***Εικόνα 3.8**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 0% SRF*

Αναλυτικά λοιπόν, η ισχύς της εγκατάστασης είναι **P=295,68 MW** και ο βαθμός απόδοσης **η=36,8%.** Επίσης η παροχή καυσίμου είναι **101 kg/s** και η ατμοπαραγωγή του λέβητα **256,23 kg/s.**

Πρέπει να σημειωθεί ότι θα μπορούσε να γίνει παράθεση όλων των αποτελεσμάτων του κύκλου σε κάθε σημείο του, και σε κάθε εξοπλισμό. Κάτι τέτοιο όμως δεν κρίνεται σκόπιμο, καθώς τα αποτελέσματα που ενδιαφέρουν για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την καύση SRF και λιγνίτη, είτε έχουν ήδη αναφερθεί είτε παρουσιάζονται στον αμέσως επόμενο πίνακα. Τα αναλυτικά αποτελέσματα και δεδομένα για κάθε εξοπλισμό του μοντέλου παρατίθενται στο τέλος της εργασίας αυτής στην ενότητα ***ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.***

	ST7	**ST4**	**CND**
ṁ (kg/s)	256,23	194,83	194,83
P (bar)	293,96	8	0,06
T (^{0}C)	543	333,5	36,18
H (kJ/kg)	3259,74	3127,78	2048,81

***Πίνακας 3.3:** Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 0% SRF*

Παρατηρείται η μείωση της παροχής ατμού στη διαδρομή του ως τον συμπυκνωτή εξαιτίας των διαφόρων απομαστεύσεων, όπως επίσης και η σταδιακή μείωση της πίεσης και θερμοκρασίας, λόγω της αποτόνωσης στους διαδοχικούς ατμοστροβίλους.

- Στη δεύτερη υποπερίπτωση εξετάζεται χρήση SRF που αντιστοιχεί στο 5% της παραγωγής θερμικής ενέργειας.

Η συνδυασμένη κατωτέρα θερμογόνος ικανότητα του καυσίμου (LHV) προκύπτει από τον εξής μαθηματικό τύπο:

$$\frac{1}{LHV_{O\Lambda}} = \frac{0,95}{LHV_{\Lambda}} + \frac{0,05}{LHV_{SRF}}$$

Άρα **LHV=8142,5 KJ/kg**

Ο αντικειμενικός σκοπός της συνδυασμένης καύσης είναι πως είναι εφικτό να επιτύχουμε την ίδια ηλεκτρική ισχύ, μειώνοντας τη συνολική παροχή καυσίμου, λόγω αύξησης της θερμογόνου ικανότητας. Μεταφέροντας το συλλογισμό αυτό στο περιβάλλον GateCycle εφαρμόστηκαν υποθέσεις για την κατανάλωση καυσίμου προκειμένου η ισχύς να διατηρηθεί στα επίπεδα της προηγούμενης υποπερίπτωσης. Δηλαδή κοντά στα **295,68 MW.** Πιο αναλυτικά εκτελέστηκαν διαδοχικά τρεξίματα παίρνοντας ως αρχική τιμή για την παροχή καυσίμου το **101kg/s** και μειώνοντας τη παροχή **0,1kg/s** ανά επανάληψη. Προκύπτει ότι **ṁ=98,3 kg/s.** Δηλαδή μείωση κατά **2,5%** σε σχέση με την τιμή της προηγούμενης περίπτωσης. Η εικόνα που προέκυψε από το GateCycle και αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη παροχή είναι:

***Εικόνα 3.9**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 5% SRF*

P=295.21 MW η=36.88%

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	256,69	195,23	195,23
P (bar)	294,47	8	0,06
T (^oC)	543	332,3	36,21
H (kJ/kg)	3259,5	3125,25	2047,62

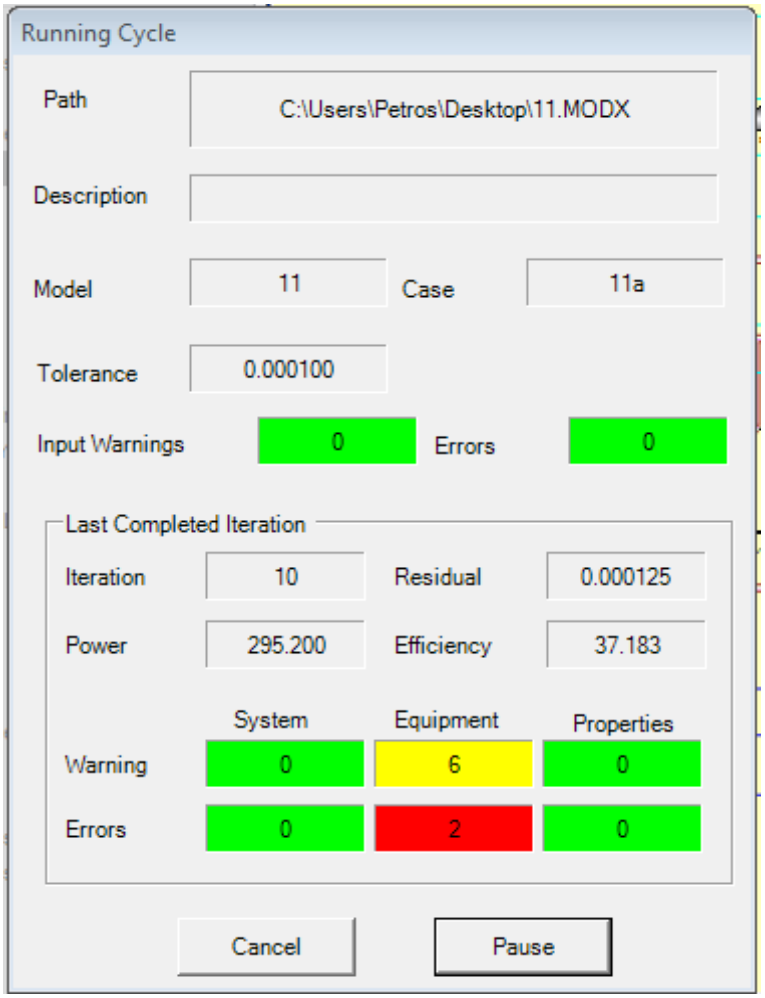
***Πίνακας 3.4:** Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 5% SRF*

- Αντίστοιχα στην περίπτωση για 10% της θερμικής ενέργειας εφαρμόζοντας τον προηγούμενο μαθηματικό τύπο προκύπτει η κατωτέρα θερμογόνος ικανότητα:

LHV=8339,2 kJ/kg

Ακολουθώντας πάλι επαναληπτική διαδικασία κρατώντας την ισχύ σταθερή προκύπτει ότι η νέα κατανάλωση συνδυασμένου καυσίμου είναι **ṁ=95,6 kg/s.** Σημειώθηκε δηλαδή μείωση κατά **5,34%.**

P=295,2 MW η=37,18%



***Εικόνα 3.10**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 10% SRF*

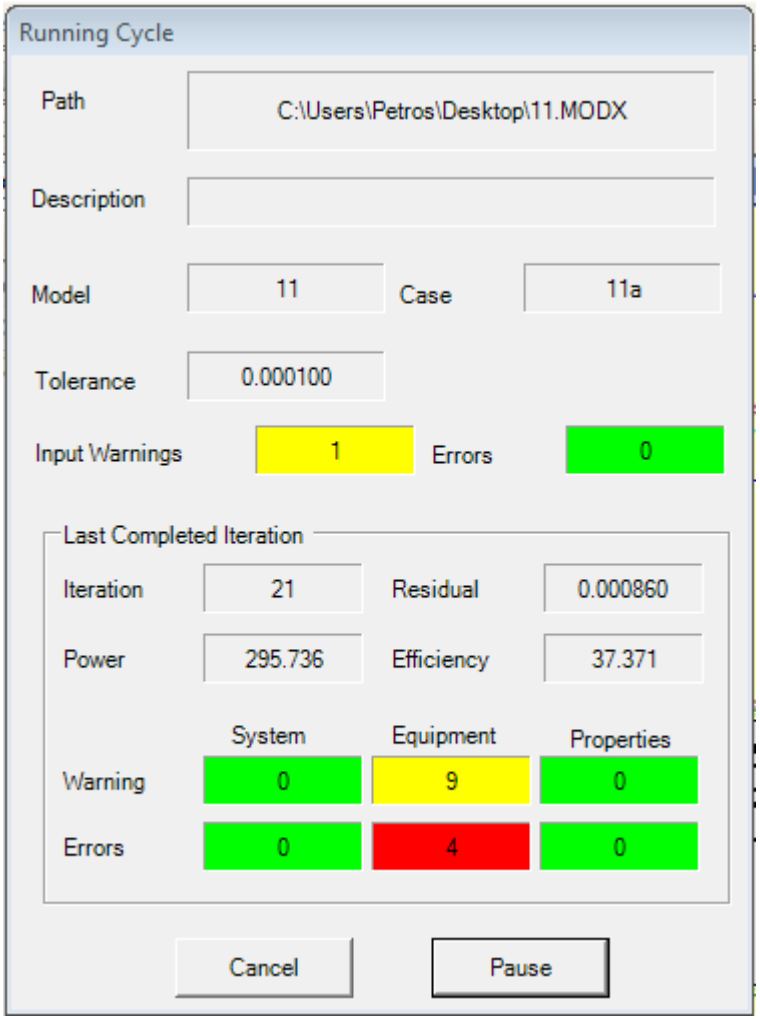
	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	256,67	195,25	195,25
P (bar)	294,45	8	0,06
T (°C)	543	330,52	36,19
H (kJ/kg)	3259,52	3121,54	2045,95

Πίνακας 3.5: *Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 10% SRF*

- Για SRF στο 15% **LHV=8545,5 kJ/kg**

Διατηρώντας την ισχύ σε σταθερά επίπεδα παίρνω **ṁ=93 kg/s** (**-7,9%**)

P=295,73 MW **η=37,37%**



Εικόνα 3.11*: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 15% SRF*

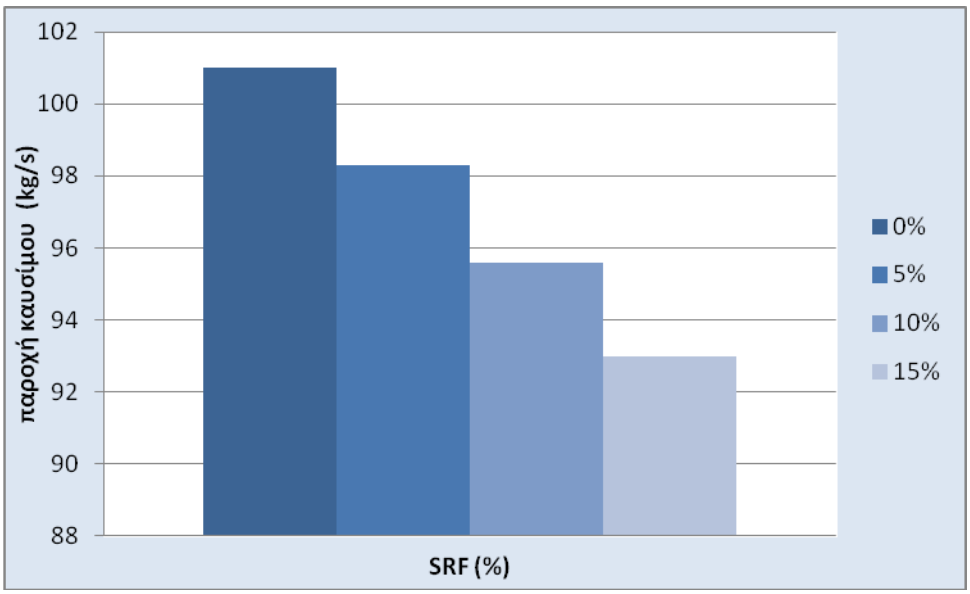
	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	257,1	195,55	195,55
P (bar)	294,88	8	0,06
T (^oC)	543	328,86	36,21
H (kJ/kg)	3258,98	3118,03	2044,32

Πίνακας 3.6: *Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 15% SRF*

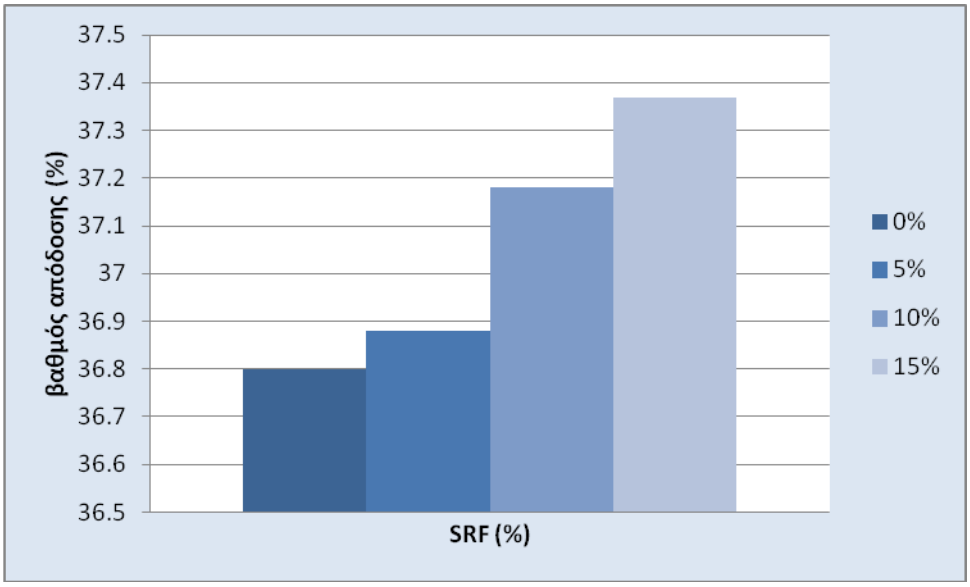
Πίνακας και διαγράμματα παροχής καυσίμου και βαθμού απόδοσης

Όπως αντιλαμβάνεται κάποιος παρατηρώντας τα αποτελέσματα των προηγούμενων δοκιμών, υπάρχει διακριτή διαφορά όσον αφορά τη συνολική παροχή καυσίμου, και του βαθμού απόδοσης ανάμεσα στις διάφορες υποπεριπτώσεις.

Οι διαφορές αυτές αντικατοπτρίζονται στα παρακάτω διαγράμματα παροχής (m) και β. απόδοσης (n) σε σχέση με τα επίπεδα συμμετοχής του SRF στην καύση.



Διάγραμμα 3.1: *Διάγραμμα παροχής καυσίμου ανά επίπεδο κατάναλωσης SRF*



Διάγραμμα 3.2: *Διάγραμμα βαθμού απόδοσης ανά επίπεδο κατάναλωσης SRF*

Αντίστοιχα ο πίνακας στον οποίο συμπυκνώνονται τα αποτελέσματα του σεναρίου Α είναι ο:

SRF (%)	P (MW)	η (%)	$\dot{m}_f$ (kg/s)
0	295,68	36,8	101
5	295,21	36,88	98,3
10	295,2	37,18	95,6
15	295,73	37,37	93

Πίνακας 3.7: *Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ισχύος, παροχής και βαθμού απόδοσης, για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg*

Σενάριο Β

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η χρήση λιγνίτη θερμογόνου ικανότητας **5443 KJ/kg.** Όπως και στο προηγούμενο σενάριο, έτσι κι εδώ παίρνουμε τέσσερις υποπεριπτώσεις για το SRF (0,5,10,15%), ενώ ισχύει η ίδια παραδοχή ότι το επιθυμητό ποσό παραγόμενης ισχύος είναι σταθερό. Αντιστοίχως η παροχή και ο βαθμός απόδοσης μεταβάλλονται, ενώ οι διαδικασίες άντλησης αποτελεσμάτων διαμέσου GateCycle είναι ίδιες με αυτές του σεναρίου Α.

Παρουσιάζονται επιγραμματικά τα αποτελέσματα για τις τέσσερις υποπεριπτώσεις και τα αντίστοιχα διαγράμματα παροχής και βαθμού απόδοσης:

- Για SRF στο 0%

***Εικόνα 3.12**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 0% SRF*

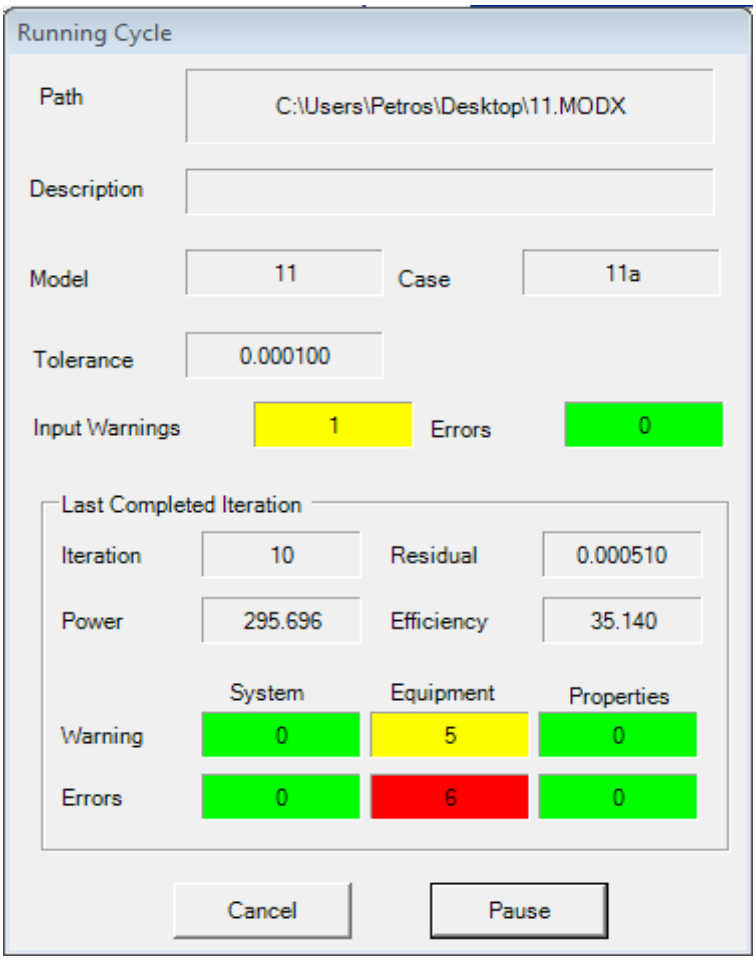
P=295, 77 MW η=34,96% ṁ=155,5 kg/s

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	258,06	199,61	202,83
P (bar)	295,86	8,2	0,06
T (^oC)	543	333,47	36,67
H (kJ/kg)	3257,73	3127,31	2047,88

***Πίνακας 3.8:** Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 0% SRF*

- Για SRF στο 5% **LHV=5620,3 kJ/kg**

P=295, 69 MW η=35, 14% ṁ=149,8 kg/s



***Εικόνα 3.12**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 5% SRF*

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	259	200,22	200,22
P (bar)	296,82	8,22	0,06
T (^oC)	543	333,46	36,72
H (kJ/kg)	3256,53	3127,23	2047,78

***Πίνακας 3.9:** Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 5% SRF*

- SRF στο 10% **LHV=5809,5 kJ/kg**

P=295,76 MW η=35,71% ṁ=142,4 kg/s

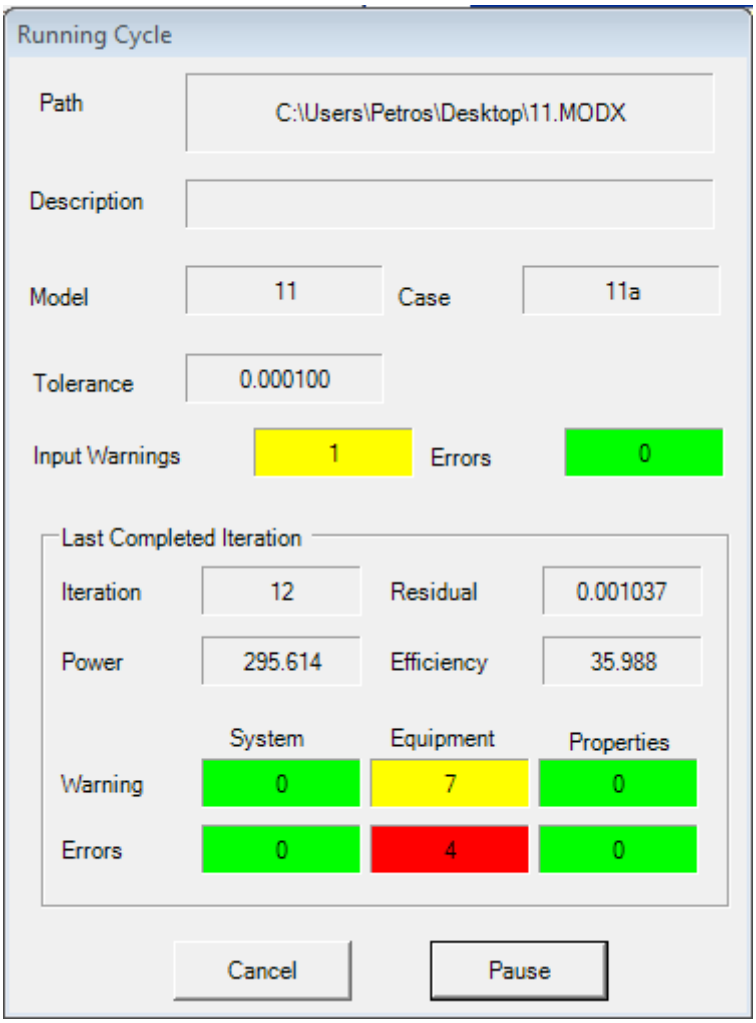
***Εικόνα 3.13**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 10% SRF*

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	257,23	198,03	198,03
P (bar)	295,02	8,13	0,06
T (^oC)	543	333,51	36,51
H (kJ/kg)	3258,8	3127,53	2048,23

***Πίνακας 3.10:** Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 10% SRF*

- SRF στο 15% **LHV=6012 kJ/kg**

P=295,61 MW η=35,98% ṁ=136,6 kg/s

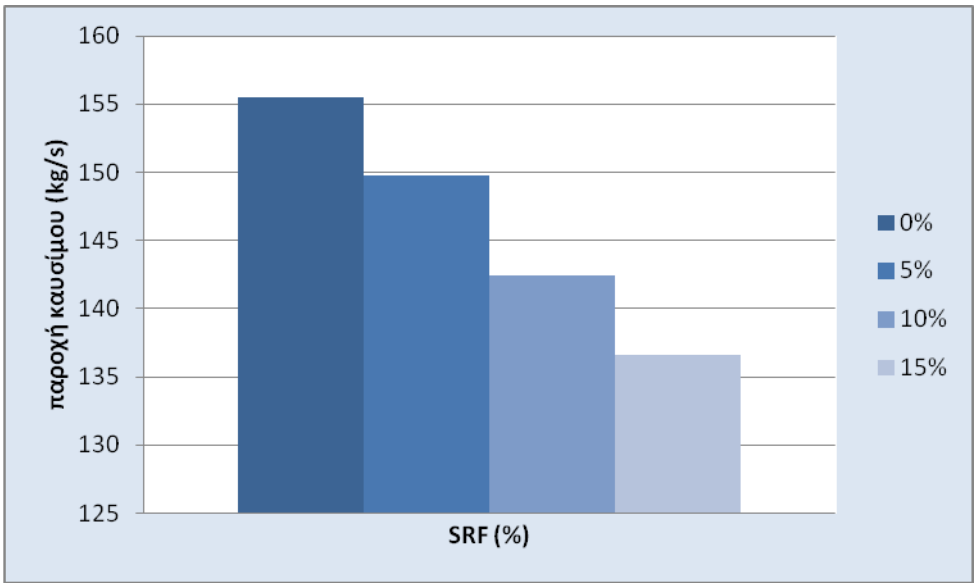


***Εικόνα 3.14**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 15% SRF*

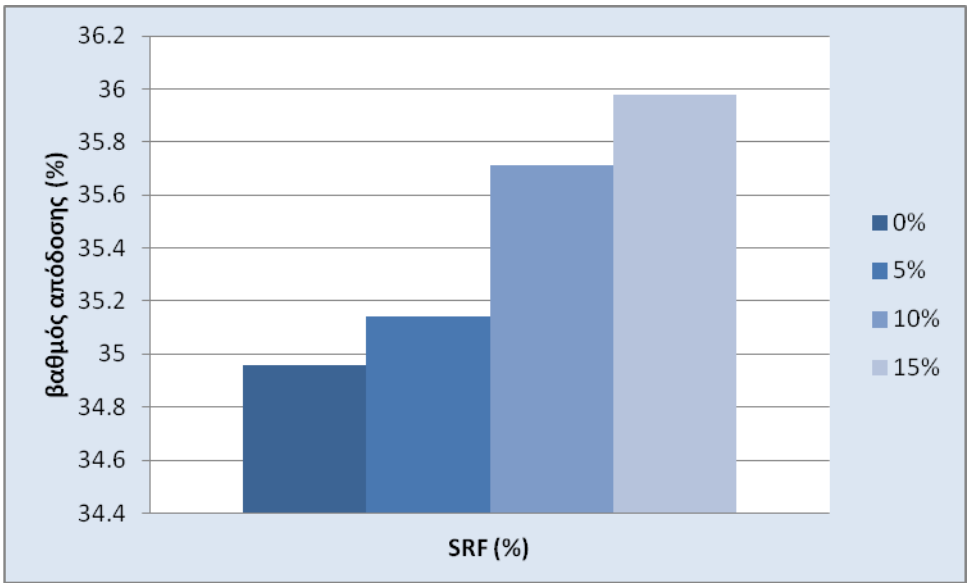
	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	257,88	198,23	198,23
P (bar)	295,67	8,14	0,06
T (^oC)	543	333,51	36,52
H (kJ/kg)	3257,99	3127,51	2048,19

***Πίνακας 3.11:** Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 15% SRF*

Πίνακας και διαγράμματα παροχής καυσίμου και βαθμού απόδοσης



Διάγραμμα 3.3: *Διάγραμμα παροχής καυσίμου ανά επίπεδο κατάναλωσης SRF*



Διάγραμμα 3.4: *Διάγραμμα βαθμού απόδοσης ανά επίπεδο κατάναλωσης SRF*

SRF (%)	P (MW)	η (%)	$\dot{m}_f$ (kg/s)
0	295,77	34,96	155,5
5	295,69	35,14	149,8
10	295,76	35,71	142,4
15	295,61	35,98	136,6

Πίνακας 3.12: *Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ισχύος, παροχής και βαθμού απόδοσης, για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg*

3.3 Δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών

Ένας από τους κύριους στόχους της χρήσης SRF σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) είναι η προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων καθώς τα αποθέματα, μεγάλα ή μικρά, είναι συγκεκριμένα, και πολλές φορές περιορισμένα.

Σε αυτή την εργασία λοιπόν έχει ενδιαφέρον να εξετασθεί πως επηρεάζει την κατανάλωση λιγνίτη η χρήση SRF, για διάφορα επίπεδα συμμετοχής στην παραγωγή θερμικής ενέργειας, κρατώντας σταθερή την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ.

Αντίστοιχα με την παράγραφο **3.2**, οι υπολογισμοί γίνονται και για τα δύο σενάρια (Α και Β) όπως αυτά περιγράφτηκαν:

Σενάριο Α (Λιγνίτης 7955 kJ/kg)

- Για 0% SRF όπως φαίνεται πιο πάνω η παροχή λιγνίτη είναι **101 kg/s**

Εκπομπές CO_2

Από το GateCycle προκύπτει ότι η κατά μάζα σύσταση CO_2 στα καυσαέρια παροχής 420,36 kg/s είναι 12,62%

Άρα $\dot{m}_{CO2}$**=53,04 kg/s**

Εκπομπές SO_2

Αντίστοιχα για το SO_2 το ποσοστό είναι **0,2%**

$\dot{m}_{SO2}$**=0,84 kg/s**

- Για 5% SRF και **ṁ=98,3 kg/s** προκύπτει για την θερμική ισχύ:

$$P_{\theta\varepsilon\rho\mu.} = \frac{P_{\eta\lambda}}{n}$$

$P_{\theta\varepsilon\rho\mu.}$ **=799,78 MW**

Αφού ο λιγνίτης συμμετέχει κατά 95%, παράγει **759,79 MW**, οπότε διαιρώντας με την θερμογόνο ικανότητά του προκύπτει η παροχή.

$\dot{m}_{\lambda\iota\gamma\nu}$=95,5 kg/s και **$\dot{m}_{SRF}$=2,8 kg/s**

CO_2 : $\dot{m}_{CO2}$=51,01 kg/s

Όσον αφορά την εκπομπή CO_2 από βιβλιογραφία προκύπτει ότι η κατά τη καύση SRF η κατά βάρος περιεκτικότητα του CO_2 που παράγεται είναι 18.5%. Άρα το πόσο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που αντιστοιχέι στην καύση SRF είναι :

$\dot{m}_{CO2}$ (SRF) = 2.8 * 0.185 = 0.518 kg/s

SO_2: $\dot{m}_{SO2}$=0,82 kg/s

- Για 10% SRF και **$\dot{m}$=95,6 kg/s**

$$P_{\theta\varepsilon\rho\mu} = 795{,}68\ MW$$

Άρα **$\dot{m}_{\lambda\iota\gamma\nu}$=90 kg/s** και **$\dot{m}_{SRF}$=5,6 kg/s**

CO_2: $\dot{m}_{CO2}$=49,6 kg/s

$\dot{m}_{CO2}$ (SRF) = 1.036 kg/s

SO_2: $\dot{m}_{SO2}$=0,79 kg/s

- Για 15% SRF και **$\dot{m}$=93 kg/s**

$$P_{\theta\varepsilon\rho\mu} = 793{,}88\ MW$$

$\dot{m}_{\lambda\iota\gamma\nu}$=84,8 kg/s και **$\dot{m}_{SRF}$=8,2 kg/s**

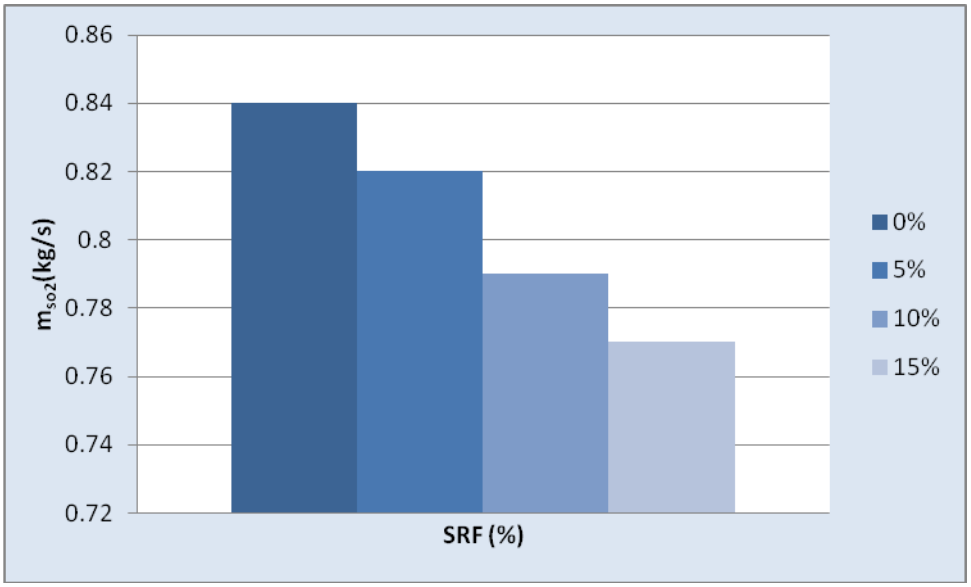
CO_2: $\dot{m}_{CO2}$=48,26 kg/s

$\dot{m}_{CO2}$ **(SRF) = 1.517 kg/s**

SO_2: $\dot{m}_{SO2}$**=0,77 kg/s**

Τα αντίστοιχα διαγράμματα που συνδέουν τις εκπομπές CO_2, SO_2 με τα επίπεδα κατανάλωσης SRF φαίνονται παρακάτω:

Διάγραμμα 3.5: *Διάγραμμα εκπομπών CO_2 ανά επίπεδα κατανάλωσης SRF και λιγνίτη 7955 KJ/kg*



Διάγραμμα 3.6: *Διάγραμμα εκπομπών SO_2 ανά επίπεδα κατανάλωσης SRF και λιγνίτη 7955 KJ/kg*

<u>Σενάριο Β (Λιγνίτης 5443 kJ/kg)</u>

- Για 0% SRF **$\dot{m}_{λιγν}$=155,5 kg/s**

CO_2: $\dot{m}_{CO2}$=61,44 kg/s

SO_2: $\dot{m}_{SO2}$=0,8 kg/s

- Για 5% SRF και **$\dot{m}$=149,8 kg/s**

$P_{θερμ}$=841,941 MW

$\dot{m}_{λιγν}$=146,9 kg/s και **$\dot{m}_{SRF}$=8,6 kg/s**

CO_2: $\dot{m}_{CO2}$=58,6 kg/s

$\dot{m}_{CO2}$ (SRF) = 1.591 kg/s

SO_2: $\dot{m}_{SO2}$=0,72 kg/s

- Για SRF 10% και **$\dot{m}$=142,4 kg/s**

$P_{θερμ}$=827,532 MW

$\dot{m}_{λιγν}$=136,8 kg/s και **$\dot{m}_{SRF}$=5,4 kg/s**

CO_2: $\dot{m}_{CO2}$=54,8 kg/s

$\dot{m}_{CO2}$ (SRF) = 0.999 kg/s

SO_2: $\dot{m}_{SO2}$=0,68 kg/s

- Για SRF 15% και **$\dot{m}$=136,6 kg/s**

$P_{θερμ}$=821,138 MW

$\dot{m}_{λιγν}$=128,2 kg/s και **$\dot{m}$=8,4 kg/s**

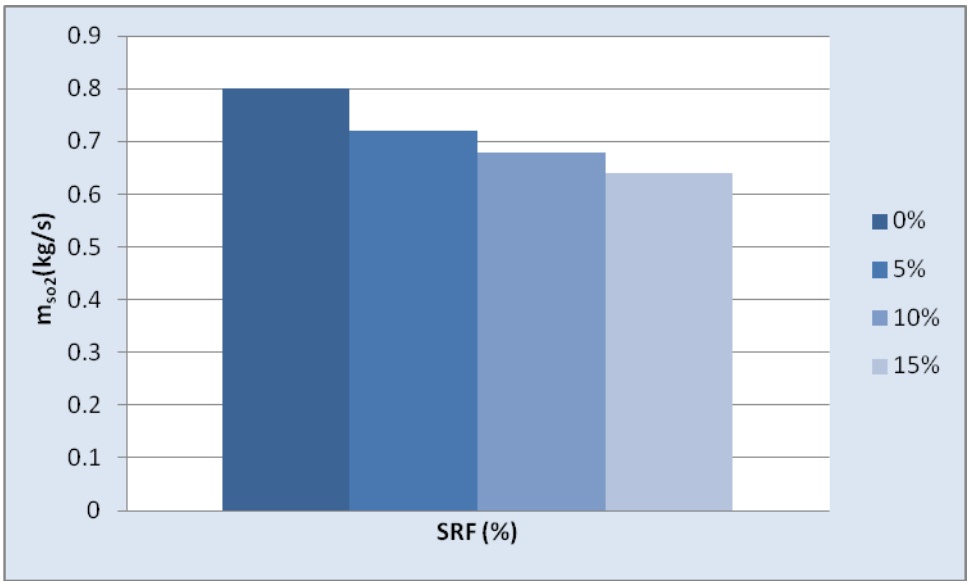
CO_2: $\dot{m}_{CO2}$=51,8 kg/s

$\dot{m}_{CO2}$ (SRF) = 1.554 kg/s

SO_2: $\dot{m}_{SO2}$=0,64 kg/s

Τα διαγράμματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

Διάγραμμα 3.7: *Διάγραμμα εκπομπών CO_2 ανά επίπεδα κατανάλωσης SRF και λιγνίτη 5443 KJ/kg*



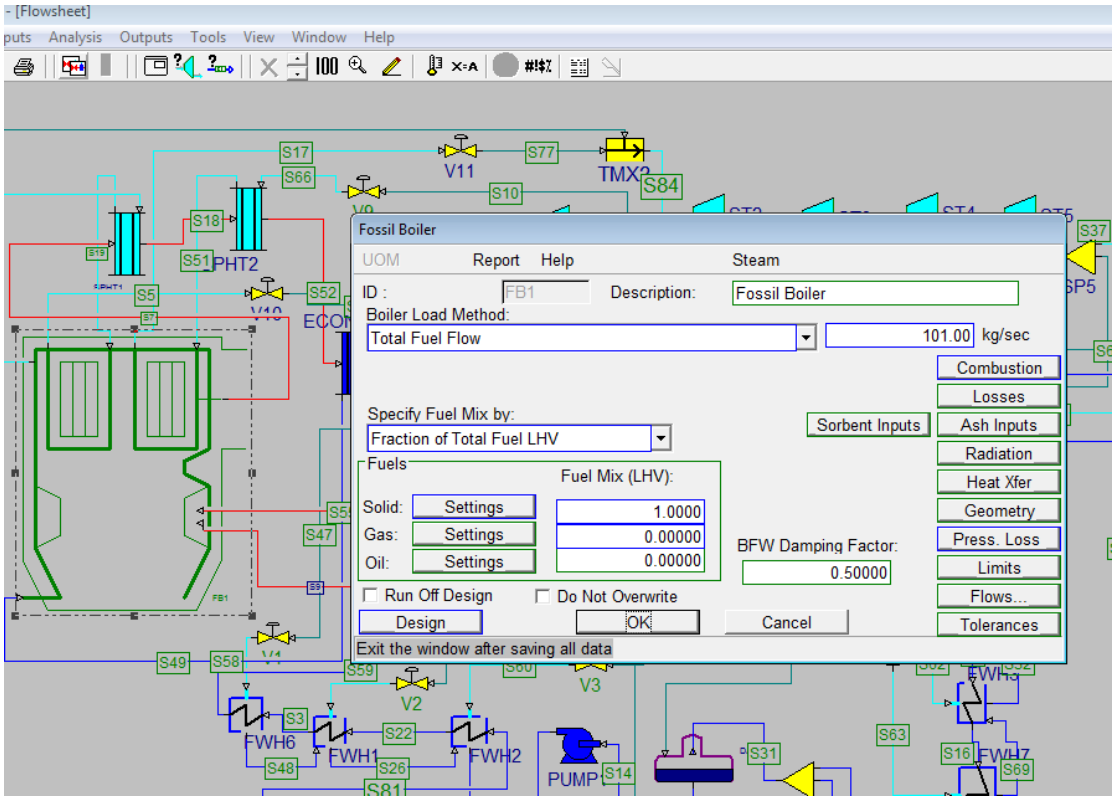
Διάγραμμα 3.8: *Διάγραμμα εκπομπών SO_2 ανά επίπεδα κατανάλωσης SRF και λιγνίτη 5443 KJ/kg*

3.4 Προσομοίωση στο GateCycle 5.51

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου το μοντέλο σχεδιάστηκε αρχικά στην έκδοση 5.51 πριν μεταφερθεί στην 6.1.

Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι η βασική διαφορά των δύο εκδόσεων σχετίζεται με το interface του λογισμικού, είτε αυτό έχει να κάνει με τη βασική μορφή του εκάστοτε μοντέλου, είτε με τον τρόπο εισαγωγής των δεδομένων. Για παράδειγμα στην έκδοση 5.51 τα δεδομένα εισάγονται με τον εξής τρόπο: Με διπλό ¨κλικ¨ σε ένα από τα equipments του μοντέλου αναδύεται ένα pop-up window, όπου ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί τα inputs.

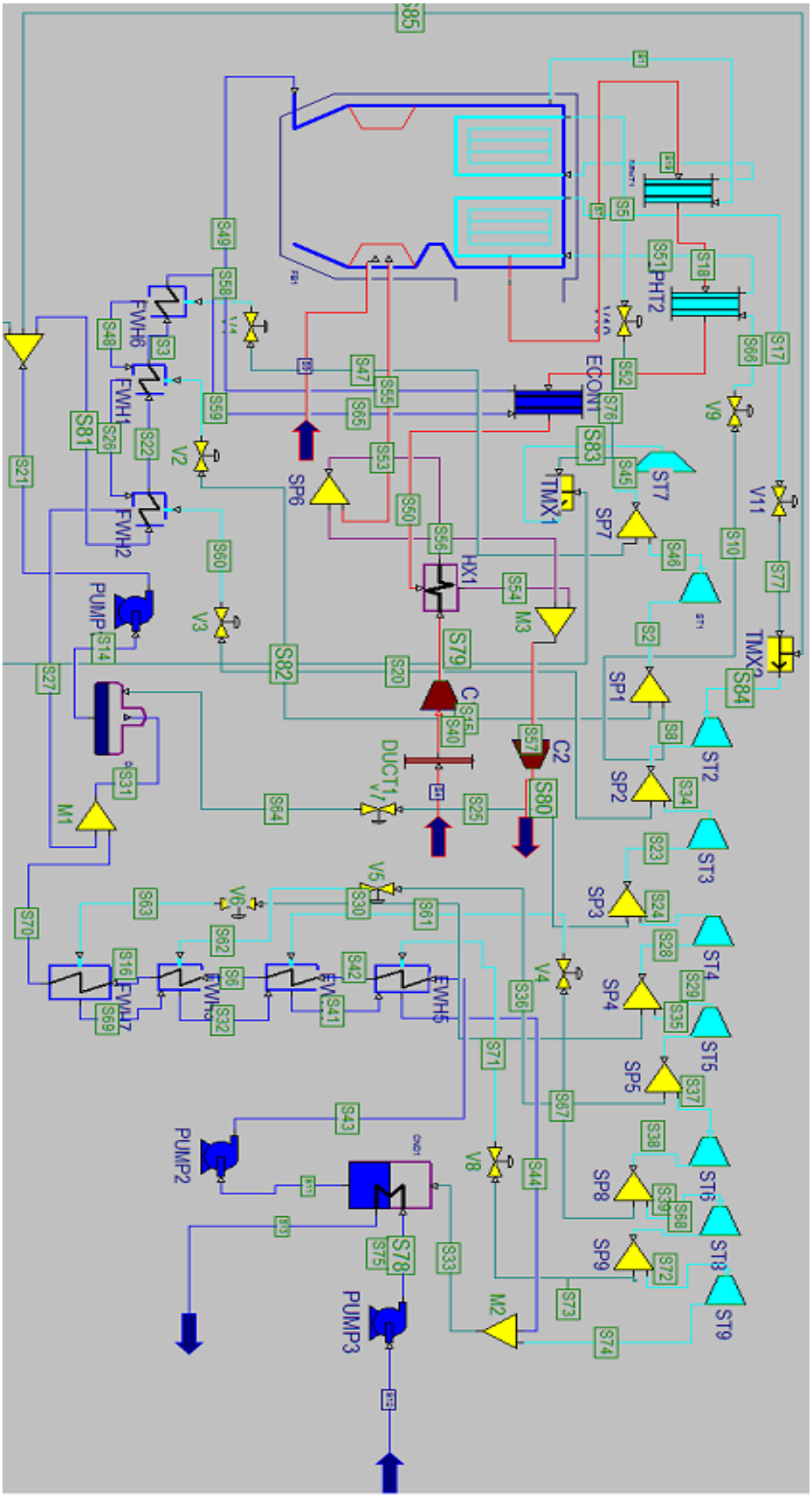
Η διαδικασία αυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.15: *Εισαγωγή δεδομένων στο GateCycle 5.51*

Κατά τα άλλα οι λοιπές λειτουργίες π.χ. run cycle, stream outputs, error file κ.τ.λ. εκτελούνται όπως στην έκδοση 6.1. (Όλα αυτά έχουν ήδη παρουσιασθεί στο κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας).

Το μοντέλο όπως σχεδιάστηκε στο Gatecycle 5.51 φαίνεται στην επόμενη σελίδα…

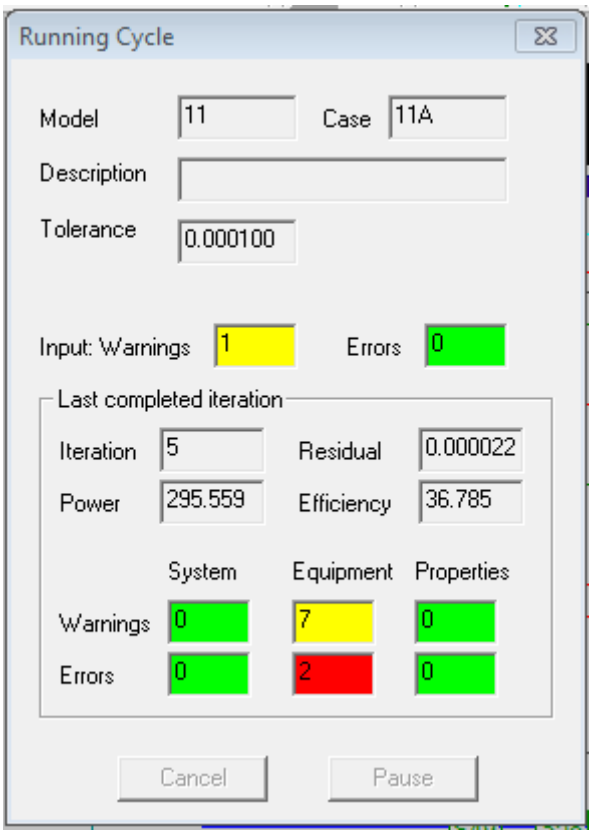


Εικόνα 3.16: *Μοντέλο ΑΗΣ στο GateCycle 5.51*

Σε αυτή την παράγραφο όπως και στην **3.2** μελετώνται τα ίδια σενάρια και εκτελούνται τα ίδια τρεξίματα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται εν συντομία ως εξής:

Σενάριο Α Λιγνίτης 7955 kJ/kg

- SRF 0% **ṁ=101 kg/s**



***Εικόνα 3.17**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 5% SRF*

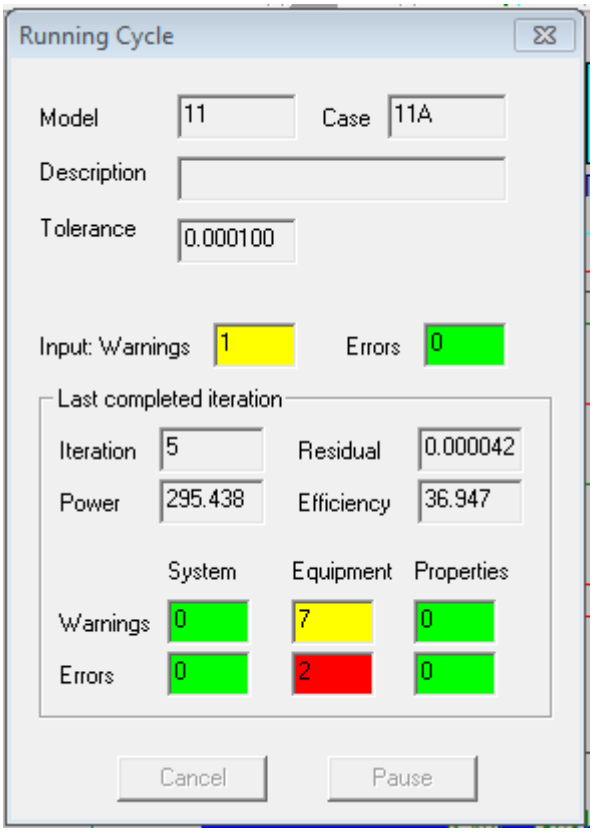
P=295,56 MW **η=36,79%**

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	256,14	195,02	195,02
P (bar)	293,94	8	0,06
T (^oC)	543	333,61	36,21
H (kJ/kg)	3259,8	3127,97	2048,9

***Πίνακας 3.13:** Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 0% SRF*

- Για SRF 5% => **LHV=8142,5 kJ/kg**

Διατηρώντας σταθερή ισχύ προκύπτει **ṁ=98,3 kg/s**



***Εικόνα 3.18**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 5% SRF*

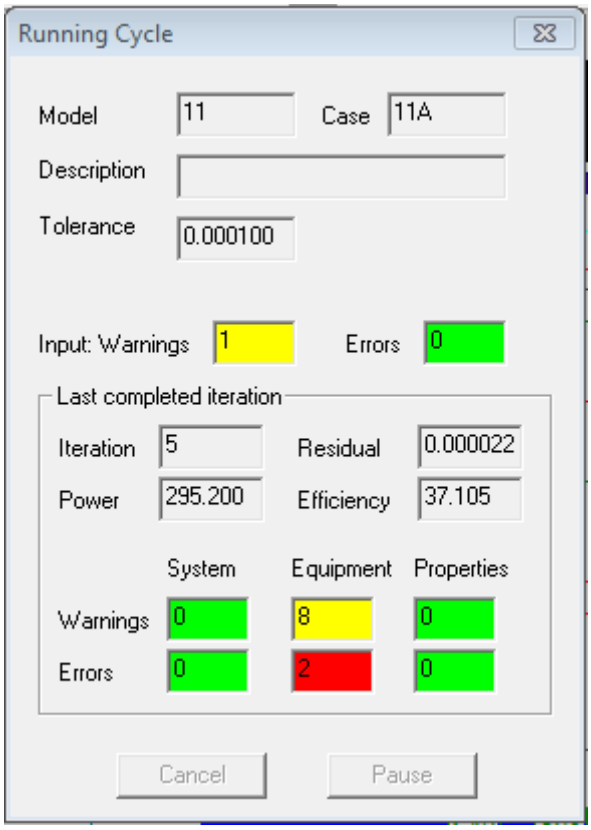
P=295,44 MW **η=36,94%**

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	256,37	195,16	195,16
P (bar)	294,22	8	0,06
T (°C)	543	332,14	36,21
H (kJ/kg)	3259,82	3124,91	2047,52

***Πίνακας 3.14:** Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 5% SRF*

- **SRF 10% LHV=8339,2 kJ/kg**

Για **ṁ=95,6 kg/s** προκύπτει:



***Εικόνα 3.19**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 10% SRF*

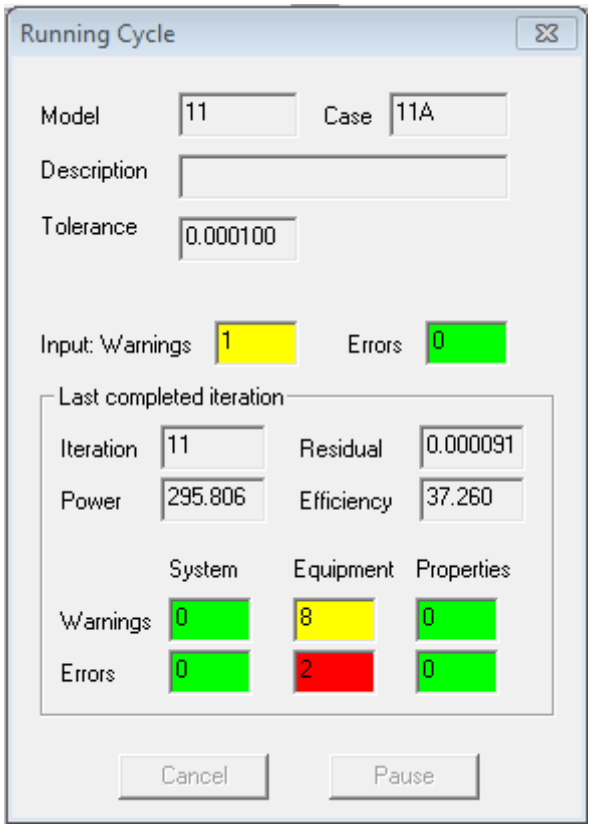
P=295,2 MW η=37,1%

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	256,6	195,29	195,29
P (bar)	294,45	8	0,06
T (^oC)	543	330,47	36,21
H (kJ/kg)	3259,53	3121,42	2045,91

***Πίνακας 3.15:** Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 10% SRF*

- **SRF 15%** **LHV=8545,5 kJ/kg**

Για **ṁ=93 kg/s**



***Εικόνα 3.20**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 15% SRF*

P=295,8 MW **η=37,26%**

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	257,03	195,6	195,6
P (bar)	294,89	8	0,06
T (^oC)	543	328,82	36,22
H (kJ/kg)	3258,97	3117,94	2044,3

***Πίνακας 3.16:** Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg και 15% SRF*

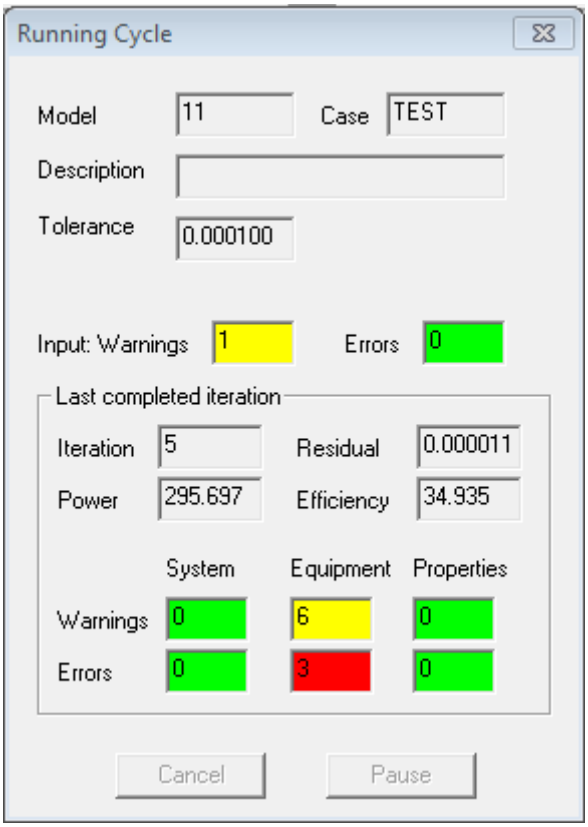
Ο Πίνακας στον οποίο φαίνονται τα βασικά αποτελέσματα των ανωτέρω τρεξιμάτων όσον αφορά την ισχύ, βαθμό απόδοσης και συνολική παροχή καυσίμου είναι ο εξής:

SRF (%)	P (MW)	η (%)	$\dot{m}_f$ (kg/s)
0	295,56	36,79	101
5	295,44	36,94	98
10	295,2	37,1	95,6
15	295,8	37,26	93

Πίνακας 3.17: *Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ισχύος, παροχής και βαθμού απόδοσης, για λιγνίτη LHV=7955KJ/kg*

Λιγνίτης 5443 kJ/kg

- **SRF 0% $\dot{m}$=155,5 kg/s**



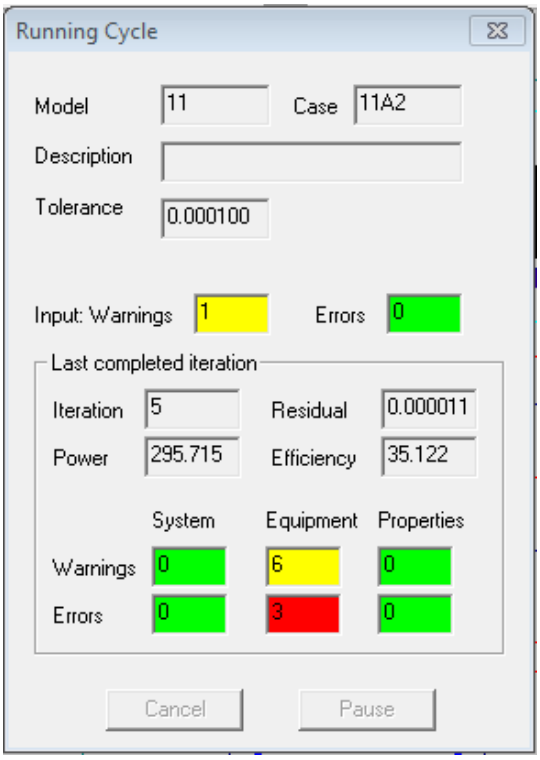
Εικόνα 3.21*: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 0% SRF*

P=295,69 MW η=34,93%

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	258,12	199,59	199,59
P (bar)	296,02	8,2	0,06
T (°C)	543	333,45	36,67
H (kJ/kg)	3257,55	3127,26	2047,88

Πίνακας 3.18: *Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 0% SRF*

- **SRF 5% LHV=5620,3 kJ/kg ṁ=149,8 kg/s**



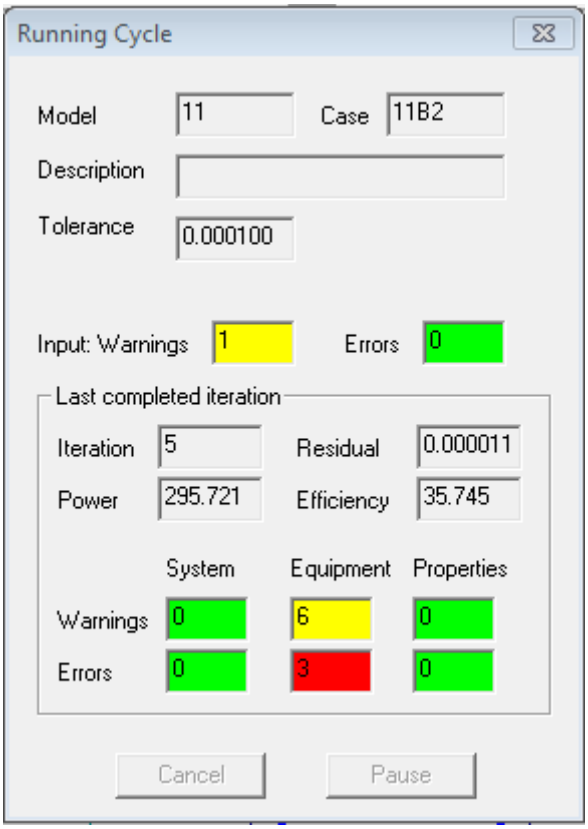
Εικόνα 3.22*: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 5% SRF*

P=295,71 MW η=35,12%

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	258,67	200,31	200,31
P (bar)	296,57	8,23	0,06
T (°C)	543	333,72	36,75
H (kJ/kg)	3256,86	3127,76	2048,01

Πίνακας 3.19: *Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 5% SRF*

- **SRF 10% LHV=5809.5 kJ/kg ṁ=142,4 kg/s**



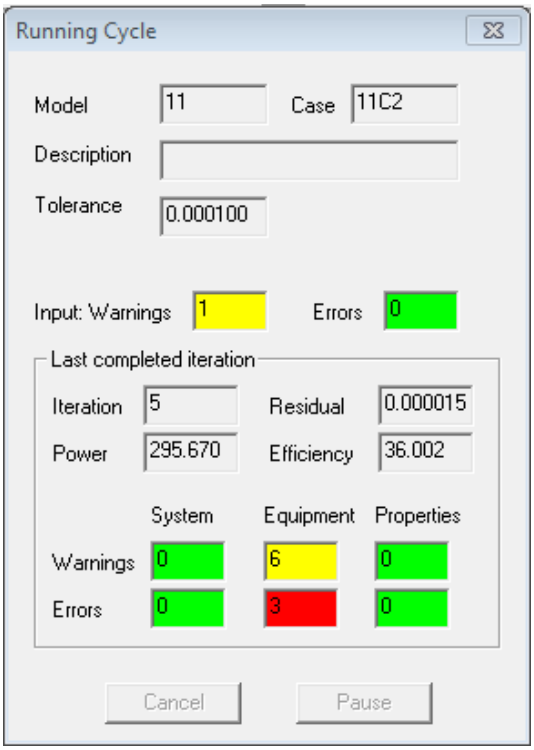
Εικόνα 3.23*: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 10% SRF*

P=295,72 MW η=35,74%

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	257,4	197,87	197,87
P (bar)	295,28	8,13	0,06
T (°C)	543	333,48	36,5
H (kJ/kg)	3258,48	3127,48	2048,21

Πίνακας 3.20: *Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 10% SRF*

- **SRF 15%** **LHV=6012 kJ/kg** **ṁ=136,6kg/s**



***Εικόνα 3.24**: Αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 15% SRF*

P=295,67 MW **η=36%**

	ST7	ST4	CND
ṁ (kg/s)	257,87	198,13	198,13
P (bar)	295,75	8,14	0,06
T (^oC)	543	333,76	36,53
H (kJ/kg)	3257,89	3128,03	2048,41

***Πίνακας 3.21:** Βασικά αποτελέσματα κύκλου για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg και 15% SRF*

Τα βασικά αποτελέσματα της ισχύος, του βαθμού απόδοσης και της συνολικής παροχής καυσίμου σε σχέση με την κατανάλωση SRF παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

SRF (%)	P (MW)	η (%)	$\dot{m}_f$ (kg/s)
0	295,69	34,93	155,5
5	295,71	35,12	149,8
10	295,72	35,74	142,4
15	295,67	36	136,6

Πίνακας 3.22: *Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ισχύος, παροχής και βαθμού απόδοσης, για λιγνίτη LHV=5443KJ/kg*

3.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων GateCycle 6.1 και 5.51

Ο λόγος που σε αυτό το κεφάλαιο έγινε επεξεργασία των δύο ίδιων σεναρίων τόσο στη νέα έκδοση του GateCycle όσο και στην παλιά, είναι αφενός να διαπιστωθεί αν σημειώνονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο εκδόσεων, και αφετέρου, αν όντως παρατηρηθούν τέτοιες διαφορές, να γίνει μια εκτίμηση όσον αφορά το που οφείλονται. Παρακάτω παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα των παραγράφων **3.2** και **3.4**:

SRF 0% ṁ=101kg/s LHV=7955kJ/kg	6.1	5.51	Διαφορά (%)
Power (MW)	295,68	295,56	0,04
Efficiency (%)	36,8	36,79	0,027
ST7			
ṁ (kg/s)	256,23	256,14	0,035
P (bar)	293,96	293,94	0,006
T (^oC)	543	543	0
H (kJ/kg)	3259,74	3259,8	0,002
ST4			
ṁ (kg/s)	194,83	195,02	0,097
P (bar)	8	8	0
T (^oC)	333,5	333,61	0,032
H (kJ/kg)	3127,78	3127,97	0,006
CND			
ṁ (kg/s)	194,83	195,02	0,097
P (bar)	0,06	0,06	0
T (^oC)	36,18	36,21	0,082
H (kJ/kg)	2048,81	2048,9	0,004

Πίνακας 3.23: *Σύγκριση τιμών για 0% SRF*

SRF 5% ṁ=98,3kg/s LHV=8142,5kJ/kg	**6.1**	**5.51**	**Διαφορά (%)**
Power (MW)	295,21	295,44	0,077
Efficiency (%)	36,88	36,94	0,16
ST7			
ṁ (kg/s)	256,69	256,37	0,12
P (bar)	294,47	294,22	0,084
T (^oC)	543	543	0
H (kJ/kg)	3259,5	3259,82	0,009
ST4			
ṁ (kg/s)	195,23	195,16	0,035
P (bar)	8	8	0
T (^oC)	332,3	332,14	0,048
H (kJ/kg)	3125,25	3124,91	0,01
CND			
ṁ (kg/s)	195,23	195,16	0,035
P (bar)	0,06	0,06	0
T (^oC)	36,21	36,21	0
H (kJ/kg)	2047,62	2047,52	0,004

Πίνακας 3.24: *Σύγκριση τιμών για 5% SRF*

SRF 10% ṁ=142,4kg/s LHV=5809,5kJ/kg	6.1	5.51	Διαφορά (%)
Power (MW)	295,76	295,72	0,013
Efficiency (%)	35,71	35,74	0,084
ST7			
ṁ (kg/s)	257,23	257,4	0,066
P (bar)	295,02	295,28	0,088
T (^oC)	543,00	543	0
H (kJ/kg)	3258,80	3258,48	0,009
ST4			
ṁ (kg/s)	198,03	197,87	0,08
P (bar)	8,13	8,13	0
T (^oC)	333,51	333,48	0,009
H (kJ/kg)	3127,53	3127,48	0,001
CND			
ṁ (kg/s)	198,03	197,87	0,08
P (bar)	0,06	0,06	0
T (^oC)	36,51	36,5	0,027
H (kJ/kg)	2048,23	2048,21	0

Πίνακας 3.25: *Σύγκριση τιμών για 10% SRF*

SRF 15% ṁ=136,6kg/s LHV=6012kJ/kg	6.1	5.51	Διαφορά (%)
Power (MW)	295,61	295,67	0,02
Efficiency (%)	35,98	36	0,05
ST7			
ṁ (kg/s)	257,88	257,87	0,004
P (bar)	295,67	295,75	0,027
T (^oC)	543	543	0
H (kJ/kg)	3257,99	3257,89	0,003
ST4			
ṁ (kg/s)	198,23	198,13	0,05
P (bar)	8,14	8,14	0
T (^oC)	333,51	333,76	0,07
H (kJ/kg)	3127,51	3128,03	0,016
CND			
ṁ (kg/s)	198,23	198,13	0,05
P (bar)	0,06	0,06	0
T (^oC)	36,52	36,53	0,027
H (kJ/kg)	2048,19	2048,41	0,01

Πίνακας 3.26: *Σύγκριση τιμών για 15% SRF*

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η μεγαλύτερη διαφορά στις τιμές είναι της τάξης του **0,16%** ενώ η μέση τιμή των αποκλίσεων είναι **0,032%.** Πρακτικά οι αποκλίσεις αυτές μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες και οφείλονται κυρίως στο διαφορετικό αριθμό επαναλήψεων (iterations) που εκτελεί ο κώδικας του gatecycle όταν «τρέχει» ένα μοντέλο. Επομένως η μεταφορά μοντέλων GateCycle από τη μία έκδοση στην άλλη μπορεί να γίνει με αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια. Πρέπει να σημειωθεί ότι από τα 8 «τρεξίματα» για κάθε μοντέλο επιλέχθηκαν για την οικονομία αυτής της εργασίας μόνο 4 ζευγάρια. Από τα αποτελέσματα αυτών μπορούμε με ασφάλεια να συμπεράνουμε ότι και για τα υπόλοιπα 4 τα αποτελέσματα θα είναι εξίσου παραπλήσια.

4 Οικονομική ανάλυση μοντέλου ΑΗΣ

4.1 Δεδομένα κόστους και εσόδων

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκε ένα μοντέλο ΑΗΣ, καθώς και τα αποτελέσματα που δίνει για διαφορετικές συστάσεις καυσίμου, σε συνδυασμό η μη, με SRF. Σε αυτήν την ενότητα γίνεται η οικονομική ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτών.

Πιο συγκεκριμένα γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης του κόστους ηλεκτροπαραγωγής (σταθερού και μεταβλητού) της μονάδας, καθώς επίσης και το κέρδος που επιφέρει η πώλησή της.

Όσον αφορά τα σταθερά κόστη, χρησιμοποιήθηκε ως σημείο αναφοράς, μια ονομαστική λιγνιτική μονάδα με καθαρή παραγόμενη ισχύ 564 MW. Έπειτα έγινε αναγωγή στην ισχύ που παράγει το μοντέλο του κεφαλαίου 3, η οποία διατηρήθηκε σταθερή και περίπου ίση με 295,7 MW σε όλα τα «τρεξίματα» που έγιναν.

	564 MW	295,7 MW
Αναλώσιμα (€/MWh)	0,6	0,35
Διαχείριση Αποβλήτων (€/MWh)	8	4,6
Κόστος Λειτ. Και Συντήρησης (€/MWh)	4,9	2,8

Πίνακας 4.1: *Δεδομένα σταθερού κόστους*

Στα μεταβλητά κόστη περιλαμβάνονται τα κόστη εκπομπών CO_2 και καυσίμου, δηλαδή λιγνίτη.

Το κόστος CO_2 είναι **7 €/tn**. Για τον λιγνίτη ορίζεται ένα επίπεδο εμπιστοσύνης μεταξύ **1 – 2 €/GJ**.

Τα έσοδα της εγκατάστασης απαρτίζονται από τα έσοδα πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας και από τη χρήση SRF. Συγκεκριμένα, θεωρείται ότι οι εταιρίες

διαχείρισης αποβλήτων καταβάλουν στη ΔΕΗ ένα αντίτιμο προκειμένου αυτή να χρησιμοποιήσει το SRF ως εναλλακτικό καύσιμο.

Η μέση τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι **80 €/MWh**, ενώ τα SRF κυμαίνονται μεταξύ 20 – 30 €/tn. Όσον αφορά την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, από τα δεδομένα της αγοράς ορίζονται δύο οριακές τιμές, **100 €/MWh** και **60 €/MWh,** οι οποίες εκφράζουν την ανώτατη και κατώτατη, αντίστοιχα, τιμή πώλησης και διαμορφώνοντας τον αωτέρω μέσο όρο.

Παρ' όλα αυτά στη παρούσα εργασία γίνονται διάφορες εκτιμήσεις για την τιμή τους. Στα διάφορα σενάρια θεωρούνται οι τιμές **0 –10 – 20 – 30 €/tn**. Η υπόθεση για μηδενική τιμή γίνεται για την περίπτωση που η εταιρία επεξεργασίας απορριμμάτων θεωρεί ότι το καύσιμο είναι υψηλής ποιότητας, ώστε να πληρώσει ένα ποσό στον χρήστη. Επίσης δείχνεται και η βιωσιμότητα της μονάδας για μηδενικά έσοδα από αυτή την πηγή.

Όσον αφορά την εγκατάσταση θεωρείται ότι έχει γίνει απόσβεση της αρχικής επένδυσης και ότι είναι κατάλληλα σχεδιασμένη για σύγκαυση λιγνίτη SRF, χωρίς να απαιτούνται επιπλέον έξοδα.

Συγκεντρωτικά όλα τα δεδομένα κόστους και εσόδων φαίνονται παρακάτω :

Αναλώσιμα	**0,35 €/MWh**
Διαχείριση Αποβλήτων	**4,6 €/MWh**
Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης	**2,8 €/MWh**
Κόστος Εκπομπών CO_2	**7 €/tn**
Κόστος Λιγνίτη	**1 – 2 €/GJ**
Μέση Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας	**80 €/MWh**
Τιμή SRF	**0, 10, 20, 30 €/tn**

Θεωρείται ότι η μονάδα λειτουργεί **7500** ώρες το χρόνο

Το ετήσιο κέρδος της μονάδας προκύπτει από τα ετήσια έσοδα πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, μείον τα ετήσια κόστη (σταθερά και μεταβλητά).

Τα έσοδα υπολογίζοντα ως εξής:

ΕΣΟΔΑ €/έτος = 80 €/MWh * 7500 h/έτος * P MW

Όπου P η ισχύς της εγκατάστασης

Για τα σταθερά κόστη ισχύει:

ΚΟΣΤΟΣ €/έτος = (0,35 + 4,6 + 2,8) €/MWh * 7500 h/έτος * P MW

Ενώ για τα μεταβλητά:

$$\textbf{ΚΟΣΤΟΣ}_{CO2}\ \textbf{€/έτος} = 3{,}6 * \dot{m}_{CO2}\ \textbf{kg/s} * 7\ \textbf{€/tn} * 7500\ \textbf{h/έτος}$$

$$\textbf{ΚΟΣΤΟΣ}_{ΚΑΥΣ}\ \textbf{€/έτος} = (3{,}6 * 7500 * P_{θερμ.\ λγν} * K_{λγν}) - (3{,}6 * 7500 * \dot{m}_{SRF} * K_{srf})$$

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει μια σημείωση όσον αφορά το κόστος εκομπών CO_2. Συγκεκριμένα στην ενότητα **3.3** του προηγούμενου κεφαλαίου έγινε λεπτομερής αναφορά στα δεδομένα εκπομπών της μονάδας. Μάλιστα υπολογίστηκε το μέγεθος του παραγώμενου CO_2 που οφείλεται αποκλειστικά στην καύση SRF. Στην οικονομική μελέτη αυτού του κεφαλαίου, το **50%** του παραγώμενου CO_2 από SRF δε θα ληφθεί υπόψη στους αντίστοιχους υπολογισμούς του κόστους, καθώς θεωρείται ότι είναι βιογενές και συνεπώς ανανεώσιμο.

Χρησιμοποιώντας αυτούς τους αριθμητικούς τύπους υπολογίζεται το ετήσιο κέρδος με βάση τα κόστη λιγνίτη και SRF και τις διάφορες παραμέτρους τους.

Επίσης για καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων, αποτυπώνονται σε αντίστοιχα διαγράμματα κέρδους ανά τιμή κόστους καυσίμου. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες.

4.2 Λιγνίτης θερμογόνου ικανότητας 7955 kJ/kg

100% καύση λιγνίτη

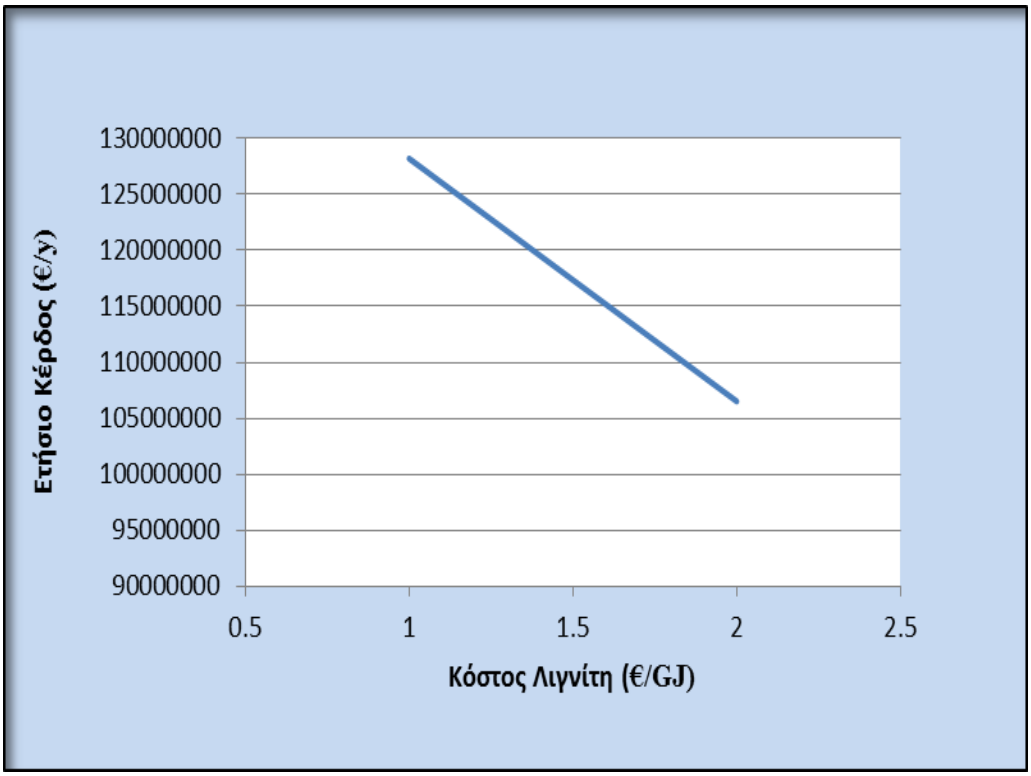
Από τις παραγράφους **3.2** και **3.3** προκύπτει

$$\dot{m}_{CO2}=53,04 \text{ kg/s}$$

$$P=295,68 \text{ MW}$$

$$\eta=36,8\%$$

Άρα υπολογίζοντας το κέρδος της εγκατάστασης για το διάστημα εμπιστοσύνης του κόστους λιγνίτη προκύπτει το εξής γράφημα:

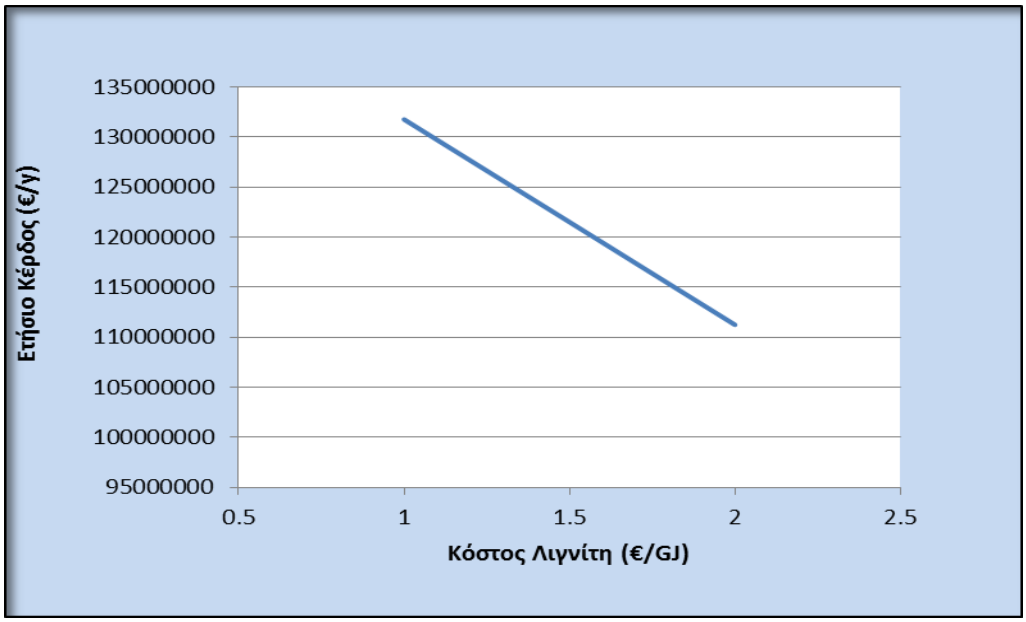


Διάγραμμα 4.1: *Διάγραμμα κέρδους για 0% SRF*

- **Τιμή SRF 30 €/tn**

SRF 5%: P=295,21 MW η=36,88%

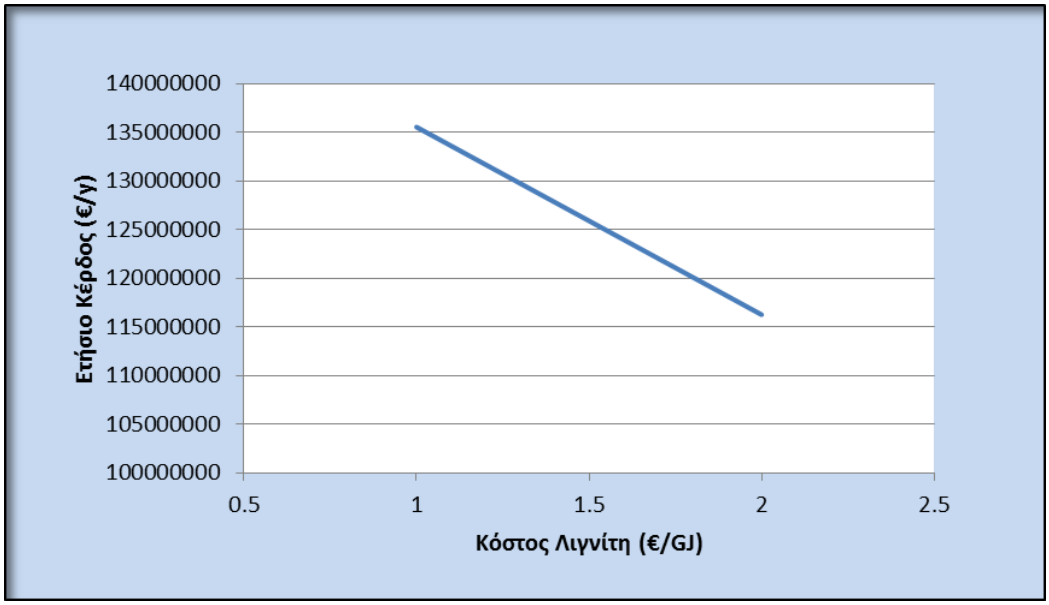
$\dot{m}_{SRF}$=2,8 kg/s $\dot{m}_{CO2}$=50,75 kg/s



Διάγραμμα 4.2: *Διάγραμμα κέρδους για 5% SRF*

SRF 10%: P=295,2 MW η=37,18%

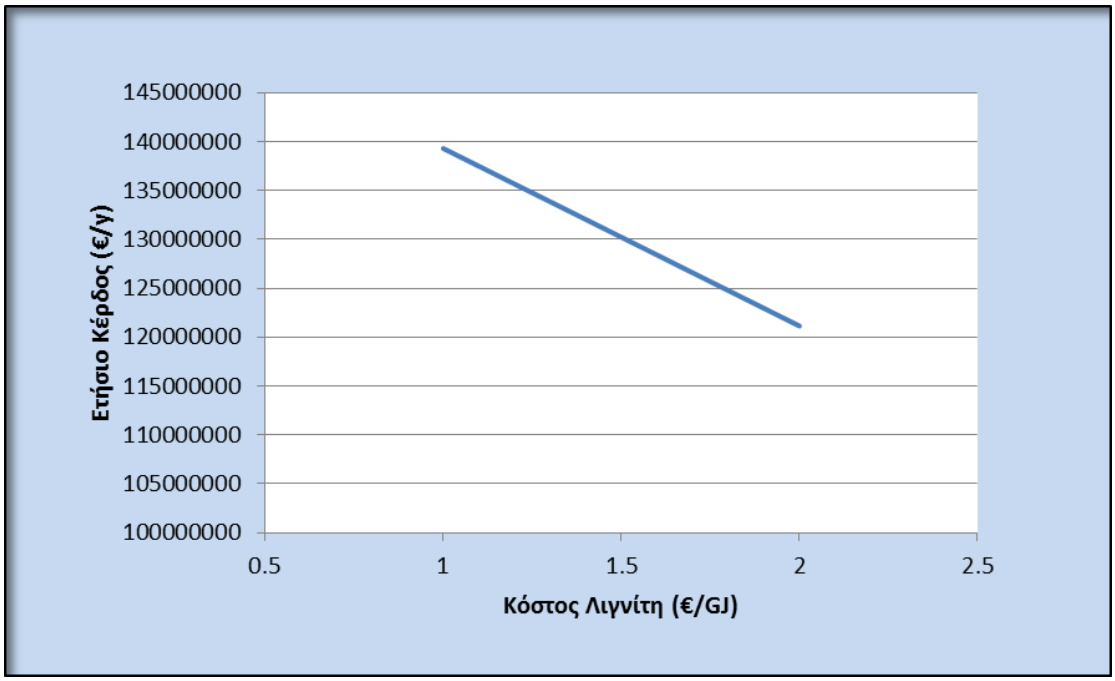
$\dot{m}_{SRF}$=5,6 kg/s $\dot{m}_{CO2}$=49,08 kg/s



Διάγραμμα 4.3: *Διάγραμμα κέρδους για 10% SRF*

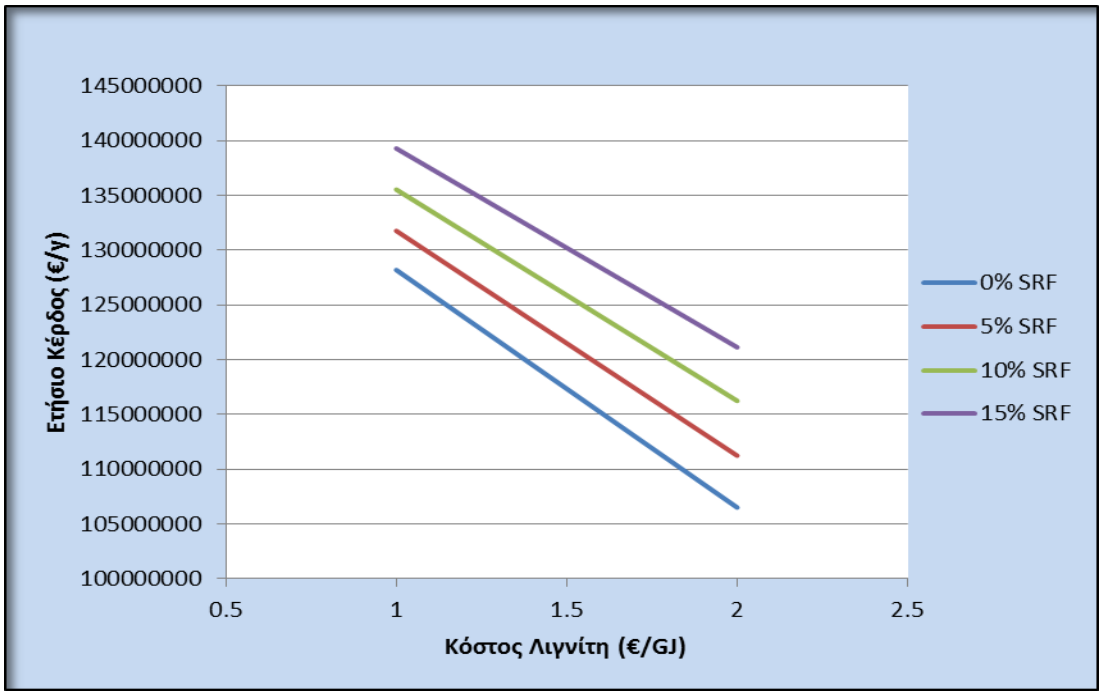
SRF 15%: P=295,73 MW η=37,37%

$\dot{m}_{SRF}$=8,2 kg/s $\dot{m}_{CO2}$=47,5kg/s



Διάγραμμα 4.4: *Διάγραμμα κέρδους για 15% SRF*

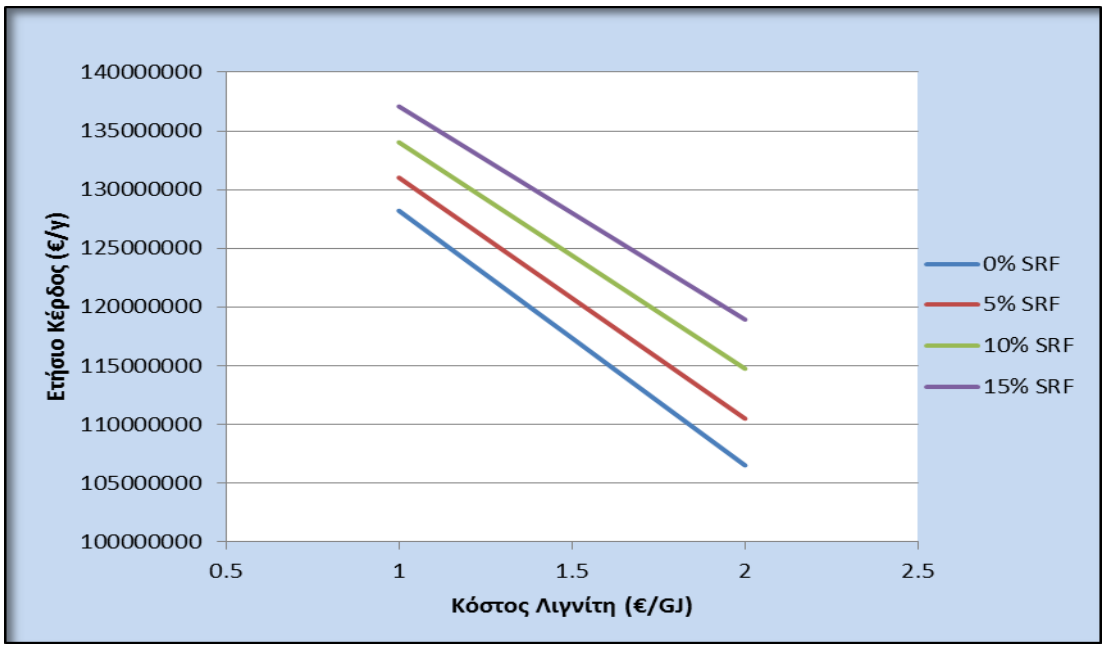
Ο συνδυασμός των προηγουμένων γραφημάτων φαίνεται παρακάτω:



Διάγραμμα 4.5: *Διάγραμμα κέρδους για τιμή SRF 30* €/tn

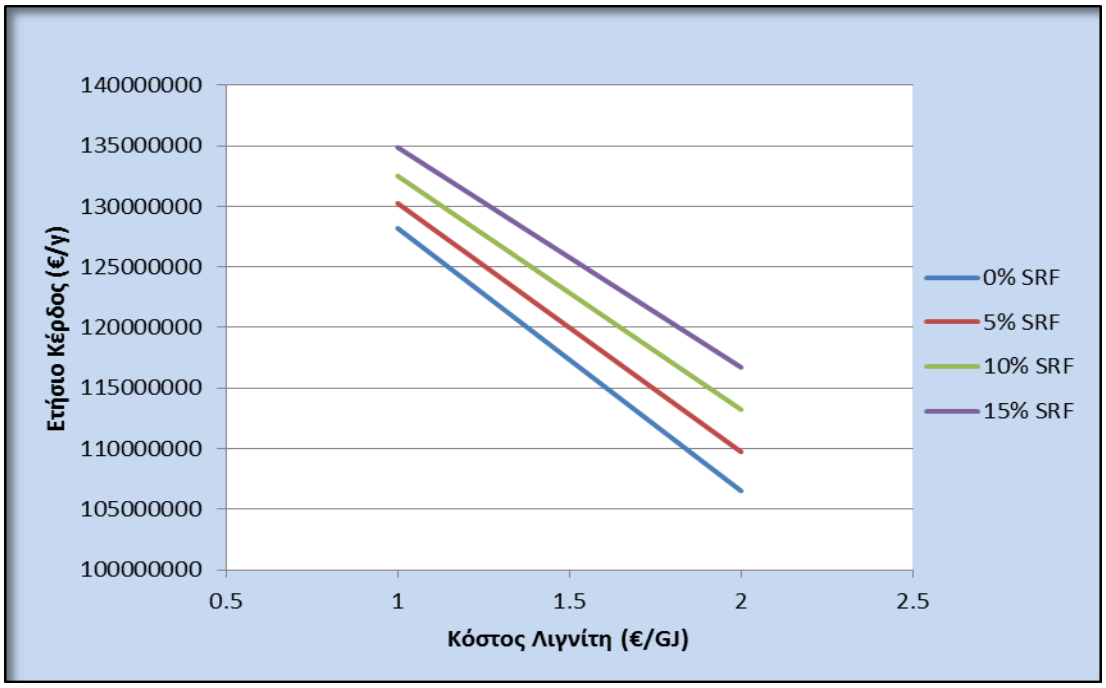
- **Τιμή SRF 20 €/tn**

Ακολουθώντας αντίστοιχη διαδικασία με πιο πάνω, δηλαδή υπολογίζοντας το κέρδος για τα τέσσερα επίπεδα χρήσης SRF, και έπειτα συνοψίζοντάς τα, προκύπτει το εξής συγκεντρωτικό γράφημα:



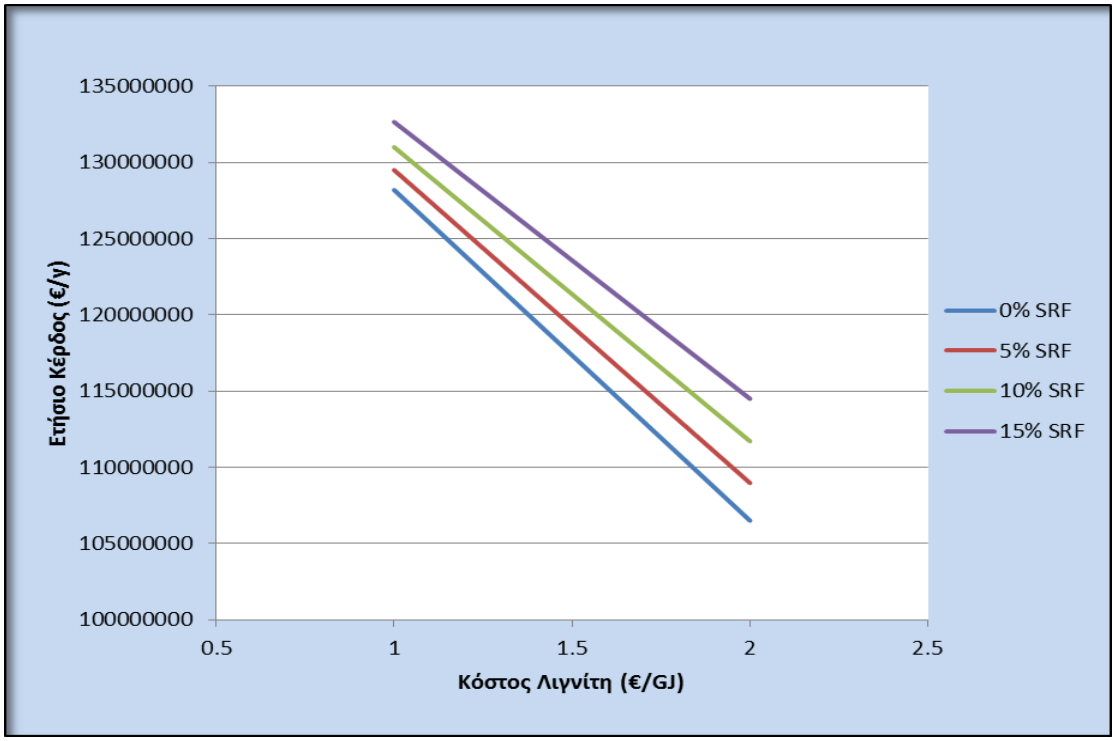
Διάγραμμα 4.6: *Διάγραμμα κέρδους για τιμή SRF 20* €/tn

- **Τιμή SRF 10 €/tn**



Διάγραμμα 4.7: *Διάγραμμα κέρδους για τιμή SRF 10* €/tn

- **Τιμή SRF 0 €/tn**



Διάγραμμα 4.8: *Διάγραμμα κέρδους για τιμή SRF 0* €/tn

4.3 Λιγνίτης θερμογόνου ικανότητας 5443 kJ/kg

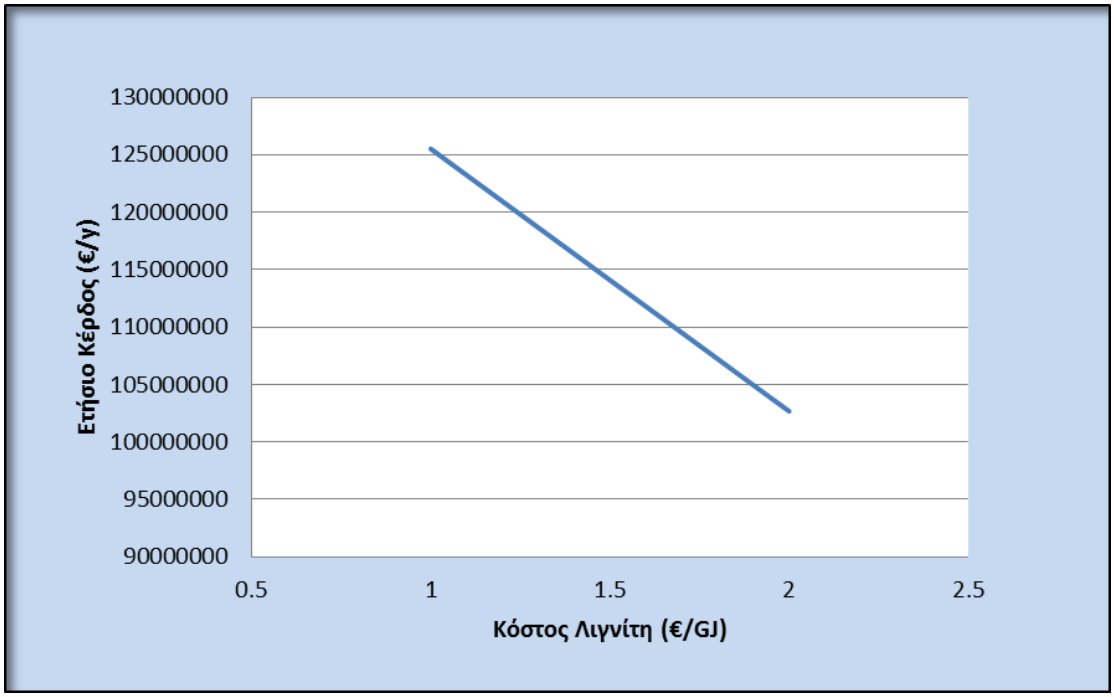
Όπως και στην προηγούμενη παράγραφο εξετάζονται η οικονομική συμπεριφορά της μονάδας, για τις παραμέτρους που έχουν τεθεί αυτή τη φορά για καύση λιγνίτη θερμογόνου ικανότητας 5443 KJ/kg

Χωρίς καύση SRF ισχύουν τα ακόλουθα δεδομένα:

P=295,77 MW η=34,96%

$\dot{m}$=155,5 kg/s $\dot{m}_{CO2}$=61,44 kg/s

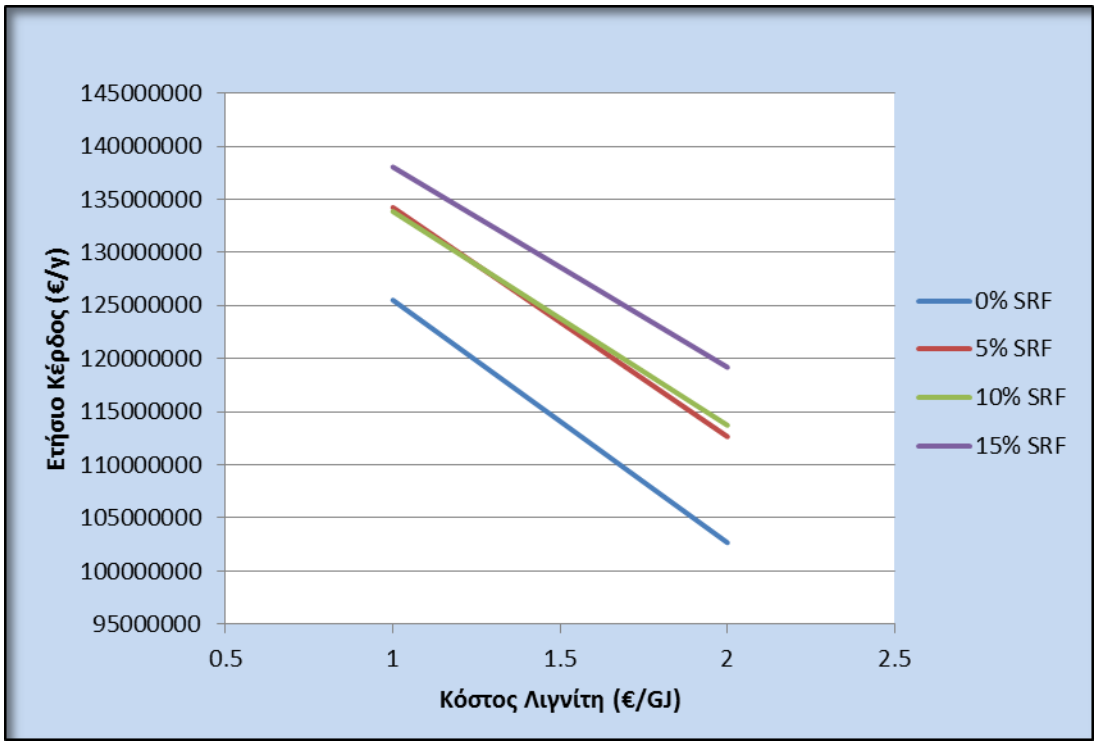
Οπότε για το διάστημα εμπιστοσύνης του κόστους λιγνίτη (1 – 2 €/kJ) προκύπτει το εξής διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.9: *Διάγραμμα κέρδους για 0% SRF*

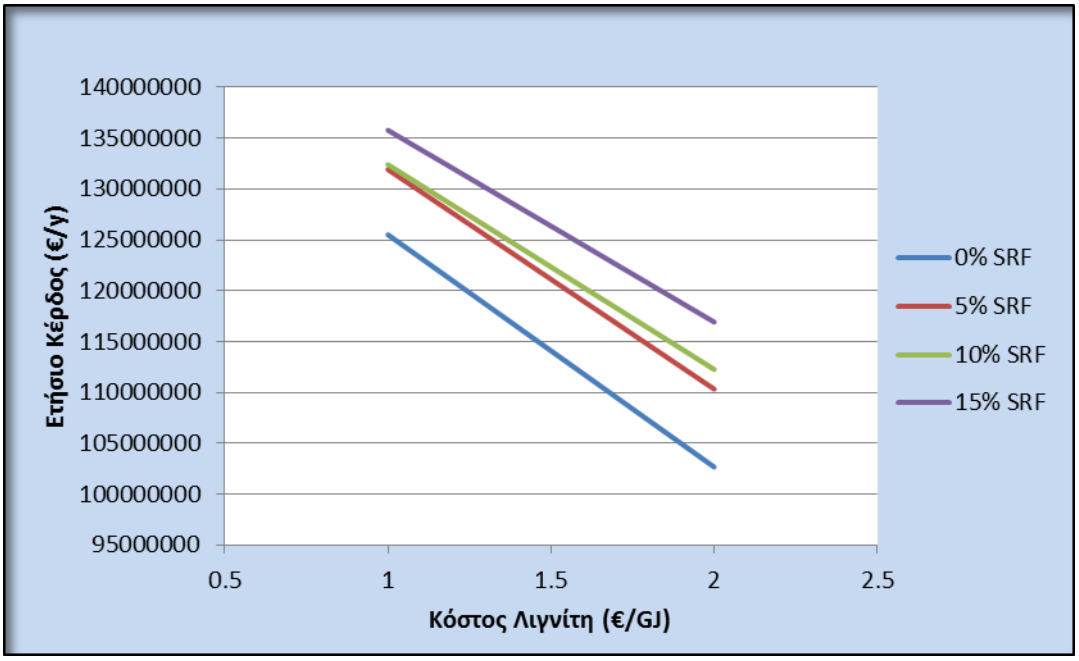
- **SRF 30 €/tn**

Όπως και στην παράγραφο **4.2** προκύπτει το συγκεντρωτικό διάγραμμα για τα 4 επίπεδα καύσης SRF.



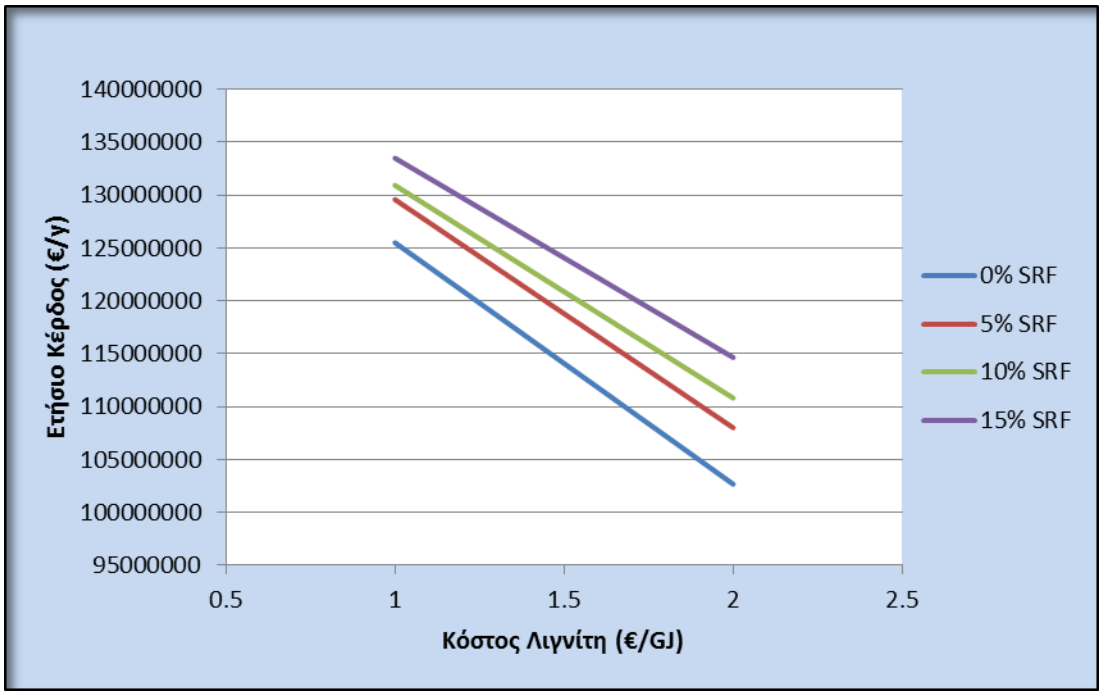
Διάγραμμα 4.10: *Διάγραμμα κέρδους για τιμή SRF 30* €/tn

- **SRF 20 €/tn**



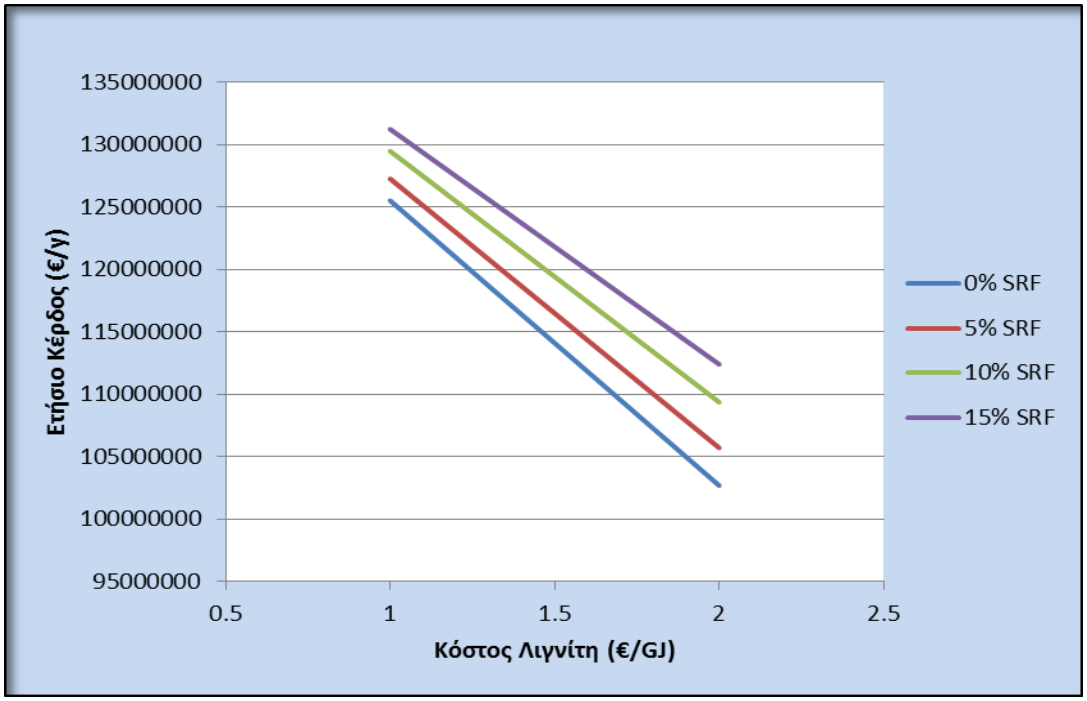
Διάγραμμα 4.11: *Διάγραμμα κέρδους για τιμή SRF 20* €/tn

- **SRF 10 €/tn**



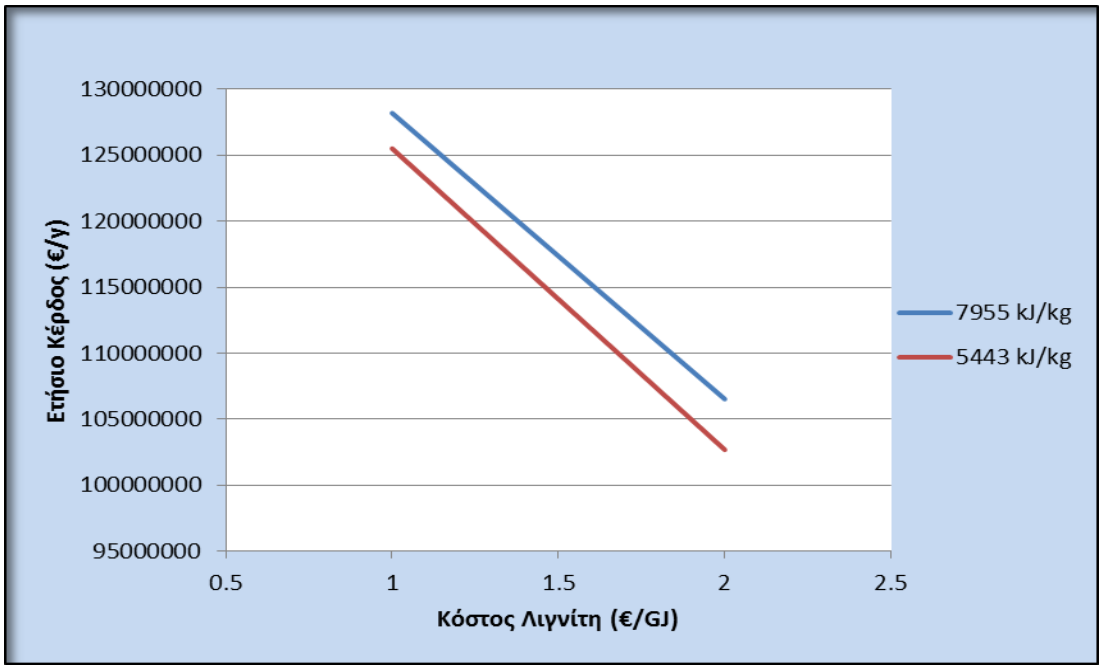
Διάγραμμα 4.12: *Διάγραμμα κέρδους για τιμή SRF 10*€/tn

- **SRF 0 €/tn**



Διάγραμμα 4.13: *Διάγραμμα κέρδους για τιμή SRF 0* €/tn

Τέλος στο επόμενο γράφημα παρουσιάζεται η συμπεριφορά της μονάδας για τις 2 διαφορετικές συστάσεις λιγνίτη που έχουν τεθεί στην συγκεκριμένη εργασία:



Διάγραμμα 4.14: *Διάγραμμα κέρδους για διαφορετικές συστάσεις λιγνίτη*

Παρατηρήσεις

Στο κεφάλαιο αυτό ορίστηκαν δύο οριακές τιμές για την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Υπολογίζοντας τα ετήσια έσοδα για τις τιμές αυτές προκύπει ο εξής πίνακας:

Τιμή Πώλησης Ενέργειας	Ετήσια Έσοδα
100 €/MWh	221767500 €
80 €/MWh	177414000 €
60 €/MWh	177414000 €

Πίνακας 4.1: *Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας.*

Κατά το ίδιο ποσό αυξομειώνεται και το κέρδος της εγκατάστασης, αλλά και τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν σε αυτό το κεφάλαιο μετατοπίζονται προς τα πάνω ή προς τα κάτω για τις τιμές 100 και 60 ευρώ αντίστοιχα.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε λοιπόν ότι ορίζεται ένα επίπεδο ευαισθησίας **± 44,353 εκ. ευρω** όσον αφορά το ετήσιο κέρδος της μονάδας για κάθε υποπερίπτωση που εξετάστηκε.

Τέλος παρατηρώντας τα προηγούμενα διαγράμματα, μπορεί κάποιος εύκολα να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι, όσο αυξάνεται το ποσοστό του SRF τόσο αυξάνεται και το κέρδος της μονάδας, ενώ αντίστροφα, όσο αυξάνεται το κόστος αγοράς του λιγνίτη, μειώνεται προφανώς το ετήσιο κέρδος του σταθμού.

5 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνήθηκε η δυνατότητα χρησιμοποίησης αστικών και ανακυκλώσιμων αποβλήτων ως καύσιμο με την ονομασία SRF. Πιο συγκεκριμένα εξετάσθηκε το πώς μεταβάλλεται η απόδοση μιας ατμοηλεκτρικής μονάδας, όταν αυτή χρησιμοποιεί συνδυασμό λιγνίτη και SRF ως καύσιμο, καθώς και η συνολική παροχή αυτού.

Προκειμένου να διευκολυνθούν οι υπολογισμοί μια μονάδας ΑΗΣ για τις διάφορες υποθέσεις που αφορούν τα επίπεδα κατανάλωσης SRF χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό GateCycle. Και η νεότερη έκδοση 6.1, και η παλιά 5.51, ώστε να λάβει χώρα και μια διαδικασία σύγκρισης μεταξύ τους.

Καταληκτικά έγινε μία οικονομική μελέτη, με σκοπό να ληφθούν συμπεράσματα όσον αφορά την συμπεριφορά της μονάδας ως προς το ετήσιο κέρδος της σε σχέση με την κατανάλωση SRF, ένα υποτιθέμενο εύρος του κόστους του, όπως και ένα εύρος της τιμής αγοράς του λιγνίτη. Τα αντίστοιχα συμπεράσματα που προέκυψαν από όσα αναφέρθηκαν μπορούν να συμπυκνωθούν στα εξής:

- Αρχικά συμπεραίνεται ότι η χρησιμοποίηση SRF μειώνει σημαντικά τη συνολική κατανάλωση καυσίμου σε ποσοστό έως και 7,9%, όταν πρόκειται για λιγνίτη θερμογόνου ικανότητας 7955 KJ/k. ενώ το 12,1% για λιγνίτη με θερμογόνο ικανότητα 5443 KJ/kg. Ακόμα πιο πολύ περιορίζεται η κατανάλωση λιγνίτη φτάνοντας περίπου το 16% και 17,5% αντίστοιχα.

- Επίσης ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης αυξάνεται με την μεγαλύτερη αύξηση να κυμαίνεται στο 1,02%

- Η κατανάλωση SRF βοηθάει στην μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, καθώς συμβάλλει στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2)

- Όσον αφορά την οικονομική πλευρά της μελέτης, το ετήσιο κέρδος της εγκατάστασης αυξάνεται σημαντικά με την χρήση SRF, καθώς μειώνεται το συνολικό κόστος του καυσίμου.

- Τέλος, εξετάζοντας τους πίνακες που προέκυψαν από τη σύγκριση των δύο εκδόσεων του GateCycle (6.1 και 5.51) προκύπτει ότι, μπορεί να γίνει μεταφορά μοντέλων από τη μία έκδοση στην άλλη με μεγάλη ακρίβεια, καθώς οι όποιες διαφορές οφείλονται στον αριθμό των επαναλήψεων που εκτελεί η κάθε μία, χωρίς να επηρεάζει ουσιαστικά τα αποτελέσματα του κύκλου.

Παραρτήματα

Παρατίθενται τα λεπτομερή αποτελέσματα για κάθε ξεχωριστό τρέξιμο που έγινε στο λογισμικό GateCycle 6.1 και αφορά τις διάφορες περιπτώσεις κατανάλωσης SRF και διαφορετικού τύπου λιγνίτη:

Παράρτημα 1: Λιγνίτης 7955KJ/kg, 0% SRF

STREAM	FROM	TO	TEMP	PRESSURE	FLOW	ENTHALPY
S1	FB1	SPHT1	420.00	296.00	256.15	2578.83
S10	SP1	V9	260.35	37.00	222.59	2852.43
S11	CND1	PUMP2	36.18	0.06	194.76	151.50
S12	-	PUMP3	15.00	1.00	4634.73	63.04
S13	CND1	-	34.11	7.00	4634.73	143.47
S14	DA1	PUMP1	170.42	8.00	256.15	720.94
S15	SP1	V2	260.35	37.00	20.89	2852.43
S16	FWH3	FWH7	93.85	9.10	194.76	393.77
S17	FB1	V11	541.00	37.00	222.59	3541.08
S18	SPHT1	SPHT2	559.20	1.05	420.36	647.83
S19	SPHT1	FB1	500.00	294.00	256.15	3095.01
S2	ST1	SP1	260.35	37.00	243.48	2852.43
S20	SP2	V3	443.64	18.50	12.25	3345.96
S21	PUMP1	SP10	175.47	300.00	256.15	759.24
S22	FWH2	FWH1	208.47	298.00	256.15	902.14
S23	ST3	SP3	333.46	8.00	210.33	3127.69
S24	SP3	ST4	333.46	8.00	194.76	3127.69
S25	SP3	V7	333.46	8.00	15.57	3127.69
S26	FWH1	FWH2	213.47	37.00	33.56	914.14
S27	FWH2	M1	180.47	18.50	45.81	765.61
S28	ST4	SP4	192.62	2.20	194.76	2854.51
S29	SP4	ST5	192.62	2.20	184.85	2854.51
S3	FWH1	FWH6	245.75	297.10	256.15	1068.90
S30	SP4	V6	192.62	2.20	9.92	2854.51
S31	M1	DA1	134.34	8.20	240.58	565.19
S32	FWH3	FWH4	76.33	0.81	17.29	319.55
S33	M2	CND1	36.18	0.06	194.76	2048.73
S34	SP2	ST3	443.64	18.50	210.33	3345.96
S35	ST5	SP5	104.56	0.81	184.85	2687.73
S36	SP5	V5	104.56	0.81	7.37	2687.73
S37	SP5	ST6	104.56	0.81	177.48	2687.73
S38	ST6	SP8	71.33	0.33	177.48	2562.34
S39	SP8	ST8	71.33	0.33	172.34	2562.34
S4	-	DUCT1	20.00	1.01	467.16	4.52
S40	DUCT1	C1	20.00	1.01	467.16	4.52
S41	FWH4	FWH5	60.34	0.33	22.42	252.53
S42	FWH5	FWH4	55.34	10.50	194.76	232.47
S43	PUMP2	FWH5	36.26	11.20	194.76	152.82
S44	FWH5	M2	41.26	0.16	28.39	172.73
S45	ST7	SP7	295.73	51.00	256.15	2907.50
S46	SP7	ST1	295.73	51.00	243.48	2907.50
S47	SP7	V1	295.73	51.00	12.67	2907.50
S48	FWH6	FWH1	250.75	51.00	12.67	1089.42

S49	ECON1	FB1	299.00	296.00	256.15	1323.79
S5	FB1	V10	543.00	294.00	256.15	3260.10
S50	ECON1	HX1	267.42	1.05	420.36	288.05
S51	SPHT2	FB1	449.99	37.00	222.59	3335.29
S52	SPHT2	ECON1	352.19	1.05	420.36	389.58
S53	HX1	SP6	140.00	1.05	467.16	127.14
S54	HX1	M3	153.20	0.91	420.36	155.07
S55	SP6	FB1	140.00	1.05	347.16	127.14
S56	SP6	M3	140.00	1.05	120.00	127.14
S57	M3	C2	150.51	0.91	540.36	148.87
S58	V1	FWH6	295.73	51.00	12.67	2907.50
S59	V2	FWH1	260.35	37.00	20.89	2852.43
S6	FWH4	FWH3	71.33	9.90	194.76	299.33
S60	V3	FWH2	443.64	18.50	12.25	3345.96
S61	V4	FWH4	71.33	0.33	5.14	2562.34
S62	V5	FWH3	104.56	0.81	7.37	2687.73
S63	V6	FWH7	192.62	2.20	9.92	2854.51
S64	V7	DA1	333.46	8.00	15.57	3127.69
S65	FWH6	ECON1	265.15	296.00	256.15	1158.82
S66	V9	SPHT2	260.35	37.00	222.59	2852.43
S67	SP8	V4	71.33	0.33	5.14	2562.34
S68	ST8	SP9	55.34	0.16	172.34	2473.16
S69	FWH7	FWH3	98.85	2.20	9.92	414.30
S7	FB1	SPHT1	800.00	1.05	420.36	965.51
S70	FWH7	M1	123.27	8.20	194.76	518.04
S71	V8	FWH5	55.34	0.16	5.97	2473.16
S72	SP9	ST9	55.34	0.16	166.37	2473.16
S73	SP9	V8	55.34	0.16	5.97	2473.16
S74	ST9	M2	36.18	0.06	166.37	2368.85
S75	-	-	36.18	0.06	166.37	2368.85
S76	V10	TMX1	543.00	294.00	256.15	3260.10
S77	V11	TMX2	541.00	37.00	222.59	3541.08
S78	PUMP3	CND1	15.03	7.00	4634.73	63.74
S79	C1	HX1	24.06	1.05	467.16	8.66
S8	ST2	SP2	443.64	18.50	222.59	3345.96
S80	C2	-	175.44	1.01	540.36	176.87
S81	SP10	FWH2	175.47	300.00	256.15	759.24
S82	SP10	TMX1	175.47	300.00	0.00	759.24
S83	TMX1	ST7	543.00	294.00	256.15	3260.10
S84	TMX2	ST2	541.00	37.00	222.59	3541.08
S85	SP10	TMX2	175.47	300.00	0.00	759.24
S9	-	FB1	20.00	1.00	0.00	4.50

Παράρτημα 2: Λιγνίτης 7955KJ/kg, 5% SRF

STREAM	FROM	TO	TEMP	PRESSURE	FLOW	ENTHALPY
S1	FB1	SPHT1	420.68	296.24	256.14	2586.15
S10	SP1	V9	260.22	36.99	222.78	2852.07
S11	CND1	PUMP2	36.21	0.06	195.16	151.62
S12	-	PUMP3	15.00	1.00	4634.73	63.04
S13	CND1	-	34.14	7.00	4634.73	143.57
S14	DA1	PUMP1	170.45	8.01	256.37	721.08
S15	SP1	V2	260.22	36.99	20.90	2852.07
S16	FWH3	FWH7	93.84	9.09	195.16	393.75
S17	FB1	V11	539.22	36.99	222.78	3537.06
S18	SPHT1	SPHT2	560.00	1.00	409.12	648.84
S19	SPHT1	FB1	500.05	294.22	256.14	3094.87
S2	ST1	SP1	260.22	36.99	243.68	2852.07
S20	SP2	V3	442.15	18.51	12.02	3342.71
S21	PUMP1	SP10	176.11	300.23	256.37	762.00
S22	FWH2	FWH1	208.44	298.23	256.14	902.04
S23	ST3	SP3	332.16	8.01	210.75	3124.94
S24	SP3	ST4	332.16	8.01	195.16	3124.94
S25	SP3	V7	332.16	8.01	15.60	3124.94
S26	FWH1	FWH2	213.45	36.99	33.59	914.04
S27	FWH2	M1	180.99	18.51	45.61	767.92
S28	ST4	SP4	191.57	2.20	195.16	2852.38
S29	SP4	ST5	191.57	2.20	185.21	2852.38
S3	FWH1	FWH6	245.74	297.33	256.14	1068.83
S30	SP4	V6	191.57	2.20	9.94	2852.38
S31	M1	DA1	134.37	8.19	240.77	565.34
S32	FWH3	FWH4	76.26	0.81	17.37	319.27
S33	M2	CND1	36.21	0.06	195.16	2047.53
S34	SP2	ST3	442.15	18.51	210.75	3342.71
S35	ST5	SP5	103.68	0.81	185.21	2685.97
S36	SP5	V5	103.68	0.81	7.43	2685.97
S37	SP5	ST6	103.68	0.81	177.78	2685.97
S38	ST6	SP8	71.36	0.33	177.78	2560.84
S39	SP8	ST8	71.36	0.33	172.63	2560.84
S4	-	DUCT1	20.00	1.01	457.88	4.52
S40	DUCT1	C1	20.00	1.01	457.88	4.52
S41	FWH4	FWH5	60.27	0.33	22.53	252.25
S42	FWH5	FWH4	55.20	10.50	195.16	231.90
S43	PUMP2	FWH5	36.29	11.20	195.16	152.94
S44	FWH5	M2	41.30	0.16	28.45	172.89
S45	ST7	SP7	295.66	51.01	256.37	2907.22
S46	SP7	ST1	295.66	51.01	243.68	2907.22
S47	SP7	V1	295.66	51.01	12.69	2907.22
S48	FWH6	FWH1	250.75	51.01	12.69	1089.42

S49	ECON1	FB1	297.38	296.24	256.14	1315.56
S5	FB1	V10	543.62	294.22	256.14	3262.02
S50	ECON1	HX1	267.25	1.00	409.12	287.86
S51	SPHT2	FB1	446.90	36.99	222.78	3328.29
S52	SPHT2	ECON1	350.01	1.00	409.12	386.93
S53	HX1	SP6	139.63	1.05	457.88	126.75
S54	HX1	M3	152.59	0.86	409.12	154.37
S55	SP6	FB1	139.63	1.05	337.88	126.75
S56	SP6	M3	139.63	1.05	120.00	126.75
S57	M3	C2	149.89	0.86	529.12	148.11
S58	V1	FWH6	295.66	51.01	12.69	2907.22
S59	V2	FWH1	260.22	36.99	20.90	2852.07
S6	FWH4	FWH3	71.21	9.90	195.16	298.84
S60	V3	FWH2	442.15	18.51	12.02	3342.71
S61	V4	FWH4	71.36	0.33	5.15	2560.84
S62	V5	FWH3	103.68	0.81	7.43	2685.97
S63	V6	FWH7	191.57	2.20	9.94	2852.38
S64	V7	DA1	332.16	8.01	15.60	3124.94
S65	FWH6	ECON1	265.16	296.24	256.14	1158.89
S66	V9	SPHT2	260.22	36.99	222.78	2852.07
S67	SP8	V4	71.36	0.33	5.15	2560.84
S68	ST8	SP9	55.38	0.16	172.63	2471.74
S69	FWH7	FWH3	98.86	2.20	9.94	414.36
S7	FB1	SPHT1	803.70	1.00	409.12	970.53
S70	FWH7	M1	123.26	8.19	195.16	517.99
S71	V8	FWH5	55.38	0.16	5.93	2471.74
S72	SP9	ST9	55.38	0.16	166.70	2471.74
S73	SP9	V8	55.38	0.16	5.93	2471.74
S74	ST9	M2	36.21	0.06	166.70	2367.48
S75	-	-	36.21	0.06	166.70	2367.48
S76	V10	TMX1	543.62	294.22	256.14	3262.02
S77	V11	TMX2	539.22	36.99	222.78	3537.06
S78	PUMP3	CND1	15.03	7.00	4634.73	63.74
S79	C1	HX1	24.06	1.05	457.88	8.66
S8	ST2	SP2	442.15	18.51	222.78	3342.71
S80	C2	-	173.62	0.96	529.12	174.75
S81	SP10	FWH2	176.11	300.23	256.14	762.00
S82	SP10	TMX1	176.11	300.23	0.23	762.00
S83	TMX1	ST7	543.00	294.22	256.37	3259.82
S84	TMX2	ST2	539.22	36.99	222.78	3537.06
S85	SP10	TMX2	176.11	300.23	0.00	762.00
S9	-	FB1	20.00	1.00	0.00	4.50

Παράρτημα 3: Λιγνίτης 7955KJ/kg, 10% SRF

STREAM	FROM	TO	TEMP	PRESSURE	FLOW	ENTHALPY
S1	FB1	SPHT1	421.52	296.50	256.15	2595.13
S10	SP1	V9	260.05	36.97	222.93	2851.60
S11	CND1	PUMP2	36.18	0.06	195.05	151.50
S12	-	PUMP3	15.00	1.00	4634.73	63.04
S13	CND1	-	34.11	7.00	4634.73	143.46
S14	DA1	PUMP1	170.36	7.99	256.60	720.72
S15	SP1	V2	260.05	36.97	20.93	2851.60
S16	FWH3	FWH7	93.77	9.09	195.05	393.44
S17	FB1	V11	537.20	36.97	222.93	3532.50
S18	SPHT1	SPHT2	560.54	1.00	397.88	649.53
S19	SPHT1	FB1	500.12	294.46	256.15	3094.75
S2	ST1	SP1	260.05	36.97	243.87	2851.60
S20	SP2	V3	440.16	18.48	12.24	3338.41
S21	PUMP1	SP10	175.42	300.49	256.60	759.08
S22	FWH2	FWH1	208.31	298.50	256.15	901.49
S23	ST3	SP3	330.36	7.99	210.70	3121.21
S24	SP3	ST4	330.36	7.99	195.05	3121.21
S25	SP3	V7	330.36	7.99	15.65	3121.21
S26	FWH1	FWH2	213.35	36.97	33.67	913.59
S27	FWH2	M1	180.44	18.48	45.91	765.48
S28	ST4	SP4	190.14	2.20	195.05	2849.50
S29	SP4	ST5	190.14	2.20	185.10	2849.50
S3	FWH1	FWH6	245.69	297.60	256.15	1068.62
S30	SP4	V6	190.14	2.20	9.94	2849.50
S31	M1	DA1	134.25	8.19	240.95	564.80
S32	FWH3	FWH4	76.23	0.81	17.35	319.13
S33	M2	CND1	36.18	0.06	195.05	2045.85
S34	SP2	ST3	440.16	18.48	210.70	3338.41
S35	ST5	SP5	102.50	0.81	185.10	2683.64
S36	SP5	V5	102.50	0.81	7.41	2683.64
S37	SP5	ST6	102.50	0.81	177.69	2683.64
S38	ST6	SP8	71.34	0.33	177.69	2558.84
S39	SP8	ST8	71.34	0.33	172.54	2558.84
S4	-	DUCT1	20.00	1.01	448.60	4.52
S40	DUCT1	C1	20.00	1.01	448.60	4.52
S41	FWH4	FWH5	60.25	0.33	22.51	252.15
S42	FWH5	FWH4	55.18	10.50	195.05	231.81
S43	PUMP2	FWH5	36.26	11.20	195.05	152.82
S44	FWH5	M2	41.27	0.16	28.44	172.77
S45	ST7	SP7	295.59	51.03	256.60	2906.91
S46	SP7	ST1	295.59	51.03	243.87	2906.91
S47	SP7	V1	295.59	51.03	12.73	2906.91
S48	FWH6	FWH1	250.74	51.03	12.73	1089.35

S49	ECON1	FB1	295.74	296.50	256.15	1307.32
S5	FB1	V10	544.25	294.46	256.15	3263.96
S50	ECON1	HX1	267.10	1.00	397.88	287.68
S51	SPHT2	FB1	443.50	36.97	222.93	3320.61
S52	SPHT2	ECON1	347.69	1.00	397.88	384.12
S53	HX1	SP6	139.25	1.05	448.60	126.36
S54	HX1	M3	151.96	0.87	397.88	153.64
S55	SP6	FB1	139.25	1.05	328.60	126.36
S56	SP6	M3	139.25	1.05	120.00	126.36
S57	M3	C2	149.25	0.87	517.88	147.33
S58	V1	FWH6	295.59	51.03	12.73	2906.91
S59	V2	FWH1	260.05	36.97	20.93	2851.60
S6	FWH4	FWH3	71.19	9.90	195.05	298.74
S60	V3	FWH2	440.16	18.48	12.24	3338.41
S61	V4	FWH4	71.34	0.33	5.16	2558.84
S62	V5	FWH3	102.50	0.81	7.41	2683.64
S63	V6	FWH7	190.14	2.20	9.94	2849.50
S64	V7	DA1	330.36	7.99	15.65	3121.21
S65	FWH6	ECON1	265.18	296.50	256.15	1158.98
S66	V9	SPHT2	260.05	36.97	222.93	2851.60
S67	SP8	V4	71.34	0.33	5.16	2558.84
S68	ST8	SP9	55.35	0.16	172.54	2469.81
S69	FWH7	FWH3	98.79	2.20	9.94	414.04
S7	FB1	SPHT1	806.56	1.00	397.88	974.40
S70	FWH7	M1	123.16	8.19	195.05	517.57
S71	V8	FWH5	55.35	0.16	5.93	2469.81
S72	SP9	ST9	55.35	0.16	166.61	2469.81
S73	SP9	V8	55.35	0.16	5.93	2469.81
S74	ST9	M2	36.18	0.06	166.61	2365.58
S75	-	-	36.18	0.06	166.61	2365.58
S76	V10	TMX1	544.25	294.46	256.15	3263.96
S77	V11	TMX2	537.20	36.97	222.93	3532.50
S78	PUMP3	CND1	15.03	7.00	4634.73	63.74
S79	C1	HX1	24.06	1.05	448.60	8.66
S8	ST2	SP2	440.16	18.48	222.93	3338.41
S80	C2	-	172.96	0.96	517.88	173.92
S81	SP10	FWH2	175.42	300.49	256.15	759.08
S82	SP10	TMX1	175.42	300.49	0.46	759.08
S83	TMX1	ST7	543.00	294.46	256.60	3259.51
S84	TMX2	ST2	537.19	36.96	222.93	3532.50
S85	SP10	TMX2	175.42	300.49	0.00	759.08
S9	-	FB1	20.00	1.00	0.00	4.50

Παράρτημα 4: Λιγνίτης 7955KJ/kg, 15% SRF

STREAM	FROM	TO	TEMP	PRESSURE	FLOW	ENTHALPY
S1	FB1	SPHT1	422.62	296.97	256.15	2605.95
S10	SP1	V9	259.90	36.98	223.32	2851.03
S11	CND1	PUMP2	36.20	0.06	195.36	151.56
S12	-	PUMP3	15.00	1.00	4634.73	63.04
S13	CND1	-	34.12	7.00	4634.73	143.52
S14	DA1	PUMP1	170.37	7.99	257.04	720.76
S15	SP1	V2	259.90	36.98	20.95	2851.03
S16	FWH3	FWH7	93.76	9.09	195.36	393.38
S17	FB1	V11	535.16	36.98	223.32	3527.88
S18	SPHT1	SPHT2	561.36	1.00	387.06	650.60
S19	SPHT1	FB1	500.70	294.91	256.15	3096.45
S2	ST1	SP1	259.90	36.98	244.27	2851.03
S20	SP2	V3	438.30	18.49	12.24	3334.36
S21	PUMP1	SP10	175.44	300.96	257.04	759.19
S22	FWH2	FWH1	208.29	298.96	256.15	901.42
S23	ST3	SP3	328.71	7.99	211.08	3117.73
S24	SP3	ST4	328.71	7.99	195.36	3117.73
S25	SP3	V7	328.71	7.99	15.71	3117.73
S26	FWH1	FWH2	213.34	36.98	33.73	913.58
S27	FWH2	M1	180.46	18.49	45.97	765.59
S28	ST4	SP4	188.82	2.20	195.36	2846.80
S29	SP4	ST5	188.82	2.20	185.40	2846.80
S3	FWH1	FWH6	245.70	298.07	256.15	1068.69
S30	SP4	V6	188.82	2.20	9.96	2846.80
S31	M1	DA1	134.22	8.18	241.33	564.70
S32	FWH3	FWH4	76.26	0.81	17.38	319.26
S33	M2	CND1	36.20	0.06	195.36	2044.23
S34	SP2	ST3	438.30	18.49	211.08	3334.36
S35	ST5	SP5	101.41	0.81	185.40	2681.46
S36	SP5	V5	101.41	0.81	7.42	2681.46
S37	SP5	ST6	101.41	0.81	177.98	2681.46
S38	ST6	SP8	71.37	0.33	177.98	2556.95
S39	SP8	ST8	71.37	0.33	172.81	2556.95
S4	-	DUCT1	20.00	1.01	439.66	4.52
S40	DUCT1	C1	20.00	1.01	439.66	4.52
S41	FWH4	FWH5	60.28	0.33	22.55	252.28
S42	FWH5	FWH4	55.21	10.50	195.36	231.91
S43	PUMP2	FWH5	36.27	11.20	195.36	152.88
S44	FWH5	M2	41.30	0.16	28.50	172.88
S45	ST7	SP7	295.52	51.09	257.04	2906.44
S46	SP7	ST1	295.52	51.09	244.27	2906.44
S47	SP7	V1	295.52	51.09	12.77	2906.44
S48	FWH6	FWH1	250.78	51.09	12.77	1089.55

S49	ECON1	FB1	294.23	296.97	256.15	1299.71
S5	FB1	V10	545.47	294.91	256.15	3267.69
S50	ECON1	HX1	267.00	1.00	387.06	287.56
S51	SPHT2	FB1	440.15	36.98	223.32	3312.95
S52	SPHT2	ECON1	345.45	1.00	387.06	381.42
S53	HX1	SP6	138.88	1.05	439.66	125.99
S54	HX1	M3	151.36	0.87	387.06	152.96
S55	SP6	FB1	138.88	1.05	319.66	125.99
S56	SP6	M3	138.88	1.05	120.00	125.99
S57	M3	C2	148.64	0.87	507.06	146.58
S58	V1	FWH6	295.52	51.09	12.77	2906.44
S59	V2	FWH1	259.90	36.98	20.95	2851.03
S6	FWH4	FWH3	71.22	9.89	195.36	298.86
S60	V3	FWH2	438.30	18.49	12.24	3334.36
S61	V4	FWH4	71.37	0.33	5.17	2556.95
S62	V5	FWH3	101.41	0.81	7.42	2681.46
S63	V6	FWH7	188.82	2.20	9.96	2846.80
S64	V7	DA1	328.71	7.99	15.71	3117.73
S65	FWH6	ECON1	265.25	296.97	256.15	1159.29
S66	V9	SPHT2	259.90	36.98	223.32	2851.03
S67	SP8	V4	71.37	0.33	5.17	2556.95
S68	ST8	SP9	55.38	0.16	172.81	2467.99
S69	FWH7	FWH3	98.79	2.20	9.96	414.04
S7	FB1	SPHT1	809.54	1.00	387.06	978.45
S70	FWH7	M1	123.13	8.18	195.36	517.43
S71	V8	FWH5	55.38	0.16	5.95	2467.99
S72	SP9	ST9	55.38	0.16	166.87	2467.99
S73	SP9	V8	55.38	0.16	5.95	2467.99
S74	ST9	M2	36.20	0.06	166.87	2363.81
S75	-	-	36.20	0.06	166.87	2363.81
S76	V10	TMX1	545.47	294.91	256.15	3267.69
S77	V11	TMX2	535.16	36.98	223.32	3527.88
S78	PUMP3	CND1	15.03	7.00	4634.73	63.74
S79	C1	HX1	24.06	1.05	439.66	8.66
S8	ST2	SP2	438.30	18.49	223.32	3334.36
S80	C2	-	172.33	0.97	507.06	173.13
S81	SP10	FWH2	175.44	300.96	256.15	759.19
S82	SP10	TMX1	175.44	300.96	0.90	759.19
S83	TMX1	ST7	543.00	294.90	257.04	3258.95
S84	TMX2	ST2	535.16	36.98	223.32	3527.88
S85	SP10	TMX2	175.44	300.96	0.00	759.19
S9	-	FB1	20.00	1.00	0.00	4.50

Παράρτημα 5: Λιγνίτης 5443KJ/kg, 0% SRF

STREAM	FROM	TO	TEMP	PRESSURE	FLOW	ENTHALPY
S1	FB1	SPHT1	418.82	297.93	256.15	2553.16
S10	SP1	V9	262.01	37.88	224.65	2853.55
S11	CND1	PUMP2	36.68	0.06	199.60	153.56
S12	-	PUMP3	15.00	1.00	4634.73	63.04
S13	CND1	-	34.55	7.00	4634.73	145.32
S14	DA1	PUMP1	171.42	8.20	261.37	725.36
S15	SP1	V2	262.01	37.88	21.11	2853.55
S16	FWH3	FWH7	94.46	9.00	199.60	396.33
S17	FB1	V11	558.70	37.88	224.65	3580.40
S18	SPHT1	SPHT2	563.26	1.00	539.47	687.01
S19	SPHT1	FB1	510.81	296.01	256.15	3136.19
S2	ST1	SP1	262.01	37.88	245.76	2853.55
S20	SP2	V3	443.78	18.97	12.20	3345.64
S21	PUMP1	SP10	176.93	301.92	261.37	765.64
S22	FWH2	FWH1	209.67	299.93	256.14	907.53
S23	ST3	SP3	333.45	8.20	215.70	3127.26
S24	SP3	ST4	333.45	8.20	199.60	3127.26
S25	SP3	V7	333.45	8.20	16.10	3127.26
S26	FWH1	FWH2	214.70	37.88	33.48	919.80
S27	FWH2	M1	181.90	18.97	45.68	771.93
S28	ST4	SP4	192.57	2.25	199.60	2854.14
S29	SP4	ST5	192.57	2.25	189.39	2854.14
S3	FWH1	FWH6	247.15	299.03	256.14	1075.34
S30	SP4	V6	192.57	2.25	10.21	2854.14
S31	M1	DA1	134.92	8.05	245.27	567.66
S32	FWH3	FWH4	76.93	0.83	17.84	322.06
S33	M2	CND1	36.67	0.06	199.60	2047.89
S34	SP2	ST3	443.78	18.97	215.70	3345.64
S35	ST5	SP5	104.49	0.83	189.39	2687.36
S36	SP5	V5	104.49	0.83	7.63	2687.36
S37	SP5	ST6	104.49	0.83	181.76	2687.36
S38	ST6	SP8	71.90	0.34	181.76	2561.97
S39	SP8	ST8	71.90	0.34	176.47	2561.97
S4	-	DUCT1	20.00	1.01	528.64	4.52
S40	DUCT1	C1	20.00	1.01	528.64	4.52
S41	FWH4	FWH5	60.85	0.34	23.12	254.67
S42	FWH5	FWH4	55.67	10.47	199.60	233.86
S43	PUMP2	FWH5	36.75	11.20	199.60	154.88
S44	FWH5	M2	41.87	0.16	29.19	175.26
S45	ST7	SP7	296.38	51.70	258.13	2906.87
S46	SP7	ST1	296.38	51.70	245.76	2906.87
S47	SP7	V1	296.38	51.70	12.37	2906.87
S48	FWH6	FWH1	251.93	51.70	12.37	1095.16

S49	ECON1	FB1	325.31	297.93	256.14	1463.05
S5	FB1	V10	548.46	296.01	256.15	3276.85
S50	ECON1	HX1	272.45	1.00	539.47	309.17
S51	SPHT2	FB1	483.29	37.88	224.65	3409.62
S52	SPHT2	ECON1	386.09	1.00	539.47	453.13
S53	HX1	SP6	151.96	1.05	528.64	139.44
S54	HX1	M3	167.00	0.76	539.47	179.73
S55	SP6	FB1	151.96	1.05	408.64	139.44
S56	SP6	M3	151.96	1.05	120.00	139.44
S57	M3	C2	164.60	0.76	659.47	172.40
S58	V1	FWH6	296.38	51.70	12.37	2906.87
S59	V2	FWH1	262.01	37.88	21.11	2853.55
S6	FWH4	FWH3	71.74	9.84	199.60	301.02
S60	V3	FWH2	443.78	18.97	12.20	3345.64
S61	V4	FWH4	71.90	0.34	5.29	2561.97
S62	V5	FWH3	104.49	0.83	7.63	2687.36
S63	V6	FWH7	192.57	2.25	10.21	2854.14
S64	V7	DA1	333.45	8.20	16.10	3127.26
S65	FWH6	ECON1	266.00	297.93	256.14	1162.84
S66	V9	SPHT2	262.01	37.88	224.65	2853.55
S67	SP8	V4	71.90	0.34	5.29	2561.97
S68	ST8	SP9	55.86	0.16	176.47	2472.76
S69	FWH7	FWH3	99.64	2.25	10.21	417.65
S7	FB1	SPHT1	764.91	1.00	539.47	966.61
S70	FWH7	M1	123.95	8.05	199.60	520.91
S71	V8	FWH5	55.86	0.16	6.06	2472.76
S72	SP9	ST9	55.86	0.16	170.41	2472.76
S73	SP9	V8	55.86	0.16	6.06	2472.76
S74	ST9	M2	36.67	0.06	170.41	2368.61
S75	-	-	36.67	0.06	170.41	2368.61
S76	V10	TMX1	548.46	296.01	256.15	3276.85
S77	V11	TMX2	558.70	37.88	224.65	3580.40
S78	PUMP3	CND1	15.03	7.00	4634.73	63.74
S79	C1	HX1	24.06	1.05	528.64	8.66
S8	ST2	SP2	443.78	18.97	227.90	3345.64
S80	C2	-	188.77	0.85	659.47	200.93
S81	SP10	FWH2	176.93	301.92	256.14	765.64
S82	SP10	TMX1	176.93	301.92	1.98	765.64
S83	TMX1	ST7	543.01	296.02	258.13	3257.57
S84	TMX2	ST2	541.00	37.88	227.90	3540.22
S85	SP10	TMX2	176.93	301.92	3.25	765.64
S9	-	FB1	20.00	1.00	0.00	4.50

Παράρτημα 6: Λιγνίτης 5443KJ/kg, 5% SRF

STREAM	FROM	TO	TEMP	PRESSURE	FLOW	ENTHALPY
S1	FB1	SPHT1	419.89	298.52	256.15	2564.29
S10	SP1	V9	261.92	37.93	225.20	2852.98
S11	CND1	PUMP2	36.75	0.06	200.27	153.85
S12	-	PUMP3	15.00	1.00	4634.73	63.04
S13	CND1	-	34.62	7.00	4634.73	145.59
S14	DA1	PUMP1	171.57	8.23	261.60	726.02
S15	SP1	V2	261.92	37.93	21.06	2852.98
S16	FWH3	FWH7	94.55	8.98	200.27	396.73
S17	FB1	V11	556.86	37.93	225.20	3576.16
S18	SPHT1	SPHT2	565.01	1.00	518.47	689.74
S19	SPHT1	FB1	511.19	296.57	256.15	3136.88
S2	ST1	SP1	261.92	37.93	246.26	2852.98
S20	SP2	V3	444.05	19.03	11.76	3346.15
S21	PUMP1	SP10	178.32	302.50	261.60	771.61
S22	FWH2	FWH1	209.84	300.51	256.15	908.30
S23	ST3	SP3	333.71	8.23	216.37	3127.74
S24	SP3	ST4	333.71	8.23	200.27	3127.74
S25	SP3	V7	333.71	8.23	16.10	3127.74
S26	FWH1	FWH2	214.86	37.93	33.47	920.52
S27	FWH2	M1	183.04	19.03	45.23	776.99
S28	ST4	SP4	192.78	2.26	200.27	2854.51
S29	SP4	ST5	192.78	2.26	190.02	2854.51
S3	FWH1	FWH6	247.22	299.61	256.15	1075.66
S30	SP4	V6	192.78	2.26	10.24	2854.51
S31	M1	DA1	135.11	8.02	245.49	568.46
S32	FWH3	FWH4	77.03	0.83	17.91	322.49
S33	M2	CND1	36.75	0.06	200.27	2047.99
S34	SP2	ST3	444.05	19.03	216.37	3346.15
S35	ST5	SP5	104.66	0.83	190.02	2687.66
S36	SP5	V5	104.66	0.83	7.66	2687.66
S37	SP5	ST6	104.66	0.83	182.36	2687.66
S38	ST6	SP8	71.98	0.34	182.36	2562.21
S39	SP8	ST8	71.98	0.34	177.05	2562.21
S4	-	DUCT1	20.00	1.01	512.76	4.52
S40	DUCT1	C1	20.00	1.01	512.76	4.52
S41	FWH4	FWH5	60.94	0.34	23.22	255.04
S42	FWH5	FWH4	55.74	10.46	200.27	234.15
S43	PUMP2	FWH5	36.82	11.20	200.27	155.17
S44	FWH5	M2	41.95	0.16	29.30	175.62
S45	ST7	SP7	296.34	51.79	258.67	2906.34
S46	SP7	ST1	296.34	51.79	246.26	2906.34
S47	SP7	V1	296.34	51.79	12.41	2906.34
S48	FWH6	FWH1	252.03	51.79	12.41	1095.61

S49	ECON1	FB1	322.26	298.52	256.15	1446.12
S5	FB1	V10	549.92	296.57	256.15	3281.30
S50	ECON1	HX1	271.95	1.00	518.47	308.72
S51	SPHT2	FB1	479.03	37.93	225.20	3399.92
S52	SPHT2	ECON1	383.32	1.00	518.47	449.81
S53	HX1	SP6	151.39	1.05	512.76	138.86
S54	HX1	M3	166.04	0.78	518.47	178.66
S55	SP6	FB1	151.39	1.05	392.76	138.86
S56	SP6	M3	151.39	1.05	120.00	138.86
S57	M3	C2	163.62	0.78	638.47	171.19
S58	V1	FWH6	296.34	51.79	12.41	2906.34
S59	V2	FWH1	261.92	37.93	21.06	2852.98
S6	FWH4	FWH3	71.81	9.83	200.27	301.35
S60	V3	FWH2	444.05	19.03	11.76	3346.15
S61	V4	FWH4	71.98	0.34	5.31	2562.21
S62	V5	FWH3	104.66	0.83	7.66	2687.66
S63	V6	FWH7	192.78	2.26	10.24	2854.51
S64	V7	DA1	333.71	8.23	16.10	3127.74
S65	FWH6	ECON1	266.11	298.52	256.15	1163.37
S66	V9	SPHT2	261.92	37.93	225.20	2852.98
S67	SP8	V4	71.98	0.34	5.31	2562.21
S68	ST8	SP9	55.93	0.16	177.05	2472.97
S69	FWH7	FWH3	99.76	2.26	10.24	418.15
S7	FB1	SPHT1	770.78	1.00	518.47	975.46
S70	FWH7	M1	124.05	8.02	200.27	521.37
S71	V8	FWH5	55.93	0.16	6.08	2472.97
S72	SP9	ST9	55.93	0.16	170.97	2472.97
S73	SP9	V8	55.93	0.16	6.08	2472.97
S74	ST9	M2	36.75	0.06	170.97	2368.85
S75	-	-	36.75	0.06	170.97	2368.85
S76	V10	TMX1	549.92	296.57	256.15	3281.30
S77	V11	TMX2	556.86	37.93	225.20	3576.16
S78	PUMP3	CND1	15.03	7.00	4634.73	63.74
S79	C1	HX1	24.06	1.05	512.76	8.66
S8	ST2	SP2	444.05	19.03	228.13	3346.15
S80	C2	-	187.78	0.87	638.47	199.68
S81	SP10	FWH2	178.32	302.50	256.15	771.61
S82	SP10	TMX1	178.32	302.50	2.52	771.61
S83	TMX1	ST7	543.00	296.56	258.67	3256.85
S84	TMX2	ST2	541.00	37.93	228.13	3540.16
S85	SP10	TMX2	178.32	302.50	2.93	771.61
S9	-	FB1	20.00	1.00	0.00	4.50

Παράρτημα 7: Λιγνίτης 5443KJ/kg, 10% SRF

STREAM	FROM	TO	TEMP	PRESSURE	FLOW	ENTHALPY
S1	FB1	SPHT1	419.51	297.24	256.15	2566.03
S10	SP1	V9	261.41	37.56	223.89	2853.15
S11	CND1	PUMP2	36.50	0.06	197.87	152.83
S12	-	PUMP3	15.00	1.00	4634.73	63.04
S13	CND1	-	34.40	7.00	4634.73	144.66
S14	DA1	PUMP1	171.07	8.13	259.45	723.81
S15	SP1	V2	261.41	37.56	21.03	2853.15
S16	FWH3	FWH7	94.24	9.04	197.87	395.42
S17	FB1	V11	552.21	37.56	223.89	3565.96
S18	SPHT1	SPHT2	564.28	1.00	485.75	689.75
S19	SPHT1	FB1	506.71	295.28	256.15	3120.75
S2	ST1	SP1	261.41	37.56	244.92	2853.15
S20	SP2	V3	443.76	18.80	12.16	3345.82
S21	PUMP1	SP10	176.55	301.23	259.45	763.96
S22	FWH2	FWH1	209.24	299.24	256.15	905.58
S23	ST3	SP3	333.48	8.13	213.78	3127.48
S24	SP3	ST4	333.48	8.13	197.87	3127.48
S25	SP3	V7	333.48	8.13	15.90	3127.48
S26	FWH1	FWH2	214.26	37.56	33.51	917.75
S27	FWH2	M1	181.50	18.80	45.68	770.17
S28	ST4	SP4	192.61	2.23	197.87	2854.32
S29	SP4	ST5	192.61	2.23	187.77	2854.32
S3	FWH1	FWH6	246.65	298.34	256.15	1073.01
S30	SP4	V6	192.61	2.23	10.10	2854.32
S31	M1	DA1	134.73	8.10	243.55	566.84
S32	FWH3	FWH4	76.68	0.82	17.66	321.01
S33	M2	CND1	36.50	0.06	197.87	2048.21
S34	SP2	ST3	443.76	18.80	213.78	3345.82
S35	ST5	SP5	104.52	0.82	187.77	2687.52
S36	SP5	V5	104.52	0.82	7.55	2687.52
S37	SP5	ST6	104.52	0.82	180.21	2687.52
S38	ST6	SP8	71.69	0.34	180.21	2562.12
S39	SP8	ST8	71.69	0.34	174.98	2562.12
S4	-	DUCT1	20.00	1.01	484.94	4.52
S40	DUCT1	C1	20.00	1.01	484.94	4.52
S41	FWH4	FWH5	60.63	0.34	22.89	253.75
S42	FWH5	FWH4	55.49	10.48	197.87	233.11
S43	PUMP2	FWH5	36.58	11.20	197.87	154.15
S44	FWH5	M2	41.65	0.16	28.90	174.36
S45	ST7	SP7	296.15	51.45	257.40	2907.11
S46	SP7	ST1	296.15	51.45	244.92	2907.11
S47	SP7	V1	296.15	51.45	12.48	2907.11
S48	FWH6	FWH1	251.51	51.45	12.48	1093.09

S49	ECON1	FB1	316.90	297.24	256.15	1417.08
S5	FB1	V10	546.45	295.28	256.15	3270.68
S50	ECON1	HX1	270.65	1.00	485.75	307.48
S51	SPHT2	FB1	470.84	37.56	223.89	3381.81
S52	SPHT2	ECON1	378.08	1.00	485.75	443.64
S53	HX1	SP6	150.75	1.05	484.94	138.20
S54	HX1	M3	164.39	0.81	485.75	176.86
S55	SP6	FB1	150.75	1.05	364.94	138.20
S56	SP6	M3	150.75	1.05	120.00	138.20
S57	M3	C2	162.02	0.81	605.75	169.21
S58	V1	FWH6	296.15	51.45	12.48	2907.11
S59	V2	FWH1	261.41	37.56	21.03	2853.15
S6	FWH4	FWH3	71.54	9.86	197.87	300.19
S60	V3	FWH2	443.76	18.80	12.16	3345.82
S61	V4	FWH4	71.69	0.34	5.24	2562.12
S62	V5	FWH3	104.52	0.82	7.55	2687.52
S63	V6	FWH7	192.61	2.23	10.10	2854.32
S64	V7	DA1	333.48	8.13	15.90	3127.48
S65	FWH6	ECON1	265.70	297.24	256.15	1161.41
S66	V9	SPHT2	261.41	37.56	223.89	2853.15
S67	SP8	V4	71.69	0.34	5.24	2562.12
S68	ST8	SP9	55.67	0.16	174.98	2472.92
S69	FWH7	FWH3	99.36	2.23	10.10	416.46
S7	FB1	SPHT1	776.55	1.00	485.75	985.18
S70	FWH7	M1	123.71	8.10	197.87	519.90
S71	V8	FWH5	55.67	0.16	6.01	2472.92
S72	SP9	ST9	55.67	0.16	168.97	2472.92
S73	SP9	V8	55.67	0.16	6.01	2472.92
S74	ST9	M2	36.50	0.06	168.97	2368.72
S75	-	-	36.50	0.06	168.97	2368.72
S76	V10	TMX1	546.45	295.28	256.15	3270.68
S77	V11	TMX2	552.21	37.56	223.89	3565.96
S78	PUMP3	CND1	15.03	7.00	4634.73	63.74
S79	C1	HX1	24.06	1.05	484.94	8.66
S8	ST2	SP2	443.76	18.80	225.94	3345.82
S80	C2	-	186.07	0.90	605.75	197.56
S81	SP10	FWH2	176.55	301.23	256.15	763.96
S82	SP10	TMX1	176.55	301.23	1.25	763.96
S83	TMX1	ST7	543.00	295.28	257.40	3258.48
S84	TMX2	ST2	541.00	37.56	225.94	3540.53
S85	SP10	TMX2	176.55	301.23	2.05	763.96
S9	-	FB1	20.00	1.00	0.00	4.50

Παράρτημα 8: Λιγνίτης 5443KJ/kg, 15% SR

STREAM	FROM	TO	TEMP	PRESSURE	FLOW	ENTHALPY
S1	FB1	SPHT1	420.93	297.74	256.15	2581.61
S10	SP1	V9	261.14	37.53	224.36	2852.36
S11	CND1	PUMP2	36.53	0.06	198.13	152.95
S12	-	PUMP3	15.00	1.00	4634.73	63.04
S13	CND1	-	34.42	7.00	4634.73	144.77
S14	DA1	PUMP1	171.14	8.14	259.24	724.10
S15	SP1	V2	261.14	37.53	20.96	2852.36
S16	FWH3	FWH7	94.28	9.03	198.13	395.60
S17	FB1	V11	548.47	37.53	224.36	3557.48
S18	SPHT1	SPHT2	565.99	1.00	458.76	692.51
S19	SPHT1	FB1	506.64	295.75	256.15	3119.73
S2	ST1	SP1	261.14	37.53	245.32	2852.36
S20	SP2	V3	444.03	18.83	11.73	3346.37
S21	PUMP1	SP10	177.80	301.73	259.24	769.34
S22	FWH2	FWH1	209.30	299.74	256.15	905.89
S23	ST3	SP3	333.76	8.14	213.99	3128.03
S24	SP3	ST4	333.76	8.14	198.13	3128.03
S25	SP3	V7	333.76	8.14	15.86	3128.03
S26	FWH1	FWH2	214.31	37.53	33.51	917.98
S27	FWH2	M1	182.52	18.83	45.24	774.66
S28	ST4	SP4	192.83	2.24	198.13	2854.73
S29	SP4	ST5	192.83	2.24	188.01	2854.73
S3	FWH1	FWH6	246.59	298.84	256.15	1072.78
S30	SP4	V6	192.83	2.24	10.12	2854.73
S31	M1	DA1	134.87	8.09	243.38	567.43
S32	FWH3	FWH4	76.72	0.82	17.69	321.19
S33	M2	CND1	36.53	0.06	198.13	2048.41
S34	SP2	ST3	444.03	18.83	213.99	3346.37
S35	ST5	SP5	104.70	0.82	188.01	2687.85
S36	SP5	V5	104.70	0.82	7.57	2687.85
S37	SP5	ST6	104.70	0.82	180.45	2687.85
S38	ST6	SP8	71.73	0.34	180.45	2562.40
S39	SP8	ST8	71.73	0.34	175.20	2562.40
S4	-	DUCT1	20.00	1.01	463.91	4.52
S40	DUCT1	C1	20.00	1.01	463.91	4.52
S41	FWH4	FWH5	60.67	0.34	22.93	253.90
S42	FWH5	FWH4	55.52	10.48	198.13	233.23
S43	PUMP2	FWH5	36.61	11.20	198.13	154.27
S44	FWH5	M2	41.69	0.16	28.94	174.51
S45	ST7	SP7	296.03	51.49	257.87	2906.53
S46	SP7	ST1	296.03	51.49	245.32	2906.53

S47	SP7	V1	296.03	51.49	12.55	2906.53
S48	FWH6	FWH1	251.50	51.49	12.55	1093.06
S49	ECON1	FB1	312.89	297.74	256.15	1395.64
S5	FB1	V10	547.72	295.75	256.15	3274.59
S50	ECON1	HX1	270.02	1.00	458.76	306.87
S51	SPHT2	FB1	463.80	37.53	224.36	3365.91
S52	SPHT2	ECON1	374.14	1.00	458.76	438.86
S53	HX1	SP6	150.01	1.05	463.91	137.44
S54	HX1	M3	163.04	0.83	458.76	175.34
S55	SP6	FB1	150.01	1.05	343.91	137.44
S56	SP6	M3	150.01	1.05	120.00	137.44
S57	M3	C2	160.67	0.83	578.76	167.49
S58	V1	FWH6	296.03	51.49	12.55	2906.53
S59	V2	FWH1	261.14	37.53	20.96	2852.36
S6	FWH4	FWH3	71.57	9.86	198.13	300.32
S60	V3	FWH2	444.03	18.83	11.73	3346.37
S61	V4	FWH4	71.73	0.34	5.24	2562.40
S62	V5	FWH3	104.70	0.82	7.57	2687.85
S63	V6	FWH7	192.83	2.24	10.12	2854.73
S64	V7	DA1	333.76	8.14	15.86	3128.03
S65	FWH6	ECON1	265.74	297.74	256.15	1161.60
S66	V9	SPHT2	261.14	37.53	224.36	2852.36
S67	SP8	V4	71.73	0.34	5.24	2562.40
S68	ST8	SP9	55.70	0.16	175.20	2473.19
S69	FWH7	FWH3	99.41	2.24	10.12	416.68
S7	FB1	SPHT1	783.64	1.00	458.76	995.97
S70	FWH7	M1	123.76	8.09	198.13	520.11
S71	V8	FWH5	55.70	0.16	6.01	2473.19
S72	SP9	ST9	55.70	0.16	169.19	2473.19
S73	SP9	V8	55.70	0.16	6.01	2473.19
S74	ST9	M2	36.53	0.06	169.19	2368.99
S75	-	-	36.53	0.06	169.19	2368.99
S76	V10	TMX1	547.72	295.75	256.15	3274.59
S77	V11	TMX2	548.47	37.53	224.36	3557.48
S78	PUMP3	CND1	15.03	7.00	4634.73	63.74
S79	C1	HX1	24.06	1.05	463.91	8.66
S8	ST2	SP2	444.03	18.83	225.73	3346.37
S80	C2	-	184.67	0.92	578.76	195.74
S81	SP10	FWH2	177.80	301.73	256.15	769.34
S82	SP10	TMX1	177.80	301.73	1.72	769.34
S83	TMX1	ST7	543.00	295.75	257.87	3257.89
S84	TMX2	ST2	541.00	37.53	225.73	3540.55
S85	SP10	TMX2	177.80	301.73	1.37	769.34
S9	-	FB1	20.00	1.00	0.00	4.50

Βιβλιογραφία

[1] M.Agraniotis , N.Nikolopoulos , A.Nikolopoulos , P.Grammelis ,Em.Kakaras, *Numerical investigation of Solid Recovered Fuels' co-firing with brown coal in large scale boilers – Evaluation of different co-combustion modes,* Elsevier, 2010

[2] Em. Kakaras, P. Grammelis, M. Agraniotis , *Solid Recovered Fuels as coal substitute in the electricity generation sector,* Thermal Science Journal, vol. 9, 2005

[3] Prognos AG, Institute of Environmental Research, University of Dortmund, *Resource savings and CO2 reduction potentials in waste management in Europe and the possible contribution to the CO2 reduction target in 2020*, Study 2008

[4] J. Maier, T. Hilber, G. Scheffknecht, *Current activities in terms of Solid Recovered Fuel (SRF) standardisation, Institute for Process Engineering and Power Plant Technology*, Universität Stuttgart

[5]R. Haasa, H. Breuer, *Co-combustion – The Power Producer' s point of view*, VGB – Powertech, vol. 4 2005

[6] EU Demonstration project Recofuel (TREN/04/FP6EN/S07.32813/503184), Final Report

[7] Μ.Αγρανιώτης *,Υποκατάσταση Γαιάνθρακα Από Εναλλακτικά Και Υποστηρικτικά Καύσιμα Σε Λέβητες Κονιοποιημένου Καύσιμου Για Τη Μείωση Εκπομπών* CO_2 ,Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010

[8]Γ. Δερματά , *Εναλλακτικά Καύσιμα Από Αστικά Απορρίμματα : Παραγωγή , Τυποποίηση Και Ενεργειακή Αξιοποίηση Αυτών Με Σκοπό Την Υποκατάσταση Φαιάνθρακα Σε Υπάρχοντες Λέβητες Κονιοποιημένου Καυσίμου* , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2008

[9] Εμ.Κακαράς , Π.Γραμμέλης , Μ.Αγρανιώτης ,Ε.Καραμπίνης ,*Ενεργειακή αξιοποίηση στερεού καυσίμου ανακτηθέντος από απορρίμματα –Τυποποίηση και Εφαρμογές* ,παρουσίαση στην Ημερίδα ΕΕΔΣΑ <<Θερμική Αξιοποίηση Στερεών Αποβλήτων : Καύση RDF/SRF και σύμμεικτων απορριμμάτων>> ,Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ,2009

[10] Κ.Σύψας,Ο. Σκιάδη, Κ. Τσάκαλου, *'Μηχανική και βιολογική επεξεργασία αστικών απορριμμάτων – Η μονάδα μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης της Αθήνας'*, Διεύθυνση Επεξεργασίας Στερεών Αποβλήτων, Ενιαός Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Αττικής (ΕΣΔΚΝΑ), Στερεά βιοκαύσιμα: Πράσινη πρακτική στη σύγχρονη βιομηχανία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,2008

[11] ΕΣΔΚΝΑ

[12] ΕΕΔΣΑ

[13] Κ. Μαθιουδάκης : ‘Λειτουργία Αεριοστροβίλων και Ατμοστροβίλων’, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2007

[14] Ε. Κακαράς : ‘Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί’, Εκδόσεις Fountas, Αθήνα 1999